

UMWELT UND GESUNDHEIT

01/2026

Abschlussbericht

Entwicklung eines Geruchsrads für typische Innenraumgerüche

von:

Laura Brosig, Lea Straßer, Ranka Kolodziejczyk, Alina Beier, Björn Maxeiner, Svenja Senkale,
Olfasense GmbH, Kiel

Herausgeber:

Umweltbundesamt

UMWELT UND GESUNDHEIT 01/2026

REFOPLAN des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3719 61 213 0

Abschlussbericht

Entwicklung eines Geruchsrads für typische Innenraumgerüche

von

Laura Brosig, Lea Straßer, Ranka Kolodziejczyk, Alina Beier,
Björn Maxeiner, Svenja Senkale,
Olfasense GmbH, Kiel

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

Durchführung der Studie:

Olfasense GmbH
Schauenburgerstraße 116
24118 Kiel

Abschlussdatum:

Juni 2024

Redaktion:

Fachgebiet II 1.2 Toxikologie, Gesundheitsbezogene Umweltbeobachtung
Madlen David und Malgorzata Debiak

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-7600>

ISSN 1868-4340

Dessau-Roßlau, September 2026

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

Kurzbeschreibung: Entwicklung eines Geruchsrads für typische Innenraumgerüche

Gerüche im Innenraum sind häufiger Anlass für Beschwerden. Geeignete Hilfestellungen zur Einordnung von Gerüchen und ihren zugrundeliegenden Geruchsstoffen fehlen bislang. Daher sollte im Rahmen eines Forschungsprojektes ein Geruchsrads erarbeitet werden, welches Anwender:innen, zusammen mit Sachverständigen, in der Praxis helfen soll, Gerüche in Innenräumen möglichen chemischen Substanzen zuzuordnen. Diese Information kann behilflich sein, um entsprechende Quellen im Innenraum ausfindig zu machen oder eine geeignete Messstrategie festzulegen. In verschiedenen Schritten wurden für das Geruchsrads geruchsrelevante Substanzen für den Innenraum identifiziert und daraus ein Geruchsrads erarbeitet. In einem letzten Schritt wurde das Geruchsrads in der praktischen Anwendung getestet und finale Änderungen vorgenommen. Aus dem Projekt geht nun ein validiertes Geruchsrads hervor, welches beim Auftreten von Gerüchen im Innenraum angewendet werden kann.

Abstract: Development of an Odour Wheel for typical Indoor Air Odours

Odours in indoor environments are a frequent cause of complaints. Suitable tools for classifying odours and their underlying odorous substances are still lacking. For this reason, an odour wheel was to be developed as part of a research project to help users in practice to assign odours in indoor environments to possible causative substances. This can help to identify corresponding sources in the interior or to determine a suitable measurement strategy. In various steps, odour-relevant substances for indoor environments were identified for the odour wheel and an odour wheel was developed from this. In a final step, the odour wheel was tested in practical application and final changes were made. The project has now resulted in a validated odour wheel that can be used when odours occur in indoor environments.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	10
Tabellenverzeichnis	14
Abkürzungsverzeichnis	19
Zusammenfassung.....	20
Summary	24
1 Ziel und Gegenstand des Forschungsprojektes	27
2 Methodisches Vorgehen	28
2.1 Vorgehen zur Identifizierung geruchlich relevanter Substanzen	31
2.1.1 Literaturrecherche	31
2.1.2 Expert:innenbefragungen	33
2.1.3 Plausibilitätsprüfung geruchlicher Parameter und Literaturquellen	36
2.2 Zusätzliche Validierungsmessungen für ausgewählte Substanzen	38
2.2.1 Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration.....	38
2.2.2 Bestimmung der Geruchsschwellenkonzentration	39
2.2.3 Bestimmung der Geruchsintensität und der Weber-Fechner-Koeffizienten	39
2.2.4 Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung durch Ermittlung von Polaritätenprofilen (Duft, Gestank und Geruch).....	40
2.2.5 Bestimmung des Geruchscharakters	41
2.3 Vorgehen zur grafischen Entwicklung des Geruchsrads	41
2.4 Vorgehen zur Überprüfung der Anwendbarkeit des Geruchsrads.....	43
2.4.1 Auswahlkriterien geruchlich belasteter Innenräume.....	43
2.4.2 Probenahmestrategie und Durchführung der humansensorischen Geruchsbewertung	43
2.4.2.1 Probenahmestrategie	43
2.4.2.2 Humansensorische Geruchsbewertung	44
2.4.2.3 Versuchsdokumentation und -auswertung der humansensorischen Geruchsbewertung	45
2.4.3 Probenahmestrategie und Durchführung chemisch-analytischen und sensorisch- analytischen Geruchsbewertung	46
2.4.3.1 Probenahme und Messstrategie.....	46
2.4.3.2 Chemisch-analytische Untersuchung mittels GC-MS.....	48
2.4.3.3 Sensorisch-analytische Untersuchung mittels GC-MS-Sniffing	49
2.4.3.4 Chemisch-analytische Untersuchung mittels HPLC.....	52
2.5 Vorgehen zur Bewertung der Ergebnisse.....	52

3	Ergebnisse	54
3.1	Ergebnisse der Literaturrecherche und Expert:innenbefragungen.....	54
3.1.1	Identifikation geruchlich relevanter Substanzen: Erste Substanzliste	54
3.1.2	Erste Expert:innenbefragung: Überarbeitete Substanzliste	54
3.1.3	Zweite Expert:innenbefragung: Finale Substanzliste	54
3.1.4	Plausibilitätsprüfung	55
3.1.4.1	Kategorisierung der Ergebnisse aus der Literaturrecherche.....	55
3.1.4.2	Plausibilitätsprüfung der verfügbaren Geruchsschwellendaten.....	55
3.2	Auswahl von Substanzen für Validierungsmessungen	58
3.2.1	Substanzauswahl.....	58
3.2.2	Geruchsparemeter aus den Validierungsmessungen	59
3.3	Grafische Entwicklung des Geruchsrads	60
3.3.1	Entwurf des Geruchsrads	60
3.3.2	Version 1 des Geruchsrads.....	62
3.3.3	Version 2 des Geruchsrads.....	67
3.3.4	Finale Geruchsrads.....	69
3.4	Akquirierte geruchlich belastete Innenräume	72
3.5	Humansensorische Geruchsbewertung	77
3.5.1	Beschreibung des Prüfer:innen-Kollektivs	77
3.5.2	Anwendbarkeit des Geruchsrads aus Sicht der Prüfer:innen	78
3.5.3	Ergebnisse der Raumbewertungen mittels Geruchsrads	80
3.6	Vergleich humansensorischer, chemisch-analytischer und sensorisch-analytischer Geruchsbewertungen.....	103
3.7	Validierung mittels Twinrooms	162
3.7.1	Twinroom 1.....	162
3.7.2	Twinroom 2	165
3.7.3	Twinroom 3	167
3.7.4	Twinroom 4.....	169
3.8	Diskussion der Ergebnisse	173
4	Quellenverzeichnis	178
A	Listung von innenraumrelevanten Geruchsstoffen	185
A.1	Erste Substanzliste	185
A.2	Zweite Substanzliste.....	204
A.3	Finale Substanzliste	213
A.4	Abschließende Substanzliste	213

B	Methodisches Vorgehen zur Bestimmung von Geruchsparametern	217
B.1	Herstellung Substanz-Luft-Gemische	217
B.2	Analytische Feststellung und Überprüfung der Konzentrationen hergestellter Substanz-Luft-Gemische	219
B.3	Allgemeines Vorgehen zur Geruchsbewertung.....	221
B.4	Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration eines Geruchsstoffes in Anlehnung an DIN EN 13725	222
B.5	Bestimmung der Geruchsschwellenkonzentration	225
B.6	Bestimmung der Geruchsintensität eines Geruchsstoffes und des Weber-Fechner Koeffizienten (kW) gemäß VDI3882 Blatt 1.....	225
B.7	Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung in Anlehnung an VDI 3940 Blatt 4	227
C	Plausibilitätsprüfung.....	229
C.1	Kategorisierung von Literaturquellen	229
C.2	Plausibilitätsprüfung von Geruchsschwellendaten von Einzelsubstanzen.....	232
D	Validierungsmessungen	240
D.1	Chlornaphthalin	240
D.1.1	Probenaufbereitung.....	240
D.1.2	Analytische Konzentrationsbestimmung von 1-Chlornaphthalin	240
D.1.3	Auswahl des Prüfer:innen-Kollektivs	242
D.1.4	Geruchsstoffkonzentration	243
D.1.5	Geruchsschwelle	245
D.1.6	Intensitätskennlinie.....	245
D.1.7	Polaritätenprofil	248
D.1.8	Geruchscharakter.....	250
D.2	Benzaldehyd.....	251
D.2.1	Probenaufbereitung.....	251
D.2.2	Analytische Konzentrationsbestimmung von Benzaldehyd	251
D.2.3	Auswahl des Prüfer:innen-Kollektivs	253
D.2.4	Geruchsstoffkonzentration	254
D.2.5	Geruchsschwelle	255
D.2.6	Intensitätskennlinie.....	255
D.2.7	Polaritätenprofil	258
D.2.8	Geruchscharakter.....	260
D.3	Ethylacetat	261
D.3.1	Probenaufbereitung.....	261

D.3.2	Analytische Konzentrationsbestimmung von Ethylacetat	261
D.3.3	Auswahl des Prüfer:innen-Kollektivs	263
D.3.4	Geruchsstoffkonzentration	264
D.3.5	Geruchsschwelle	265
D.3.6	Intensitätskennlinie.....	266
D.3.7	Polaritätenprofil	269
D.3.8	Geruchscharakter.....	271
D.4	2-Butanon	272
D.4.1	Probenaufbereitung.....	272
D.4.2	Analytische Konzentrationsbestimmung von 2-Butanon.....	272
D.4.3	Auswahl des Prüfer:innen-Kollektivs	274
D.4.4	Geruchsstoffkonzentration	275
D.4.5	Geruchsschwelle	276
D.4.6	Intensitätskennlinie.....	277
D.4.7	Polaritätenprofil	280
D.4.8	Geruchscharakter.....	282
D.5	2-Propanol.....	283
D.5.1	Probenaufbereitung.....	283
D.5.2	Analytische Konzentrationsbestimmung von 2-Propanol.....	283
D.5.3	Auswahl des Prüfer:innen-Kollektivs	283
D.5.4	Geruchsstoffkonzentration	283
D.5.5	Geruchsschwelle	284
D.5.6	Intensitätskennlinie.....	284
D.5.7	Polaritätenprofil	285
D.5.8	Geruchscharakter.....	287
E	Geruchsräder Entwurf, Arbeitsversion und finale Version.....	288
E.1	Zweiter Entwurf / erste Arbeitsversion Geruchsrads (Version 1).....	288
E.2	Arbeitsversion Geruchsrads.....	289
E.3	Finale Version des Geruchsrads	290
F	Grundrisse Innenräume.....	291
G	Daten trainierter und untrainierter Prüfer:innen.....	309
H	Zusammenstellung: Anzahl der Nennungen im Geruchsrads je Prüfer:in	328
I	Zusammenstellung rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten	336
J	Zusammenstellung weiterer rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten	353

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Allgemeines, schrittweises Vorgehen zur Entwicklung und Validierung eines Geruchsrads für typische Innenraumgerüche.	30
Abbildung 2:	Suchbegriffe zur Literaturrecherche.	31
Abbildung 3:	Ausschnitt eines Geruchsrads mit Geruchskategorien, -deskriptoren, -noten und Bildwelten.	42
Abbildung 4:	PureSniff XL bei der Probendarbietung.	44
Abbildung 5:	Probenahme-Equipment für GC-MS/GC-MS-Sniffing: Tenax®-Röhrchen und GilAir PLUS Probenahmepumpe.	46
Abbildung 6:	6-Punkt Eingangskalibrierung mit Toluol-d8.	48
Abbildung 7:	Zusammenstellung von Toluol-d8-Referenzmessungen im Zeitraum der Raumbewertungen.	48
Abbildung 8:	Schematischer Ablauf einer GC-MS-Sniffing Analyse.	50
Abbildung 9:	Schematischer Ablauf des vollständigen GC-MS-Sniffings.	51
Abbildung 10:	Entwurf eines Geruchsrads für typische Innenraumgerüche.	61
Abbildung 11:	Version 1 eines Geruchsrads für typische Innenraumgerüche in Pastell.	65
Abbildung 12:	Erste Anwendungshinweise und Substanzlistung.	66
Abbildung 13:	Version 2 des Geruchsrads für typische Innenraumgerüche in Pastell mit Bildwelten zur dritten Ebene.	68
Abbildung 14:	Finale Version des Geruchsrads für typische Innenraumgerüche zur Veröffentlichung.	71
Abbildung 15:	Durchschnittliche Anzahl an genannten Geruchsbeschreibungen im Geruchsrads je Prüfer:in über alle 3 Ebenen.	80
Abbildung 16:	Geruchsradsanwendung (Version 1) Raum 1.	82
Abbildung 17:	Geruchsradsanwendung (Version 1) Raum 2.	83
Abbildung 18:	Geruchsradsanwendung (Version 2) Raum 3.	84
Abbildung 19:	Geruchsradsanwendung (Version 2) Raum 4.	85
Abbildung 20:	Geruchsradsanwendung (Version 2) Raum 5.	86
Abbildung 21:	Geruchsradsanwendung (Version 2) Raum 6.	87
Abbildung 22:	Geruchsradsanwendung (Version 2) Raum 7.	88
Abbildung 23:	Geruchsradsanwendung (Version 2) Raum 8.	89
Abbildung 24:	Geruchsradsanwendung (Version 2) Raum 9.	90
Abbildung 25:	Geruchsradsanwendung (Version 2) Raum 10.	91
Abbildung 26:	Geruchsradsanwendung (Version 2) Raum 11.	92
Abbildung 27:	Geruchsradsanwendung (Version 2) Raum 12.	93
Abbildung 28:	Geruchsradsanwendung (Version 2) Raum 13.	94
Abbildung 29:	Geruchsradsanwendung (Version 2) Raum 14.	95
Abbildung 30:	Geruchsradsanwendung (Version 2) Raum 15.	96
Abbildung 31:	Geruchsradsanwendung (Version 2) Raum 16.	97
Abbildung 32:	Geruchsradsanwendung (Version 2) Raum 17.	98

Abbildung 33:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 18.	99
Abbildung 34:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 19.	100
Abbildung 35:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 20.	101
Abbildung 36:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 21.	102
Abbildung 37:	Erfolgsabschätzung der Geruchsradanwendung – Darstellung je Ebene.	115
Abbildung 38:	Geruchsradanwendung (Version 1) Raum 1: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	116
Abbildung 39:	Geruchsradanwendung (Version 1) Raum 2: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	120
Abbildung 40:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 3: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	122
Abbildung 41:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 4: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	124
Abbildung 42:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 5: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	126
Abbildung 43:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 6: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	128
Abbildung 44:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 7: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	130
Abbildung 45:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 8: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	132
Abbildung 46:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 9: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	134
Abbildung 47:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 10: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	136
Abbildung 48:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 11: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	138
Abbildung 49:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 12: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	140
Abbildung 50:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 13: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	142
Abbildung 51:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 14: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	144
Abbildung 52:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 15: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	146
Abbildung 53:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 16: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	148
Abbildung 54:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 17: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	150
Abbildung 55:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 18: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	152
Abbildung 56:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 19: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	154

Abbildung 57:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 20: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	156
Abbildung 58:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 21: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	158
Abbildung 59:	Geruchsradanwendung (finale Version) Twinroom 1: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	163
Abbildung 60:	Geruchsradanwendung (finale Version) Twinroom 2: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	166
Abbildung 61:	Geruchsradanwendung (finale Version) Twinroom 3: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	168
Abbildung 62:	Geruchsradanwendung (finale Version) Twinroom 4: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	171
Abbildung 63:	Liquid to Gas Vaporiser (LiGaVa).	218
Abbildung 64:	Nachweis der Methodenpräzision mittels Referenzsubstanz TD8 (Angaben prozentual zum Sollwert).	220
Abbildung 65:	Geruchsbewertung an einem TO8-Evo-Olfaktometer.	223
Abbildung 66:	Auszug aus einem Polaritätenprofil nach VDI 3940 Blatt 4 [4].	227
Abbildung 67:	Repräsentative Polaritätenprofile für Duft und Gestank nach VDI 3940 Blatt 4 [4].	228
Abbildung 68:	GC-MS-Kalibrierung 1-Chlornaphthalin (6-Punkt-Kalibrierung in Triplikaten abzüglich Ausreißer).	241
Abbildung 69:	Vergleich rechnerischer und analytischer Konzentrationsbestimmung im Mutterbeutel (1-Chlornaphthalin).	242
Abbildung 70:	1-Chlornaphthalin – Intensitätskennlinien für $\hat{z}_{16}$, $\hat{z}_{50}$ und $\hat{z}_{84}$ nach VDI 3882-1.	247
Abbildung 71:	Polaritätenprofil für 1-Chlornaphthalin (N=12), Duft und Gestank.	249
Abbildung 72:	Übersicht Geruchscharaktere für 1-Chlornaphthalin (N=12) mit Angabe der Häufigkeit der Nennungen von 0-6.	250
Abbildung 73:	GC-MS-Kalibrierung Benzaldehyd (6-Punkt-Kalibrierung in Triplikaten abzüglich Ausreißer).	251
Abbildung 74:	Vergleich rechnerischer und analytischer Konzentrationsbestimmung im Mutterbeutel (Benzaldehyd).	252
Abbildung 75:	Benzaldehyd– Intensitätskennlinien für $\hat{z}_{16}$, $\hat{z}_{50}$ und $\hat{z}_{84}$ nach VDI 3882-1.	257
Abbildung 76:	Polaritätenprofil für Benzaldehyd (N=12), Duft und Gestank.	259
Abbildung 77:	Übersicht Geruchscharaktere für Benzaldehyd (N=12) mit Angabe der Häufigkeit an Nennungen von 0-7).	260
Abbildung 78:	GC-MS-Kalibrierung Ethylacetat (6-Punkt-Kalibrierung in Triplikaten abzüglich Ausreißer).	261

Abbildung 79:	Vergleich rechnerischer und analytischer Konzentration am Trichter bei einer Verdünnung von 1:1742 (Ethylacetat).....	262
Abbildung 80:	Ethylacetat – Intensitätskennlinien für $\hat{Z}_{16}$, $\hat{Z}_{50}$ und $\hat{Z}_{84}$ nach VDI 3882-1.....	268
Abbildung 81:	Polaritätenprofil für Ethylacetat (N=12), Duft und Gestank....	270
Abbildung 82:	Übersicht Geruchscharaktere für Ethylacetat (N=12) mit Angabe der Häufigkeit an Nennungen von 0-7.	271
Abbildung 83:	GC-MS-Kalibrierung 2-Butanon (5-Punkt-Kalibrierung in Triplikaten für 2-Butanon abzüglich Ausreißer).	272
Abbildung 84:	Vergleich rechnerischer und analytischer Konzentration am Trichter bei einer Verdünnung von 1:810 (2-Butanon).	273
Abbildung 85:	2-Butanon – Intensitätskennlinien für $\hat{Z}_{16}$, $\hat{Z}_{50}$ und $\hat{Z}_{84}$ nach VDI 3882-1.....	279
Abbildung 86:	Polaritätenprofil für 2-Butanon (N=12), Duft und Gestank....	281
Abbildung 87:	Übersicht Geruchscharaktere für 2-Butanon (N=12) mit Angabe der Häufigkeit an Nennungen von 0-7).	282
Abbildung 88:	Polaritätenprofil für 2-Propanol (N=4), Duft und Gestank.	286
Abbildung 89:	Übersicht Geruchscharaktere für 2-Propanol (N=4) mit Angabe der Häufigkeit an Nennungen von 0-3.	287
Abbildung 90:	Zweiter Entwurf / erste Arbeitsversion des Geruchsrads (Version 1) für typische Innenraumgerüche in Pastell.	288
Abbildung 91:	Arbeitsversion des Geruchsrads (Version 2) für typische Innenraumgerüche in Pastell mit Bildwelten zur dritten Ebene.	289
Abbildung 92:	Finale Version (Version 3) des Geruchsrads für typische Innenraumgerüche in Pastell mit Bildwelten zur dritten Ebene.	290
Abbildung 93:	Raum 1 - Grundriss und Probenahmestellen. Besprechungsraum I.....	291
Abbildung 94:	Raum 2 - Grundriss und Probenahmestellen. Büro I.....	291
Abbildung 95:	Raum 3 - Grundriss und Probenahmestellen. Besprechungsraum II.....	292
Abbildung 96:	Raum 4 - Grundriss und Probenahmestellen. Konferenzraum.	292
Abbildung 97:	Raum 5 - Grundriss und Probenahmestellen. Brücke/Flur I...	293
Abbildung 98:	Raum 6 - Grundriss und Probenahmestelle. Besprechungsraum III.....	294
Abbildung 99:	Raum 7 - Grundriss und Probenahmestelle. Wohnraum.	295
Abbildung 100:	Raum 8 - Grundriss und Probenahmestelle. Schulzimmer.....	296
Abbildung 101:	Raum 9 - Grundriss und Probenahmestelle. Lichthof.	297
Abbildung 102:	Raum 10 - Grundriss und Probenahmestelle. Flur/Brücke II.	298
Abbildung 103:	Raum 11 - Grundriss und Probenahmestelle. Flur mit Lichthof.	299
Abbildung 104:	Raum 12 - Grundriss und Probenahmestelle. Büro II.	300

Abbildung 105:	Raum 13 - Grundriss und Probenahmestelle. Zimmer mit Bad I.	301
Abbildung 106:	Raum 14 - Grundriss und Probenahmestelle. Zimmer mit Bad II.	302
Abbildung 107:	Raum 15 - Grundriss und Probenahmestelle. Abfall- Sammelraum.	303
Abbildung 108:	Raum 16 - Grundriss und Probenahmestelle. Suite mit Kochnische und Wohnzimmer.	304
Abbildung 109:	Raum 17 - Grundriss und Probenahmestelle. Zimmer mit Bad III.....	305
Abbildung 110:	Raum 18 - Grundriss und Probenahmestelle. Saal.	306
Abbildung 111:	Raum 19 - Grundriss und Probenahmestelle. Besprechungsraum IV.	307
Abbildung 112:	Raum 20 - Grundriss und Probenahmestelle. Büro III.	307
Abbildung 113:	Raum 21 - Grundriss und Probenahmestelle. Büro IV.....	308

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Auswahl verwendeter Suchmaschinen & Datenbanken für die Literaturrecherche.	31
Tabelle 2:	Auszug: Dokumentation Literaturrecherche.	32
Tabelle 3:	Ausgewählte Expert:innen.	34
Tabelle 4:	Übersicht unplausibler Datensätze.	56
Tabelle 5:	Geruchsparameter aus Validierungsmessungen.....	59
Tabelle 6:	Farbinterpretationen.....	62
Tabelle 7:	Weitere Substanzen und Geruchsbeschreibungen zur Finalisierung des Geruchsrads.....	69
Tabelle 8:	Substanzen und Geruchsbeschreibungen zur olfaktorischen Ergänzung des Geruchsrads mittels Sniffing-Sticks.	70
Tabelle 9:	Details der 21 beprobten, geruchlich belasteten Innenräume.	73
Tabelle 10:	Übersicht über Geschlechterverteilung und Trainingsstatus aller Prüfer:innen.	77
Tabelle 11:	Übersicht über Einschätzungen zur Anwendbarkeit des Geruchsrads.	78
Tabelle 12:	Übersicht: Detektionen von Substanzen mittels Analytik und Sensorik und deren Überschneidungen.	104
Tabelle 13:	Legende zur Substanzdetektion mittels GC-MS und GC-MS- Sniffing.	112
Tabelle 14:	Erfolgsabschätzung der Geruchsradanwendung.....	113
Tabelle 15:	Geruchsradanwendung (Version 1) Raum 1: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	117
Tabelle 16:	Geruchsradanwendung (Version 1) Raum 2: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.	121

Tabelle 17:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 3: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.....	123
Tabelle 18:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 4: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.....	125
Tabelle 19:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 5: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.....	127
Tabelle 20:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 6: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.....	129
Tabelle 21:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 7: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.....	131
Tabelle 22:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 8: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.....	133
Tabelle 23:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 9: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.....	135
Tabelle 24:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 10: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.....	137
Tabelle 25:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 11: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.....	139
Tabelle 26:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 12: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.....	141
Tabelle 27:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 13: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.....	143
Tabelle 28:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 14: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.....	145
Tabelle 29:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 15: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.....	147
Tabelle 30:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 16: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.....	149
Tabelle 31:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 17: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.....	151
Tabelle 32:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 18: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.....	153
Tabelle 33:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 19: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.....	155
Tabelle 34:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 20: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.....	157
Tabelle 35:	Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 21: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.....	159
Tabelle 36:	Vergleich von mit Geruchsnoten assoziierten Einzelsubstanzen und chemisch- sowie sensorisch-analytischen Detektionen..	160
Tabelle 37:	Parameter Substanzen zur Beduftung von Twinroom 1.	162
Tabelle 38:	Geruchsradanwendung (finale Version) Twinroom 1: Vergleich rein humansensorischer, chemisch-analytischer und sensorisch-analytischer Daten.	164

Tabelle 39:	Parameter Substanzen zur Beduftung von Twinroom 2.	165
Tabelle 40:	Geruchsradanwendung (finale Version) Twinroom 2: Vergleich rein humansensorischer, chemisch-analytischer und sensorisch-analytischer Daten.	167
Tabelle 41:	Parameter Substanzen zur Beduftung von Twinroom 3.	167
Tabelle 42:	Geruchsradanwendung (finale Version) Twinroom 3: Vergleich rein humansensorischer, chemisch-analytischer und sensorisch-analytischer Daten.	169
Tabelle 43:	Parameter zur Beduftung von Twinroom 4.	170
Tabelle 44:	Geruchsradanwendung (finale Version) Twinroom 4: Vergleich rein humansensorischer, chemisch-analytischer und sensorisch-analytischer Daten.	172
Tabelle 45:	Ergebnisse der Literaturrecherche - erste Liste von geruchlich relevanten Innenraumsstoffen.	185
Tabelle 46:	Zweite Substanzliste zur Erstellung eines Geruchsrads nach erster Expert:innenbefragung.	204
Tabelle 47:	Finale Substanzliste: Substanzen vollständig hinterlegt im Geruchsrads.	213
Tabelle 48:	Kategorienskalisierung zur Beurteilung der Geruchsintensität nach VDI 3882 Blatt 1.	226
Tabelle 49:	Details zur Ermittlung der Geruchs(schwellen)daten aus der Literaturrecherche (in Anlehnung an [1]) und Einstufung der Quellqualität.	229
Tabelle 50:	Finale Substanzliste zur Erstellung eines Geruchsrads (alphabetisch).	232
Tabelle 51:	Analytische Konzentrationsbestimmung 1-Chlornaphthalin.	241
Tabelle 52:	Prüfer:innen-Überprüfung nach DIN EN 13725 (1- Chlornaphthalin)	242
Tabelle 53:	Geruchsempfindlichkeit der Teams auf n-Butanol nach DIN EN 13725 (1-Chlornaphthalin).	243
Tabelle 54:	Geruchsstoffkonzentration nach DIN EN 13725 – 1- Chlornaphthalin.	244
Tabelle 55:	Geruchsstoffkonzentration, Analytik und Geruchsschwelle 1- Chlornaphthalin.	245
Tabelle 56:	1-Chlornaphthalin – Intensitätsbewertungen.	245
Tabelle 57:	1-Chlornaphthalin – Zuordnung der Häufigkeiten der Intensitätsüberschreitungen zu den vorgegebenen Logarithmen der Verdünnungszahlen.	246
Tabelle 58:	1-Chlornaphthalin – Kenngrößen der Intensitätsstufen I _s	247
Tabelle 59:	1-Chlornaphthalin – Parameter der Geradengleichungen der 16., 50. und 84. Perzentile nach VDI 3882-1.	248
Tabelle 60:	Analytische Konzentrationsbestimmung Benzaldehyd.	252
Tabelle 61:	Prüfer:innen-Überprüfung nach DIN EN 13725 (Benzaldehyd).	253

Tabelle 62:	Geruchsempfindlichkeit der Teams auf n-Butanol nach DIN EN 13725 (Benzaldehyd).....	253
Tabelle 63:	Geruchsstoffkonzentration nach DIN EN 13725 – Benzaldehyd.	254
Tabelle 64:	Geruchsstoffkonzentration, Analytik und Geruchsschwelle Benzaldehyd.	255
Tabelle 65:	Benzaldehyd – Intensitätsbewertungen.....	255
Tabelle 66:	Benzaldehyd – Zuordnung der Häufigkeiten der Intensitätsüberschreitungen zu den vorgegebenen Logarithmen der Verdünnungszahlen.	256
Tabelle 67:	Benzaldehyd – Kenngrößen der Intensitätsstufen I_5	257
Tabelle 68:	Benzaldehyd – Parameter der Geradengleichungen der 16., 50. und 84. Perzentile nach VDI 3882-1.	258
Tabelle 69:	Analytische Konzentrationsbestimmung Ethylacetat.....	262
Tabelle 70:	Prüfer:innen-Überprüfung nach DIN EN 13725 (Ethylacetat).	263
Tabelle 71:	Geruchsempfindlichkeit der Teams auf n-Butanol nach DIN EN 13725 (Ethylacetat).	264
Tabelle 72:	Geruchsstoffkonzentration nach DIN EN 13725 – Ethylacetat.	264
Tabelle 73:	Geruchsstoffkonzentration, Analytik und Geruchsschwelle Ethylacetat.	265
Tabelle 74:	Ethylacetat – Intensitätsbewertungen.	266
Tabelle 75:	Ethylacetat – Zuordnung der Häufigkeiten der Intensitätsüberschreitungen zu den vorgegebenen Logarithmen der Verdünnungszahlen.	267
Tabelle 76:	Ethylacetat – Kenngrößen der Intensitätsstufen I_5	267
Tabelle 77:	Ethylacetat – Parameter der Geradengleichungen der 16., 50. und 84. Perzentile nach VDI 3882-1.	268
Tabelle 78:	Analytische Konzentrationsbestimmung 2-Butanon.....	273
Tabelle 79:	Prüfer:innen-Überprüfung nach DIN EN 13725 (2-Butanon).	274
Tabelle 80:	Geruchsempfindlichkeit der Teams auf n-Butanol nach DIN EN 13725 (2-Butanon).	275
Tabelle 81:	Geruchsstoffkonzentration nach DIN EN 13725 – 2-Butanon.	275
Tabelle 82:	Geruchsstoffkonzentration, Analytik und Geruchsschwelle 2-Butanon.	276
Tabelle 83:	2-Butanon – Intensitätsbewertungen.	277
Tabelle 84:	2-Butanon – Zuordnung der Häufigkeiten der Intensitätsüberschreitungen zu den vorgegebenen Logarithmen der Verdünnungszahlen.	278
Tabelle 85:	2-Butanon – Kenngrößen der Intensitätsstufen I_5	278
Tabelle 86:	2-Butanon – Parameter der Geradengleichungen der 16., 50. und 84. Perzentile nach VDI 3882-1.	279

Tabelle 87:	Geruchsstoffkonzentration nach DIN EN 13725 – 2-Propanol.	284
Tabelle 88:	Geruchsstoffkonzentration und Geruchsschwelle 2-Propanol.	284
Tabelle 89:	Übersicht über trainierte Prüfer:innen – Räume 1 bis 10.	309
Tabelle 90:	Übersicht über trainierte Prüfer:innen – Räume 11 bis 21.	312
Tabelle 91:	Übersicht über untrainierte Prüfer:innen – Räume 1 bis 10.	316
Tabelle 92:	Übersicht über untrainierte Prüfer:innen – Räume 11 bis 21.	322
Tabelle 93:	Übersicht über die Anzahl an Nennungen im Geruchsrads je Prüfer:in – Räume 1 bis 10.	328
Tabelle 94:	Übersicht über die Anzahl an Nennungen im Geruchsrads je Prüfer:in – Räume 11 bis 21.	332
Tabelle 95:	Prüfer:innenbewertungen, HPLC, GC-MS und GC-MS-Sniffing – Wiederfindung der im Geruchsrads hinterlegten Substanzen in untersuchten Innenräumen – Räume 1 bis 7.	336
Tabelle 96:	Prüfer:innenbewertungen, HPLC, GC-MS und GC-MS-Sniffing – Wiederfindung der im Geruchsrads hinterlegten Substanzen in untersuchten Innenräumen – Räume 8 bis 14.	341
Tabelle 97:	Prüfer:innenbewertungen, HPLC, GC-MS und GC-MS-Sniffing – Wiederfindung der im Geruchsrads hinterlegten Substanzen in untersuchten Innenräumen – Räume 15 bis 21.	347
Tabelle 98:	Weitere Einzelsubstanzen gefunden durch HPLC, GC-MS und GC-MS-Sniffing - Räume 1 bis 10.	353
Tabelle 99:	Weitere Einzelsubstanzen gefunden durch HPLC, GC-MS und GC-MS-Sniffing - Räume 11 bis 21.	358
Tabelle 100:	Weitere Geruchsnoten durch Prüfer:innenbewertungen – Räume 1 bis 10.	364
Tabelle 101	Weitere Geruchsnoten durch Prüfer:innenbewertungen – Räume 11 bis 21.	365

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
AGW	Arbeitsplatzgrenzwert
AIR	Ausschuss für Innenraumrichtwerte
GC	Gaschromatograph / Gaschromatographie
GC-MS-O / -Sniffing	Gaschromatograph gekoppelt mit einem Massenspektrometer und einem Sniffing-/ Riechport zur Geruchsbeurteilung
HPLC	High Performance Liquid Chromatography / Flüssigchromatografie
LiGaVa	Liquid to Gas Vaporiser
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
MS	Massenspektrometer / Massenspektrometrie
PN	Probenahme
TD8	Toluol D8 (8-fach deuteriert)
TDS	Thermodesorption
UAG	Unterarbeitsgruppe
UBA	Umweltbundesamt, Dessau
UK	United Kingdom
VOC	flüchtige organische Verbindungen (volatile organic compounds)

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Forschungsarbeit war es, ein Geruchsrads für geruchsrelevante Innenraum-schadstoffe zu entwickeln und in der Praxis auf Tauglichkeit zu prüfen.

Hierfür wurden zunächst typische Innenraumgerüche zusammengetragen, um diese in die Form eines Geruchsrads für die praktische Anwendung bei geruchlichen Auffälligkeiten in Innenräumen zu bringen. Hierfür wurde in einem ersten Schritt eine Literaturrecherche nach geruchlich relevanten Innenraumschadstoffen durchgeführt und daraus eine erste Substanzliste mit zunächst 205 Einzelsubstanzen erstellt. Dabei wurde eine Sortierung nach Häufigkeit der Nennungen aus der Literatur vorgenommen. Weiterhin wurden, wenn in der Literatur vorhanden, Geruchsschwellen, Geruchsschwellen, Geruchsschwellen und berichtete Innenraumkonzentrationen ergänzt. Zusätzliche Expert:innenbefragungen ermöglichten eine Verfeinerung der Substanzliste.

Im Zuge der ersten Expert:innenbefragung wurden zum einen die TOP-10 geruchsrelevanter Innenraumschadstoffe der Expert:innen abgefragt. Zum anderen wurde eine Einschätzung zur generellen Relevanz der 205 Substanzen aus der Literaturrecherche eingeholt. Mithilfe dieses Feedbacks konnte die Liste um weitere innenraumrelevante Substanzen ergänzt, aber auch um viele, für den Innenraum weniger relevante Substanzen, reduziert werden. Als Ergebnis des ersten Expert:innenfeedbacks konnte eine verfeinerte Substanzliste mit nunmehr 89 Einzelsubstanzen erarbeitet werden. Dieser Liste wurden Daten zu vorhandenen Geruchsschwellen und Geruchsschwellen hinzugefügt. Eine aufsteigende Sortierung wurde nach Häufigkeit der Nennungen innerhalb der ersten Expert:innenbefragung und zweitrangig nach Häufigkeit der Nennungen in der Literatur vorgenommen. Zusätzlich wurden die verbliebenen Substanzen entsprechend ihrer Geruchsschwellen (beispielsweise „süß“ mit Substanzen wie Acetophenon, 2-Butanon und Xylol oder „fruchtig“ mit Substanzen wie n-Butylacetat, Octanal, Nonanal und Pentanal) gruppiert.

In einer zweiten Expert:innenbefragung wurden die verfeinerte Substanzliste sowie die Gruppierungen nach Geruchsschwellen zur Diskussion gestellt. Das zentrale Ziel war dabei, eine Plausibilitätsprüfung der in der Substanzliste vorhandenen Daten auf Basis der Expert:innenmeinung vorzunehmen. Dabei lag ein besonderer Fokus auf gefundenen Geruchsschwellen, zugeordneten Geruchsschwellen u.a. Weiterhin wurden die Expert:innen für eine finale Auswahl von geruchsrelevanten Substanzen für das Geruchsrads erneut gebeten, eine weitere TOP-Liste zu erstellen. Im Anschluss an diese Befragung wurde die Substanzliste neu gegliedert und konnte abschließend auf insgesamt 64 Einzelsubstanzen festgelegt werden. Aus diesen Daten wurden in Abhängigkeit der vorhandenen Datenlage und -qualität einzelne Substanzen für eigene Validierungsmessungen ausgewählt. Für diese wurden Geruchsschwellen sowie Intensitätskennlinien, Weber-Fechner-Koeffizienten, die Hedonik und der Geruchsschwellen ermittelt.

Auf Basis des Feedbacks der Expert:innen und mit der erstellten finalen Substanzliste wurde ein erster Entwurf des Geruchsrads erstellt. Dabei wurden die Substanzen im Geruchsrads entsprechend ihrer Geruchsschwellen und deren Gruppierung in drei Ebenen angeordnet. Zusätzlich wurde ein Begleittext formuliert, der Anwendungshinweise zur Nutzung des Geruchsrads enthält. Weiterhin wurde eine zusätzliche Literaturrecherche durchgeführt, um das Geruchsrads farblich passend zu gestalten.

Der erste Entwurf des Geruchsrads, der drei beschreibende Ebenen enthielt sowie eine vierte Ebene, in der die zugrundeliegenden Einzelsubstanzen aufgeführt wurden, wurde in einer weiteren Expert:innenbefragung zur Diskussion gestellt. Hier wurde die Darstellung in drei beschreibenden Ebenen festgelegt und abschließend eine Ergänzung der dritten Ebene mit

entsprechenden Bildwelten beschlossen. Diese sollen dazu dienen, die beschreibenden Worte für Gerüche zu visualisieren und damit eine universelle Verständlichkeit von Geruchseindrücken zu gewährleisten.

Zunächst wurde die erste Version des Geruchsrads ohne Bildwelten in der Anwendung erprobt. Im Zuge der ersten zwei Anwendungen konnte weiteres Verbesserungspotenzial ermittelt werden. Für die darauffolgende Anwendung wurde das Geruchsrads sodann überarbeitet. In diesem Schritt wurde die dritten Ebene des Geruchsrads mit den geplanten Bildwelten ergänzt. Ab dem dritten zu bewertenden Innenraum wurde daher die neuere, bebilderte Version des Geruchsrads eingesetzt. Diese Version wurde für alle folgenden Innenräume, die Bestandteil des Projektes waren, als Arbeitsversion verwendet.

Im weiteren Projektverlauf wurde das Geruchsrads in der praktischen Anwendung getestet und validiert. Insgesamt wurden 21 geruchlich belastete Innenräume, die frei von sichtbarem Schimmel waren, jeweils humansensorisch mittels Geruchsrads und Prüfer:innen sowie chemisch-analytisch mittels GC-MS und sensorisch-analytisch mittels GC-MS-Sniffing untersucht. Die Analytik mittels GC-MS diente dabei dazu, die Wiederfindung im Geruchsrads hinterlegter Substanzen zu prüfen. Ergänzt durch das GC-MS-Sniffing ließen sich detailliertere Rückschlüsse auf die Geruchsrelevanz einzelner Stoffe ziehen und gegebenenfalls auch Geruchcharaktere finden, die in der reinen GC-MS-Analytik nicht identifizierbar sind.

Die GC-MS Analytik wurde in Anlehnung an die DIN ISO 16000-6 „Innenraumluftverunreinigungen - Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern“ durchgeführt. Dieses Verfahren eignet sich, um gängige Innenraumschadstoffe in der Raumluft nachzuweisen und zu quantifizieren. Entsprechend gängiger Praxis werden die Raumluftkonzentrationen als Toluol-Äquivalente angegeben. Für diese GC-MS-Analytik wurden die Raumluftproben mittels einer Probenahmepumpe und Tenax®-Tubes gesammelt und anschließend der GC-MS zugeführt. Hier wurden die Substanzen entsprechend ihrer chemischen Eigenschaften aufgetrennt und einzeln am MS-Detektor identifiziert. Der Luftstrom, der dem MS-Detektor zugeführt wurde, wurde bei diesen Messungen aufgetrennt, sodass parallel ein Teil der aufgetrennten Substanzen einem Sniffing-Port zugeführt wurde, an dem Prüfer:innen jede Einzelsubstanz sensorisch bewerteten. Im Laufe des Projektes wurden zusätzlich für verbleibende oder noch zur Verfügung stehende, bereits bewertete Innenräume, Luftproben auf DNPH Kartuschen gesammelt und mittels HPLC analysiert, um auch Aldehyde, wie z. B. Formaldehyd, mit zu erfassen.

Für die rein humansensorische Bewertung waren entsprechend der Leistungsbeschreibung jeweils 10 geschulte/trainierte und 20 ungeschulte/untrainierte Prüfer:innen in möglichst ausgewogener Geschlechterverteilung vorgesehen. Diese sollten in Anlehnung an die EN 13725, im Labor aus Nalophan®-Beuteln den Geruch des jeweiligen Innenraums mithilfe des Geruchsrads bewerten. Hierfür wurden Proben der Innenraumluft vor Ort in Beutel gefüllt und schnellstmöglich zur Bewertung ins Labor überführt. Entsprechend der VDI 4302-1 sollten zwischen Probenahme und Bewertung maximal 6 h liegen. Im Zuge der Bewertungen der ersten beiden Innenräume stellte sich heraus, dass die vor Ort durch die Olfasense Mitarbeiterinnen wahrgenommenen Geruchsnoten von denen im Beutel im Labor teils deutlich abwichen. Die Probenahme in Nalophan®-Beutel und die anschließende Bewertung im Labor eignet sich damit im Gegensatz zu Umweltproben für die Bewertung von Innenraumgerüchen nicht. Offenbar lassen sich bereits innerhalb kürzester Zeit die ursprünglichen Geruchsnoten des Innenraums nicht akkurat im Beutel wiederfinden, obwohl diese Art der Bewertung für Umweltproben aus unterschiedlichsten Quellen (Kompostieranlagen, Mastbetriebe u.a.) aus Nalophan®-Beuteln nach EN 13725 gängige und bewährte Praxis ist. Diese Diskrepanz erklärt sich durch die deutlich geringen Geruchsstoffkonzentrationen im Innenraum, sodass hier z. B. Wandeffekte deutlicher hervortreten, als bei Umweltproben.

Um dieser Erkenntnis Rechnung zu tragen, wurde mit dem Umweltbundesamt (UBA) als Auftraggeber vereinbart, dass Raumbewertungen möglichst nur direkt vor Ort durchgeführt werden. Da Raumbewertungen mit 30 Prüfer:innen direkt vor Ort einen größeren organisatorischen und logistischen Aufwand erfordern, als Bewertungen im Labor aus einem Nalophan®-Beutel, wurde mit dem UBA zunächst abgestimmt, dass die Anzahl und Zusammensetzung der Prüfer:innen von den ursprünglichen Vorgaben auch abweichend sein kann. Um jedoch möglichst robuste Datensätze zu erhalten, wurden mit wenigen Ausnahmen die Mindestanforderungen (mindestens je 5 trainierte Männer und Frauen sowie mindestens je 10 untrainierte Männer und Frauen) erfüllt. Mit Ausnahme der ersten drei Innenräume liegen die Geschlechterverhältnisse zwischen Männern und Frauen im Mittel bei 49:51. Der Anteil an Männern insgesamt liegt bei minimal 44 und maximal 55 %. Im Hinblick auf trainierte Prüfer:innen ergibt sich in 5 Fällen aufgrund von Überrekrutierung von Frauen ein zu ca. 35:65 verschobenes Verhältnis von Männern zu Frauen. Im Mittel gilt für trainierte Prüfer:innen ein Verhältnis von 47:53 (m:w) und für untrainierte Prüfer:innen von 50:50 (m:w).

Eine finale Auswertung zu geschlechtsspezifischen Unterschieden in der Geruchswahrnehmung zeigte insgesamt nur marginale Unterschiede zwischen Männern und Frauen. Insgesamt ist die Einschätzung, inwieweit Männern oder Frauen die Anwendbarkeit des Geruchsrads leichter oder schwerer fiel, nicht eindeutig vorzunehmen. 94 % der Frauen gaben an, dass ihnen die Anwendung des Geruchsrads leicht bis sehr leicht fiel. Im Vergleich dazu, machten 96 % der Männer dieselbe Angabe. Entsprechend gaben 6 % der Frauen und 4 % der Männer an, dass ihnen die Anwendung nicht so leicht fiel. Wird die Gruppe der trainierten Prüfer:innen betrachtet, schätzten 100 % der Frauen und 97 % der Männer die Anwendung als leicht bis sehr leicht ein, während in der Gruppe der untrainierten 10 % der Frauen und 4 % der Männer die Anwendung als zumindest nicht so leicht empfanden.

In der Antworthäufigkeit zeigte sich zwischen Männern und Frauen, dass Frauen durchschnittlich etwas mehr beschreibende Worte für einen Geruch auf dem Geruchrad fanden, als Männer. Im Schnitt aller Prüfer:innen, welcher 5,51 Antworten je Prüfer:in über alle Ebenen des Geruchsrads betrug, fanden Frauen durchschnittlich 0,36 mehr beschreibende Worte als Männer, was 6,5 % entspricht. Für trainierte Prüfer:innen (durchschnittlich 5,60 Antworten je Prüfer:in) betrug die Differenz lediglich 1,4 %, während sie bei untrainierten Prüfer:innen (durchschnittlich 4,92 Antworten je Prüfer:in) bei 7,3 % lag. Es zeigte sich damit eine leichte Tendenz, dass insbesondere bei der Anwendung durch untrainierte Prüfer:innen, also Laien, für die das Geruchsrads vorgesehen ist, Frauen mehr beschreibende Worte im Geruchsrads fanden, als Männer. Deutliche Geschlechterunterschiede ließen sich aber nicht feststellen.

Aus der praktischen Anwendung des Geruchsrads zeigten sich weitere Überarbeitungsbedarfe für die Ausgestaltung des Geruchsrads. Eigene Beschreibungen von Prüfer:innen, wie z. B. „Teppich, textil“ sollten künftig Teil des Geruchsrads werden, während sich eigene Beschreibungen wie „trocken“ oder „abgestanden“ eher nicht mit Einzelsubstanzen beschreiben lassen und daher nicht mit in das Geruchsrads aufgenommen werden sollten. Die abschließende Version des Geruchsrads beinhaltet nach Überarbeitung insgesamt 66 Einzelsubstanzen und 45 auswählbare Geruchsnoten in der äußersten Ebene des Rads.

Weiterhin wurde eine Vielzahl an Überschneidungen zwischen den humansensorischen Prüfer:innen-Bewertungen mithilfe des Geruchsrads und den sensorisch- und chemisch-analytischen Bewertungen gefunden. Diese legen nahe, dass zumindest teilweise Rückschlüsse von den Bewertungen mittels Geruchsrads auf die zugrundeliegenden Substanzen oder Substanzgruppen möglich sind. Diese Zusammenhänge wurden im Zuge der abschließenden Validierung des Geruchsrads in vier weiteren, künstlich bedufteten Innenräumen, sogenannten Twinrooms, überprüft. Hier zeigte sich ebenfalls, dass Rückschlüsse aus den Bewertungen mittels Geruchsrads auf Einzelsubstanzen zumindest eingeschränkt möglich sind. Werden

Bewertungen in der 3. Ebene zugrunde gelegt, konnten 80 % der verdampften Substanzen mithilfe der gewählten Geruchsnoten der Prüfer:innen bestätigt werden.

Das Geruchsrads bietet damit, neben der Einbeziehung von sachverständigen Personen, eine zusätzliche Hilfestellung, um Geruchseindrücke in Innenräumen zu benennen und diese verschiedenen Substanzen oder Substanzgruppen zuzuordnen. Dies kann sowohl bei der Quellensuche von Gerüchen im Innenraum als auch bei der Festlegung einer Messstrategie von Nutzen sein.

Summary

The aim of this research project was to develop an odour wheel for odour-relevant indoor pollutants and to test its suitability in practice.

To achieve this, typical indoor odours were first compiled in order to put them into the form of an odour wheel for practical use in the event of odour problems in indoor spaces. As a first step, a literature research on odour-relevant indoor pollutants was carried out and an initial list of 205 individual substances was compiled. The list was sorted according to the frequency of mentions in the literature. Furthermore, where available in the literature, odour parameters such as odour thresholds, odour characters and reported indoor concentrations were added. Additional expert interviews made it possible to refine the list.

During the first expert interview, the experts were asked for their top-10 odour-relevant indoor substances. On the other hand, an assessment of the general relevance of the 205 substances from the literature research was requested. With the help of this feedback, the list could be supplemented with additional interior-relevant substances, but also reduced by many substances considered less relevant for the interior. As a result of the first expert feedback, a refined list of 89 individual substances was compiled. Data on existing odour thresholds and odour characters were added to this list. An ascending sorting was carried out according to the frequency of mentions within the first expert interview and secondarily according to the frequency of mentions in the literature. In addition, the remaining substances were grouped according to their odour characters (e.g. 'sweet' with substances such as acetophenone, 2-butanone and xylene or 'fruity' with substances such as n-butyl acetate, octanal, nonanal and pentanal).

In a second expert interview the refined substance list and the groupings according to odour characters were discussed. The central topic was to carry out a plausibility check of the data available in the substance list based on the experts' opinions (in particular odour thresholds found, assigned odour characters, etc.). Furthermore, another top list was to be named for a final selection of odour-relevant substances for the odour wheel. Following this interview, the list of substances was reorganised and finally refined to a total of 64 individual substances. From this data, individual substances were selected for in-house validation measurements depending on the available data situation and quality. Odour thresholds, intensity curves, Weber-Fechner coefficients, hedonic tones and odour characters were determined for these substances.

Based on the feedback from the experts and the final substance list, a first draft of the odour wheel was created. The substances in the odour wheel were arranged in three levels according to their odour characteristics and their grouping. In addition, an accompanying text was compiled containing instructions on how to use the odour wheel. Further literature research was also carried out in order to design the odour wheel in appropriate colours.

The first draft of the odour wheel which contained three descriptive levels and a fourth level in which the underlying individual substances were listed was put up for discussion in another expert interview. Here, the presentation in three levels was agreed upon and a final decision was made to supplement the third level with corresponding imagery. These images should serve to visualise the descriptive words for odours and thus ensure universal comprehensibility of odour impressions.

To begin with, the first version of the odour wheel without images was tested in application. In the course of the first two applications, further potential for improvement was identified. The odour wheel was then revised for the next application. During the course of this, the third level of the odour wheel was supplemented with the planned images. The newer, illustrated version

of the odour wheel was therefore used from the third room to be evaluated onward. This version was used as a working version for all subsequent rooms that were part of the project.

As the project progressed, the odour wheel was tested and validated in practical applications. A total of 21 odour-contaminated rooms, which were free of visible mould, were each tested using human sensory analysis implementing the odour wheel and panellists, as well as chemical analysis using GC-MS and sensory analysis using GC-MS sniffing. The GC-MS analysis was used to test the recovery of substances detected in the odour wheel. Complemented by GC-MS sniffing, more detailed conclusions can be drawn about the odour relevance of individual substances and, in cases, odour characters can be found that cannot be identified in pure GC-MS analysis.

The GC-MS analysis was carried out in accordance with DIN ISO 16000-6 'Indoor air pollutants - Part 6: Determination of VOCs in indoor air and in test chambers'. This method is suitable for detecting and quantifying common indoor pollutants in indoor air. In accordance with common practice, the indoor air concentrations are specified as toluene equivalents. For this GC analysis, the indoor air samples were collected using a sampling pump and Tenax® tubes and subsequently analysed by GC-MS. Here, the substances were separated according to their chemical properties and individually identified on the MS detector. The air stream fed to the MS detector was separated during these measurements, so that some of the separated substances were fed to a sniffing port in parallel, where panellists evaluated each individual substance sensorially. During the course of the project, air samples were also collected on DNPH cartridges for remaining or available rooms that had already been evaluated and analysed using HPLC in order to also detect short-chain aldehydes such as formaldehyde.

For the purely human sensory evaluation, 10 trained and 20 untrained panellists were provided in as balanced a gender distribution as possible, complying with the specifications. In accordance with EN 13725, they were to evaluate the odour of the respective room in the laboratory from Nalophan® bags using the odour wheel. For this purpose, samples of the indoor air were filled into bags on site and transferred to the laboratory for evaluation as quickly as possible. In accordance with VDI 4302-1 'Odour testing of indoor air and emissions from indoor materials', the maximum time between sampling and evaluation is 6 hours between sampling and evaluation. Over the course of the assessments of the first two rooms, it became apparent that the odour notes perceived on site by the Olfasense employees differed significantly in some cases from those in the bag in the laboratory. Sampling in Nalophan® bags and subsequent evaluation in the laboratory is therefore not suitable for evaluating indoor odours, unlike for environmental samples. Apparently, the original odour notes of the room cannot be found accurately in the bag within a very short time, although this type of evaluation is common and proven practice for environmental samples from a wide variety of sources (composting plants, finishing farms, etc.) from Nalophan® bags according to EN 13725. This discrepancy can be explained by the significantly lower odour concentrations in the room, which means that wall effects, for example, are more noticeable here than in environmental samples.

In order to take this finding into account, it was agreed with the Federal Environment Agency as the client that room assessments would only be carried out directly on site if possible. Since room assessments with 30 testers directly on site require greater organisational and logistical effort than assessments in the laboratory from a Nalophan® bag, it was initially agreed with the UBA that the number and composition of the testers could also deviate from the original specifications. However, in order to obtain the most robust data sets possible, the minimum requirements (at least 5 trained men and women each and at least 10 untrained men and women each) were met with a few exceptions. With the exception of the first three rooms, the average gender ratio between men and women is 49:51, with a minimum of 44% and a maximum of 55% of men. With regard to trained testers, in 5 cases the ratio of men to women

shifted to approx. 35:65 due to over-recruitment of women. On average, the ratio is 47:53 (male:female) for trained testers and 50:50 (male:female) for untrained testers.

A final evaluation of gender-specific differences in odour perception showed only marginal differences between men and women. Overall, the extent to which men or women found it easier or more difficult to use the odour wheel cannot be clearly assessed. Overall, 94% of women stated that they found it easy to very easy to use the odour wheel. In comparison, 96% of men made the same statement. Accordingly, 6 % of women and 4 % of men stated that they did not find it so easy to use. Looking at the group of trained testers, 100% of women and 97% of men rated the application as easy to very easy, while in the group of untrained testers, 10% of women and 4% of men felt that the application was at least not so easy.

The response frequency between men and women showed that, on average, women found slightly more descriptive words for an odour on the odour wheel than men. On average for all testers, which was 5.51 responses per tester across all levels of the odour wheel, women found an average of 0.36 more descriptive words than men, which corresponds to 6.5%. For trained testers (average of 5.60 responses per tester), the difference was only 1.4%, while for untrained testers (average of 4.92 responses per tester) it was 7.3%. There was thus a slight tendency for women to find more descriptive words in the odour wheel than men, especially when used by untrained testers, i.e. laypersons for whom the odour wheel is intended. However, no clear gender differences were found.

The practical application of the odour wheel revealed a need for further revisions to the design of the odour wheel. Panellists' own descriptions, such as "carpet, textile", should become part of the odour wheel in future, while their own descriptions such as "dry" or "stale" cannot be matched with individual substances and should therefore not be included in the odour wheel. After revision, the final version of the odour wheel contains a total of 66 individual substances and 45 odour descriptors to choose from in the outermost level of the odour wheel.

Furthermore, a large number of overlaps were found between the human sensory panellists' evaluations using the odour wheel and the sensory-analytical evaluations. These suggest that at least partial conclusions can be drawn from the ratings using the odour wheel to the underlying substances or substance groups. These correlations were checked in the course of the final validation of the odour wheel in four other artificially scented rooms, so-called twin rooms. Here it was also shown that conclusions can be drawn from the evaluations using the odour wheel to individual substances, at least to a limited extent. If assessments in the 2nd level are used as a basis, it was possible to draw conclusions about the substances present in around 80% of cases.

The odour wheel, in addition to the involvement of experts, offers further assistance in identifying indoor odours and assigning them to different substances or substance groups. This can be useful both in locating the source of indoor odours and in determining a measurement strategy.

1 Ziel und Gegenstand des Forschungsprojektes

Das Ziel dieses Forschungsprojekts ist die Entwicklung und Erprobung eines Geruchsrads für typische Innenraumgerüche.

Ein solches Geruchsrads soll es ermöglichen, beschreibbare Geruchseindrücke aus einem Innenraum einer chemischen, geruchsrelevanten Substanz zuzuordnen. Die „Übersetzung“ eines Geruchseindrucks in eine chemische Substanz erfolgt dabei in erster Linie durch eine typisierende Beschreibung des wahrgenommenen Geruchs (wie fruchtig, ranzig etc.), die der Beschreibung der gesuchten chemischen Substanz gleicht.

Eine dreistufige Ordnung des Geruchsrads soll die Anwender:innen von einer generell kategorisierenden ersten Ebene über eine aufgefächerte beschreibende zweite Ebene (Deskriptoren) zu der dritten Zielebene mit spezifischen Geruchsnoten führen, welche dann mit bestimmten chemischen Substanzen korrelieren.

Die grundsätzlich durch den kulturellen Hintergrund beeinflusste Wahrnehmung von Gerüchen kann erfahrungsgemäß bereits in den regionalen Ausgestaltungen innerhalb einer Sprachfamilie sowie aufgrund der multi-kulturellen Zusammensetzung der Gesellschaft zu entweder unterschiedlich verwendeten Bedeutungen eines Deskriptors oder einer Geruchsnote oder verschiedenen „üblicherweise“ verwendeten Wort-Beschreibungen eines gleichen Geruchseindrucks führen. Anders als in der sensorischen Wahrnehmung gibt es diese Abweichungen in der visuellen Wahrnehmung nicht. Zur allgemeinen Verständlichkeit des Geruchsrads wurden daher die durch Worte beschriebenen Geruchsnoten der dritten Ebene durch begleitende Bildwelten ergänzt.

Anwendung soll dieses Geruchsrads in erster Linie durch Betroffene finden, die etwa im häuslichen Umfeld oder am Arbeitsplatz störenden Gerüchen ausgesetzt sind. Mit Hilfe des Geruchsrads soll eine erste eigene Einschätzung zu möglichen Innenraumschadstoffen, die den Geruch auslösen können, getroffen werden können. Zugleich erleichtert und vereinheitlicht das Geruchsrads die Kommunikation mit sachverständigen Personen bei der Planung von Innenraummessungen, der Problembeschreibung und der Quellensuche. Ferner kann das Geruchsrads in der Ausbildung neuer sachverständiger Personen eingesetzt werden.

2 Methodisches Vorgehen

Das Projekt zur Entwicklung eines Geruchsrads für typische Innenraumgerüche gliedert sich in drei Arbeitsschritte:

1. Identifizierung relevanter Geruchsstoffe
2. Erstellung des Geruchsrads
3. Prüfung von Anwendbarkeit und Validierung des Geruchsrads

Geruchlich relevante Substanzen, die typischerweise im Innenraum vorkommen, wurden in einem ersten Schritt mittels systematischer Literaturrecherche zusammengetragen. In Zusammenarbeit mit verschiedenen Expert:innen für Innenraumbewertungen wurde auf nationaler Ebene die aus der Literaturrecherche resultierende erste Substanzliste diskutiert. Auf Basis der Rückmeldung dieser Expert:innen wurde die erste Substanzliste verfeinert und es konnte eine Priorisierung von Substanzen vorgenommen werden. Für die finale Substanzliste wurden Geruchsnoten, also den Geruch genau beschreibende Worte, ergänzt.

Im zweiten Schritt wurde mit Hilfe der Geruchsbeschreibungen ein erster Entwurf für ein Geruchsrads erstellt.

Für alle ausgewählten Substanzen wurden weitergehende geruchlich relevante Parameter recherchiert und durch eingehende Prüfung und Gegenüberstellung einzelner Quellen auf deren Plausibilität geprüft. Für die geruchlichen Parameter von fünf ausgewählten Substanzen, die zum einen durch Expert:innenfeedback zur Überprüfung identifiziert wurden und auch in der Plausibilitätsprüfung der Literatur auffällig waren, wurden eigenen Validierungsmessungen durchgeführt. Mit diesen wurden die Geruchssparameter Geruchsschwelle, Intensität, Hedonik und Geruchsscharakter bestimmt. Weitere Expert:innenbefragungen zum Entwurf des Geruchsrads lieferten Aufschluss über dessen Vollständigkeit und gaben einen ersten Eindruck zur Handhabbarkeit des Geruchsrads.

Nach Fertigstellung einer Arbeitsversion des Geruchsrads wurde in einem dritten Schritt dessen Anwendung in der Praxis überprüft. Hierfür wurden in insgesamt 21 geruchlich auffälligen Innenräumen chemisch-analytische (Gaschromatographie, gekoppelt an ein Massenspektrometer (GC-MS) und Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (High Performance Liquid Chromatography; HPLC)), sensorisch-analytische (GC-MS-Sniffing) und humansensorische Untersuchungen (Prüfer:innenbewertungen mittels Geruchsrads) durchgeführt.

Für die Auswahl geruchlich belasteter Innenräume wurde als generelles Ausschlusskriterium sichtbarer Schimmel im Raum vorgegeben. Um die humansensorische Bewertbarkeit von Innenräumen sicherzustellen, sollten möglichst solche Räume bewertet werden, die nach Einschätzung erfahrener Messleiterinnen, mindestens einen deutlichen Geruch aufwiesen. Zusätzlich sollte dem auffälligen Geruch keine eindeutige Ursache, wie beispielsweise eine kurz zuvor durchgeführte Reinigung, Renovierung o. ä., zugrunde liegen.

Vor der Begehung eines Raumes wurde dieser nach Möglichkeit 24 h, mindestens aber 8 h, vor einer Begehung bzw. Beprobung für mindestens 15 Minuten intensiv gelüftet und anschließend bis zur Begehung verschlossen gehalten. Vor der Probenahme zur rein humansensorischen Bewertung bzw. vor der Bewertung durch Prüfer:innen vor Ort, wurde zunächst durch einen möglichst kurzen Aufenthalt im Raum die Probenahme für die HPLC-, GC-MS- und GC-MS-Sniffing-Analytik auf Probenahmeröhrchen gestartet. Nach Abschluss der Analytik-Probenahme wurde der Raum erneut von der Messleiterin betreten, das Probenahme-Equipment entfernt und der Raum für die Geruchsbewertung freigegeben. Bei den ersten beiden Innenräumen erfolgte die Probenahme für die humansensorische Bewertung in Anlehnung an EN 13725 in Nalophan®-Beutel. Diese Proben wurden im Olfasense Geruchslabor humansensorisch bewertet.

Da sich diese Versuchsdurchführung im Innenraumkontext nicht eignete, erfolgten die Bewertungen der Räume mittels Geruchsrads durch die Prüfer:innen ab dem 3. Innenraum immer vor Ort. Dabei wurden die Prüfer:innen in Kleingruppen in den Raum geführt, um die Bewertung mittels Geruchsrads durchzuführen.

Die Ergebnisse der humansensorischen, chemisch-analytischen und sensorisch-analytischen Untersuchungen wurden gegenübergestellt und ausgewertet. Übereinstimmungen der verschiedenen Erfassungsmethoden wurden als Bestätigung für die Anwendbarkeit des Geruchsrads gewertet.

Auf Basis der Auswertungen wurde das Geruchsrads final überarbeitet und abschließend in definiert bedufteten Innenräumen angewendet.

Das schrittweise Vorgehen des gesamten Projektes ist im folgenden Fließschema (Abbildung 1) zusammengefasst dargestellt.

Abbildung 1: Allgemeines, schrittweises Vorgehen zur Entwicklung und Validierung eines Geruchsrads für typische Innenraumgerüche.

Stufenweises vorgehen mit Literaturrecherche, Expert:innenbefragungen, Validierungsmessungen von Einzelsubstanzen, Entwurf des Geruchsrads sowie Auswahl und Bewertung von Innenräumen, Prüfung der Anwendbarkeit des Geruchsrads und dessen Finalisierung.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH.

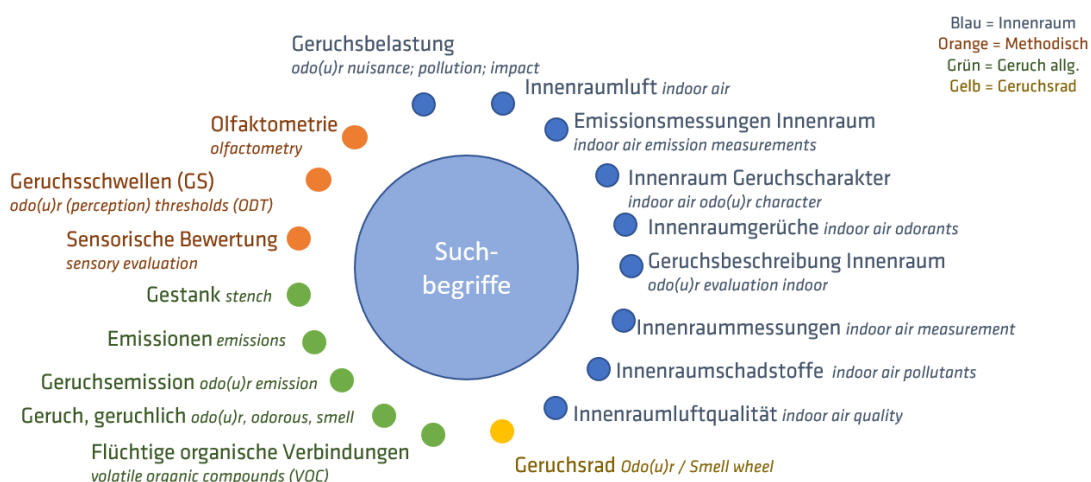
2.1 Vorgehen zur Identifizierung geruchlich relevanter Substanzen

2.1.1 Literaturrecherche

Ziel der Literaturrecherche war es, häufig vorkommende und geruchlich relevante Innenraumschadstoffe auf Basis vorhandener Studien und Veröffentlichungen zu ermitteln. Die wichtigsten, für die Online-Recherche verwendeten Suchbegriffe sind folgend gelistet:

Abbildung 2: Suchbegriffe zur Literaturrecherche.

Suchbegriffe in englischer und deutscher Variante mit farblicher Untergliederung nach Themengebiet (Innenraum, Methoden allgemein, Geruch allgemein, Geruchsräder).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH.

Folgende Suchmaschinen bzw. Datenbanken wurden für die Literaturrecherche verwendet:

Tabelle 1: Auswahl verwendeter Suchmaschinen & Datenbanken für die Literaturrecherche.

www.	www.	www.
Google.com	researchgate.net	pubs.acs.org
scholar.google.com	elsevier.com	raumluf.org
startpage.com	sciencedirect.com	semanticsscholar.org
ecosia.org	ncbi.nlm.nih.gov	euro.who.int
academia.edu	onlinelibrary.wiley.com	

In der folgenden Tabelle 2 findet sich ein Auszug der Recherchedokumentation:

Tabelle 2: Auszug: Dokumentation Literaturrecherche.

Datenbank / Suchmaschine	Zugriffs- bzw. Suchdatum	Jahreszeitraum der gefundenen Literaturquellen	eingegabene Schlagwörter	Anzahl der Referenzen
Elsevier	15. Januar 2021	1982 – 2019	odour evaluation indoor	7
Google	22. Januar 2021	1995 – 2019	indoor air odo*r publication	10
Google Scholar	29. Januar – 19. Februar 2021	1988 – 2019	indoor odo*r substances	43
	26. Februar 2021	1995 – 2013	odo*r perception thresholds indoor publication	8
	19. März – 09. April 2021	1990 – 2020	indoor air emission measurements	36
sciencedirect.com	19. -26. März 2021	2004 – 2020	- indoor air pollutants - indoor air odour character “volatile organic compounds” UND “indoor air” - indoor air pollutants “indoor air” UND “VOC” “indoor” UND “smell” UND “character” - indoor air quality „indoor air“ UND „pollutants“ ODER „measurement“	22
www.euro.who.int	19. März 2021	2010 – 2020	indoor air pollutants	6
	19. März 2021	1997 – 2017	indoor air emission measurement	6
	19. März 2021	1997 – 2010	odo*r nuisance pollution impact	3
	26. März 2021	1988 – 2017	indoor air measurement	10
semanticscholar.org	09. April 2021	1999 – 2020	odo*r perception thresholds	9
	09. April 2021	2000 – 2021	odo*r perception thresholds indoor	30
	09. – 16. April 2021	1986 – 2020	emission stench odo*r indoor	24

Datenbank / Suchmaschine	Zugriffs- bzw. Suchdatum	Jahreszeitraum der gefundenen Literaturquellen	eingegabene Schlagwörter	Anzahl der Referenzen
	23. April 2021	2002 – 2020	odo*r VOC indoor	10
raumluft.org	01. April 2021	2007 – 2016	-	7
pubs.acs.org	01. April 2021	1986 – 2019	indoor air odo*r	13
	01. April 2021	1996 – 2020	odo*r threshold	7
onlinelibrary.wiley.com	15. Januar – 29. Januar 2021	1988 – 2021	indoor air emission measurement	47
	29. Januar 2021	2004 – 2021	“odo*r” in Keywords and “threshold” in Keywords	10
	05. – 19. Februar 2021	1988 – 2021	odo*r evaluation indoor	37
	26. Februar – 19. März 2021	1988 – 2021	odo*r voc indoor	66

In einem ersten Schritt wurden alle Substanzen in einer Excel-Tabelle gelistet, die in mindestens zwei voneinander unabhängigen Quellen im Kontext mit Innenräumen genannten wurden. Folgende Parameter wurden dabei, wenn vorhanden, dokumentiert:

- ▶ Substanzname
- ▶ CAS-Nummer
- ▶ Geruchsschwellenkonzentration
- ▶ methodisches Vorgehen bei der Geruchsschwellenbestimmung
- ▶ übliche Konzentration im realen Innenraum
- ▶ Emissionsraten aus Bauprodukten u.a.
- ▶ Ort der Untersuchung (für alle Substanzen mit mind. 10 Nennungen)
- ▶ Geruchsbeschreibungen aus Literaturquellen & Geruchsbeschreibung aus der Olfasense GC-MS-Sniffing Datenbank
- ▶ Quellverweise
- ▶ Häufigkeit der Nennungen

Alle Parameter wurden im Zuge der Plausibilitätsprüfung (siehe Kapitel 2.1.3) der gefundenen Daten mitberücksichtigt.

2.1.2 Expert:innenbefragungen

Auf Basis der durch die Literaturrecherche identifizierten Substanzen wurden Expert:innenbefragung durchgeführt, um:

- a) die Möglichkeit zu bieten, weitere relevante Innenraumschadstoffe zu benennen und
- b) eine Priorisierung/Depriorisierung der bereits gelisteten Substanzen vorzunehmen sowie
- c) einen ersten Entwurf des Geruchsrads zu bewerten.

Hierzu wurden die Erfahrungen und Einschätzungen von verschiedenen Expert:innen abgefragt. Ausgewählte Expert:innen waren überwiegend Mitglieder der Unterarbeitsgruppe Geruchsbewertung (UAG Geruch) des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR) und damit insbesondere auch im Bereich Geruch bewandert. Weitere Expert:innen z. B. der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, des Ingenieur- und Sachverständigenbüros Roland Braun und der GFI Gesellschaft für Innenraumhygiene mbH wurden ebenfalls einbezogen. Zusätzlich wurde im Rahmen der 28. WaBoLu Innenraumtage im Mai 2021 die Substanzliste verteilt und um Expert:innenmeinungen gebeten. Eine Liste der eingebundenen Expert:innen findet sich in Tabelle 3. Weitere Expert:innen, die zwar angefragt wurden, aber kein Feedback gaben, sind folgend nicht gelistet. Die aufgeführten Expert:innen wurden im Verlauf des Projektes ebenfalls in die Einschätzung der Gestaltung und Anwendbarkeit des Geruchsrads mit einbezogen.

Tabelle 3: Ausgewählte Expert:innen.

Expert:innen, deren Feedback im Verlauf des Projektes bezüglich der gewählten Substanzen und des Geruchsrads eingeholt wurde.

Institution	Ansprechpartner:in
Landesamt für soziale Dienste Schleswig-Holstein	Dr. Claudia Röhl
Ingenieur- und Sachverständigenbüro Roland Braun, Hamburg	Dipl.-Biol., Dipl.-Ing. Roland Braun
Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA)	Dr. Kirsten Sucker
Niedersächsisches Landesgesundheitsamt	Herbert Grams
Landeslabor Berlin-Brandenburg LLBB	Felicia Gerull
Landesamt für Gesundheit und Soziales Mecklenburg-Vorpommern	Dr. Jörn Hameister
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung	Dr. Wolfgang Horn
Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP	Dr. rer. Nat. Andrea Burdack-Freitag
Behörde für Gesundheit und Verbraucherschutz Hamburg	Dr. Katrin Schröder
DGUV: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung	Nadja von Hahn
GFI Gesellschaft für Innenraumhygiene mbH	Dipl.-Ing. Jörg Brandes

In einem ersten Schritt war die Befragung von Expert:innen, neben der Literaturrecherche, ein grundlegender Bestandteil der Ermittlung und Selektion relevanter Substanzen im Innenraum. Ziel war die Ergänzung relevanter Geruchsstoffe, aber insbesondere auch die Reduzierung der Anzahl auf die wichtigsten Geruchsstoffe, um eine überschaubare Anordnung des Geruchsrads zu ermöglichen. Um eine repräsentative Auswahl an innenraum- sowie geruchsrelevanten Substanzen mit spezifischen Charakteren zu erhalten, wurde ein Google-Online-Formular für Expert:innenfeedback erstellt. Dieses Formular enthielt die Substanzliste sowie vier Fragen zur Beurteilung der gefundenen Einzelsubstanzen (siehe unten). Zusätzlich stand die Liste als PDF-Download zur Verfügung. Für die Befragung wurde der zuvor festgelegte Expert:innenkreis (vgl. Kapitel 2.1.2 Tabelle 3) direkt per E-Mail um Teilnahme gebeten (mit PDF- und bearbeitbare Excel-Liste als Anhang). Weiterhin wurden das Formular und die PDF-Liste auf den 28. WaBoLu-Innenraumtagen vom Mai 2021 vorgestellt und Teilnehmende um Ihr Feedback zu dieser aktuellen Substanzliste gebeten. Die gestellten Fragen konnten innerhalb des Google-Formulars beantwortet werden, während die Excel-Tabelle frei bearbeitet und anschließend mittels eines separaten Upload-Links oder per E-Mail direkt an Olfasense übermittelt werden konnte.

Die Expert:innen wurden gebeten folgende Aspekte zu betrachten:

- ▶ Nennung Ihrer "TOP 10" der innenraumrelevanten Substanzen mit spezifischem geruchlichem Charakter, die Ihnen im Innenraum immer wieder begegnen.
- ▶ Enthält die Liste laut Ihrer Meinung alle innenraumrelevanten (Geruchs-) Substanzen? Welche Substanzen fehlen nach Ihrer Ansicht?
- ▶ Sind Substanzen (z. B. solche mit häufiger Nennung) aufgeführt, die im Geruchskontext im Alltag keine oder nur eine untergeordnete Relevanz aufweisen?
- ▶ Sind Substanzen (z. B. solche mit wenigen Nennungen) aufgeführt, die im Geruchskontext im Alltag eine höhere Relevanz aufweisen, als die Anzahl der Nennungen suggeriert?

Auf Basis diesen Feedbacks wurde die erste Substanzliste (siehe Kapitel 3.1.1) überarbeitet. Eine ergänzte und gleichzeitig reduzierte zweite Substanzliste wurde in einer weiteren Expert:innenbefragung zur Diskussion gestellt (siehe Kapitel 3.1.2) und auf Plausibilität geprüft (siehe Kapitel 3.1.3 und 3.1.4). Zusätzlich wurden erste Gruppierungen der Geruchscharaktere zur Diskussion gestellt. Die Expert:innen wurden gebeten, folgende Aspekte zu betrachten:

Zur allgemeinen Substanzliste

- ▶ Sind Substanzen in dieser Liste genannt, die eine besonders hohe geruchliche Relevanz im Innenraum aufweisen? Bitte markieren Sie Ihre TOP 20-30 Substanzen.
 - Sind die Geruchsschwellen plausibel und liegen sie im Rahmen tatsächlich gefundener Konzentrationen im Innenraum? Wenn keine Geruchsschwellendaten vorhanden sind: können Sie diese ergänzen?
- ▶ Sind die gewählten Geruchscharaktere zutreffend?
- ▶ Sind Substanzen der Liste, für die keine Geruchscharakterbeschreibung vorhanden ist, geruchlich überhaupt relevant bzw. können Sie einen Geruchscharakter ergänzen?
- ▶ Sind Substanzen in dieser Liste genannt, die keine nennenswerte Relevanz im Innenraum aufweisen? z. B., weil:
 - gefundene Konzentrationen im Innenraum i. d. R. unterhalb der Geruchsschwelle liegen.
 - genannte Substanzen eher selten im Innenraum gefunden werden.

- Für welche Substanzen halten Sie weitergehende Untersuchungen für sinnvoll?

Zur geruchlich gruppierten Substanzliste

- Halten Sie die geruchlichen Charakterbeschreibungen für zutreffend?
- Wählen Sie bitte die Substanzen aus, die für den angegebenen Geruchscharakter typischerweise im Innenraum gefunden werden.
- Wählen Sie bitte ebenfalls die Substanzen aus, die im Zusammenhang mit dem genannten Geruchscharakter eher nicht gefunden werden oder aus Ihrer Sicht keine Relevanz aufweisen.

Auf Basis dieser zweiten Feedbackrunde und der zugrundeliegenden Literaturrecherche wurde eine Kategorisierung der Substanzen nach Relevanz im Innenraum vorgenommen. Dafür wurden folgende 4 Gruppen definiert:

1. hohe Relevanz: Expert:innen waren sich überwiegend einig über die hohe Relevanz der jeweiligen Substanz (detaillierte Beschreibungen und Nennung in den TOPs)
2. mittlere Relevanz: ein Teil der Expert:innen bewertete Substanzen mit hoher Relevanz (insbesondere durch Nennung in den TOPs), während ein anderer Teil der Expert:innen diese Substanzen selten im Innenraum in relevanten Konzentrationen findet (kein eindeutiger Konsens)
3. geringe Relevanz: maximal eine Nennung innerhalb der TOPs, sonst als nicht relevant eingestuft
4. keine Relevanz: keine Nennung in den TOPs, teils explizit als nicht relevant beschrieben

In einer dritten Expert:innenbefragung wurde ein erster Geruchsradentwurf (siehe Kapitel 3.3.1) erneut zur Diskussion gestellt und eine Folgeversion erstellt (siehe Kapitel 3.3.2).

2.1.3 Plausibilitätsprüfung geruchlicher Parameter und Literaturquellen

Zur abschließenden Einschätzung der Datenqualität wurde eine Plausibilitätsprüfung insbesondere der Geruchsschwellendaten aus der Literaturrecherche durchgeführt. Ziel dieser Prüfung war es u. a. Substanzen bzw. Literaturquellen zu identifizieren, für die bzw. aus denen keine plausiblen Daten extrahiert werden konnten.

Wie erwartet, konnten zu Art und Qualität der gefundenen Geruchsschwellendaten nur verhältnismäßig wenige Informationen zusammengetragen werden. Eine Zusammenfassung, auch in Anlehnung an Murnane et al. [1], findet sich in Tabelle 49 im Anhang C.1. In Abhängigkeit der gefundenen Informationen wurde die Qualität der einzelnen Quellen von A (sehr gut) über B (mäßig) bis C (fragwürdig) klassifiziert. Sodann wurde weiter wie folgt vorgegangen:

1. Abgleich der Geruchsschwellendaten mit:
 - a) der Olfasense Datenbank
 - b) Expert:innenfeedbacks
 - c) weitergehender Literaturrecherche (vertiefende gezielte Suche nach Einzelsubstanzen und zugehörigen Geruchsschwellendaten)
2. Abgleich der gefundenen Geruchscharaktere durch:
 - a) Abgleich mit Olfasense Datenbank
 - b) Expert:innenfeedbacks

- c) weitergehende Literaturrecherche (vertiefende gezielte Suche nach Einzelsubstanzen und zugehörigen Geruchscharakteren)
 - d) Rücksprache mit den Olfasense GC-MS-Sniffer:innen
3. Gegenüberstellung von Geruchsschwellendaten und gefundenen typischen Konzentrationen im Innenraum

Waren unterschiedliche Quellen für Geruchsschwellendaten vorhanden, wurde auf Basis der Qualitätseinstufung der Quellen und insbesondere im Abgleich mit typischen Konzentrationen im Innenraum auf die Plausibilität der Quelle rückgeschlossen. Lag beispielsweise eine Geruchsschwelle deutlich oberhalb der typischen Innenraumwerte, wurde gezielt nach Literaturquellen mit geringeren Geruchsschwellendaten gesucht. In der Regel führte dieses Vorgehen nicht zu einer Plausibilisierung der Daten. In Tabelle 4 im Kapitel 3.1.4.2 sind die als nicht ausreichend plausibel eingestuften Daten zusammengestellt. Aus diesen Substanzen wurden im Projektverlauf fünf Einzelsubstanzen ausgewählt, um eigene Daten für die Geruchsschwelle, Intensität und Hedonik zu ermitteln (siehe Kapitel 3.2).

Im Detail wurde die Klassifizierung der Literaturquellen entsprechend ihrer Qualität wie folgt durchgeführt. Es wurden folgende Parameter betrachtet:

- a) Bewertung der Streuung zwischen verschiedenen Quellen
- b) Alter der Quellen
- c) Anzahl eingesetzter Prüfer:innen
- d) Qualifikation der Prüfer:innen (Selektion und Schulung)
- e) eingesetzte sensorische Methode
- f) zugrundeliegende Analytik

Mit der Klasse A wurden Quellen kategorisiert, die folgende Merkmale aufwiesen:

- ▶ Primärquellen, die Angaben z. B. zum Vorgehen bei der Geruchsschwellenbestimmung aufwiesen, bestenfalls inklusive analytischer Konzentrationsdaten
- ▶ Ermittlung der Geruchsschwellendaten mit mindestens 10 Prüfer:innen
- ▶ Ermittlung der Geruchsschwellen mithilfe eines Olfaktometers oder eines ähnlich gearteten Verdünnungssystems
- ▶ Daten aus dem Forschungsvorhaben mit FKZ 3717 61 250 0
- ▶ Quellen z. B. von Cain und Cometto-Muñiz
- ▶ Quellen, die sich mit Daten aus der Olfasense Datenbank decken

Mit der Klasse B wurden Quellen klassifiziert, die folgende Merkmale aufwiesen:

- ▶ Quellen, die nur einen Teil der Kriterien der Klasse A erfüllten, aber dennoch Ergebnisse aufwiesen, die verwendbar erscheinen

Mit der Klasse C wurden Quellen kategorisiert, die folgende Merkmale aufwiesen:

- ▶ keine Analytik hinterlegt
- ▶ Verwendung von weniger als 6 Prüfer:innen
- ▶ keine Angabe zum Vorgehen bei der Geruchsschwellenbestimmung

- ▶ Veröffentlichungen älter als 1980-2000
- ▶ Primärquellen nicht verfügbar

Da die gewählten Geruchsnoten im Zuge der Expert:innenbefragungen überwiegend auf Zustimmung stießen und für alle Substanzen vorhanden waren, sind diese kein Kriterium zur Auswahl von Substanzen für Validierungsmessungen.

2.2 Zusätzliche Validierungsmessungen für ausgewählte Substanzen

Wurden durch die Literaturrecherche Substanzen identifiziert, die für den Innenraum als sehr relevant eingestuft wurden, für die jedoch keine ausreichenden Informationen insbesondere für Geruchswahrnehmungsschwellen vorlagen, so wurden für diese zusätzliche Validierungsmessungen durchgeführt.

Zunächst wurde für solche Substanzen ein definiertes Substanz-Luft-Gemisch generiert. Die entsprechende Konzentration lässt sich jeweils rechnerisch ermitteln (siehe Kapitel B.1). Da erfahrungsgemäß Wandeffekte u. ä. bei der Verwendung von Nalophan®-Beuteln auftreten, wurde die tatsächliche Konzentration der hergestellten Substanz-Luft-Gemische zusätzlich mittels GC-MS ermittelt (siehe Anhang B.2).

Mithilfe der definierten Substanz-Luft-Gemische wurden folgende Parameter bestimmt:

- ▶ Geruchsstoffkonzentration nach EN 13725 (siehe Kapitel 2.2.1 und Anhang B.4)
- ▶ Geruchsschwelle (siehe Kapitel 2.2.2 und Anhang B.5)
- ▶ Intensitätskennlinien und Weber-Fechnerkoeffizient nach VDI 3882-1 (siehe Kapitel 2.2.3 und Anhang B.6)
- ▶ Hedonische Wirkung mit Polaritätenprofilen nach VDI 3940-4 (siehe Kapitel 2.2.4 und Anhang B.7)
- ▶ Geruchscharakter (siehe Kapitel 2.2.5)

2.2.1 Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration

Die Geruchsstoffkonzentration ist äquivalent zu der Verdünnung einer gegebenen Geruchssprobe, an der diese gerade noch von 50 % der Menschen wahrgenommen werden kann. Mithilfe eines Olfaktometers wird eine Geruchssprobe in absteigender Verdünnung (also ansteigender Konzentration) dargeboten, worüber die entsprechende, gerade noch riechbare Verdünnung ermittelt werden kann. Diese wird in Geruchseinheiten (GE_E) angegeben.

Vor der Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration einzelner Substanzen wurden mit den jeweils 4 eingesetzten Prüfer:innen entsprechend EN 13725 mindestens 3 gültige n-Butanol Schwellenschätzungen ermittelt. Die Daten dieser Messungen wurden nach Abschluss der Messung als Protokolle durch die verwendete Olfaktometer-Software zusammengestellt und ermöglichten eine direkte Kontrolle der Einhaltung vorgegebener Anforderungen an einzelne Prüfer:innen (individuelle Empfindlichkeit $20 \leq 10^{YTE} \leq 80$ und individuelle maximale Streuung $10^{YTE} \leq 2,3$) und an das Team (Präzision $r \leq 0,477$ und Genauigkeit $A \leq 0,217$) (vgl. Kapitel B.4).

Die individuellen Prüfer:innen-Daten wurden in jedem Substanzkapitel mit Prüfer:innen-Kürzeln aufgeführt und bei Erfüllung der Anforderungen mittels Häkchen (✓) markiert. Die Teamdaten wurden ebenfalls mit Empfindlichkeit, Präzision, Genauigkeit und den jeweiligen Prüfer:innen-Kürzeln aufgeführt.

Die Gesamt-Geruchsstoffkonzentration aller Teams wurde als geometrisches Mittel aller Einzelbewertungen wie folgt bestimmt:

Für jede Substanz wurden insgesamt 120 gültige Schwellenschätzungen (12 Prüfer:innen mit jeweils 10 Schwellenschätzungen) ermittelt. Diese wurden geometrisch gemittelt und anschließend das Konfidenzintervall von 95 %, unter Berücksichtigung der maximal zulässigen Standardabweichung von 0,1721 gemäß DIN EN 13725:2003, ermittelt. Für das Konfidenzintervall von 95 % wurde für 9 Messungen (vgl. DIN EN 13725:2003 Anhang G [2]) folgender Wert ermittelt:

$$2,0 \cdot \frac{s_r}{\sqrt{n}} = 2,0 \cdot \frac{0,1721}{\sqrt{9}} = 0,1148 \quad (1)$$

mit:

s_r maximal zulässige Standardabweichung
 n Anzahl Messungen

Daraus wurden der Erwartungswert sowie eine obere und eine untere Grenze (95 %-Konfidenzintervall) zulässiger Werte in GE_E/m^3 abgeleitet. Aufgrund des logarithmischen Verhaltens der Riechwahrnehmung weisen die obere und untere Grenze unterschiedliche Differenzen zum Erwartungswert auf. Der Erwartungswert wurde der Bestimmung der Geruchsschwellenkonzentration zugrunde gelegt.

2.2.2 Bestimmung der Geruchsschwellenkonzentration

Die Geruchsschwelle ist eine Konzentration einer Substanz z.B. in $\mu\text{g m}^{-3}$ oder mg m^{-3} und gibt diejenige Substanzkonzentration an, an der im Schnitt 50 % der Menschen einen Geruch wahrnehmen können.

Die Geruchsschwelle für die ausgewählten Substanzen wurde entsprechend Kapitel 2.2.2 und Anhang B.5 aus der durch die Prüfer:innen am Olfaktometer festgestellten Geruchsstoffkonzentration (vgl. Kapitel 2.2.1) und der analytisch ermittelten Konzentration im zugrunde gelegten Substanz-Luft-Gemisch berechnet (siehe Anhang B.1 und B.2).

$$c_0 = \frac{c_M}{\text{GE}_E} \quad (2)$$

Dabei ist c_0 die Geruchsschwellenkonzentration, c_M die Konzentration im Mutterbeutel, der für die Verdünnung am Olfaktometer verwendet wurde und GE_E entspricht der Verdünnung im Bereich der Geruchsschwelle der untersuchten Geruchssprobe und ist äquivalent zur Geruchsstoffkonzentration.

2.2.3 Bestimmung der Geruchsintensität und der Weber-Fechner-Koeffizienten

Die Geruchsintensität einer Probe entspricht der Empfindungsstärke eines Geruchs, der von einem Menschen wahrgenommen wird. Durch die Bewertung definierter Verdünnungsreihen einer Geruchssprobe im überschwelligen Bereich kann die Abhängigkeit von Intensität und Konzentration festgestellt, aber auch der Weber-Fechner-Koeffizient abgeleitet werden. Dieser Koeffizient ermöglicht es, auf Basis einer vorhandenen Konzentration auf die mit hoher Wahrscheinlichkeit wahrgenommene Geruchsintensität rückzuschließen. Dabei gilt folgende Formel:

$$I = F_W \cdot \lg\left(\frac{c}{c_0}\right) \quad (3)$$

Wobei I der Intensität entspricht, F_W für den Weber-Fechner-Koeffizienten steht und c bzw. c_0 der zu bewertenden bzw. der Geruchsschwellenkonzentration (vgl. Kapitel 2.2.2) entsprechen.

Die Bestimmung der Geruchsintensität für die ausgewählten Substanzen wurde entsprechend VDI 3882 Blatt 1 [3] nach dem Konstanzverfahren durchgeführt, bei dem die Reihenfolge der dargebotenen Intensitäten zufällig festgelegt wurde.

Vor Beginn einer Intensitätsbewertung wurde eine orientierende Geruchsschwelle des Substanz-Luft-Gemisches ermittelt. Ziel der Intensitätsbewertung war es, jeweils mindestens 2 unterschwellige und 6 überschwellige Intensitäten darzubieten. Das heißt, es sollten für die Intensitätsbewertung mindestens 2 Konzentrationen dargeboten werden, die unterhalb der ermittelten orientierenden Geruchsschwelle lagen und 6 Konzentrationen, die darüber lagen, also von Prüfer:innen gut wahrgenommen werden konnten. Den Prüfer:innen wurde zu Versuchsbeginn dreimal Neutralluft dargeboten. Anschließend wurde ihnen dreimal die gleiche Intensitätsstufe im Wechsel mit neutraler Referenzluft dargeboten (vgl. Kapitel B.6). Nach der Darbietung schaltete sich das Olfaktometer aus und die Prüfer:innen gaben ihre Bewertung auf einer Skala von 0 bis 6 an. Dabei entspricht 0 einem nicht wahrnehmbaren Geruch, während 6 für einen extrem starken Geruch steht. Dieses Vorgehen wurde für alle acht dargebotene Intensitätsstufen durchgeführt. Zusätzlich zu den acht Intensitätsstufen wurden zwei Nulllüfte eingestreut, die äquivalent zur Intensitätsbewertung je dreimal dargeboten und bewertet wurden.

Da die Gerüche in diesem Forschungsprojekt mit jeweils drei Teams aus je vier Prüfer:innen bewertet wurden, wurde die Auswahl der Intensitätsstufen gezielt auf Basis der im ersten Team (Team A) ermittelten Geruchsstoffkonzentration getroffen. Diese Auswahl wurde für alle Teams beibehalten, um sicherzustellen, dass je dargebotener Intensitätsstufe mindestens 12 Antworten generiert wurden. Die Reihenfolge in den Darbietungen wurde dabei je Team zufällig gewählt. Die erste Intensitätsstufe einer Darbietungsreihe wurde jeweils so gewählt, dass sie möglichst einen deutlichen Geruch aufwies.

Für die Teams B und C wurden die gleichen Intensitätsstufen wie in Team A verwendet. Unterschiedlich die orientierende Geruchsschwelle der Teams B und C merklich vom Team A, wurden ggf. zusätzliche Intensitätsstufen angeboten. Für zusätzliche Intensitätsstufen wurden folglich keine 12 Einzelbewertungen generiert.

Bei der Darbietung der Substanzen wurden in der geringsten Verdünnung (also in der höchsten Konzentration), wenn vorhanden, zulässige Expositionsgrenzwerte stets unterschritten, um eine gesundheitliche Gefährdung der Prüfer:innen auszuschließen.

Die Auswertung der Daten und die Ableitung des Weber-Fechner-Koeffizienten wurden entsprechend Anhang B.6 vorgenommen. Der Weber-Fechner-Koeffizient ist dabei Bestandteil der Weber-Fechner-Gleichung, die einen rechnerischen Zusammenhang zwischen der Substanzkonzentration, der Geruchsschwelle und der wahrgenommenen Intensität herstellt (s.o.).

2.2.4 Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung durch Ermittlung von Polaritätenprofilen (Duft, Gestank und Geruch)

Die Hedonik allgemein beschreibt, ob etwas, hier im Speziellen ein Geruch, als angenehm oder als unangenehm wahrgenommen wird. Statt einer einfachen Abfrage auf einer definierten Skala, kann durch die Verwendung von Polaritätenprofilen ein differenziertes Geruchsprofil einer Geruchssprobe erstellt werden. Dies erfolgt durch die Gegenüberstellung von insgesamt 29 gegensätzlichen Wortpaaren (z.B. „niederdrückend“ und „erhebend“). Für diese müssen Prüfer:innen jeweils zwischen den Werten 0 (neutral) und 3 (absolute Zustimmung) entscheiden, inwieweit der bewertete Geruch dem einen oder anderen Wort zuzuordnen ist. Diese wird mit dem, was konzeptionell als „Duft“ oder „Gestank“ definiert ist, verglichen und daraus eine Aussage abgeleitet, ob eine Geruchssprobe eher einem Duft oder Gestank entspricht.

Zur Ermittlung der Polaritätenprofile für die ausgewählten Substanzen wurde das Verfahren zur Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung in Anlehnung an VDI 3940 Blatt 4 [4] (vgl. Anhang B.7) angewendet. Von allen Prüfer:innen wurden dabei insgesamt 3 Polaritätenprofile erhoben: allgemeine Konzepte für Duft und Gestank sowie ein separates Profil des tatsächlichen Geruchsstoffes. Um das automatisierte Ausfüllen durch die Prüfer:innen zu verhindern, wurden zwei verschiedene Bögen der Polaritätenprofile (Vorgaben aus der VDI 3940 Blatt 4) [4] verwendet, bei denen sowohl die Reihenfolge der 29 Wortpaare, als auch deren Position auf der linken oder rechten Seite des Profils variiert wurden. Allgemeine Polaritätenprofile für die Konzepte Duft und Gestank wurden jeweils nur einmal von allen Prüfer:innen ausgefüllt und dienen der Prüfung, inwieweit die Prüfer:innen „Duft“ und „Gestank“ entsprechend der vorgegebenen Definition bewerten. Wurden hier bestimmte Kriterien nicht erfüllt, wurden Prüfer:innen für diese Art der Bewertung ausgeschlossen.

Die Polaritätenprofile der Substanzen wurden von den Prüfer:innen bei einer durchschnittlichen Geruchsintensität der Stufe 3 (deutlicher Geruch) ausgefüllt. Die Datenauswertung wurde entsprechend Anhang B.7 vorgenommen.

2.2.5 Bestimmung des Geruchscharakters

Die Art eines Geruches kann sprachlich mithilfe von Worten beschrieben werden. So kann beispielsweise ein Apfel mit Worten wie „süß“, „sauer“ und „fruchtig“ oder auch mit „Apfel“ beschrieben werden. Um den Geruchscharakter einer Geruchprobe zu ermitteln lautet die Aufgabe für die Prüfer:innen, den Geruch mittels möglichst zutreffender Worte zu beschreiben. Typische Geruchscharaktere sind Adjektive wie beispielsweise: modrig, gammelig, verbrannt, röstig, fischig und vieles mehr. Oder die Antworten lauten beispielsweise: Es riecht nach Zitrusfrucht, Kunststoff, Gummi oder Kork. Zur besseren Begriffsfindung konnten Prüfer:innen während der Versuchsdurchführung auf existierende Sammlungen von Geruchsbeschreibungen zurückgreifen.

2.3 Vorgehen zur grafischen Entwicklung des Geruchsrads

Für die Entwicklung des Geruchsrads war eine Gliederung der vorhandenen Geruchsbeschreibungen in 3 Ebenen vorgesehen, die sich von innen nach außen folgendermaßen beschreiben lassen:

- ▶ Ebene 1: Übergreifende, kategorisierende Ebene wie beispielsweise „organische“, „chemische“ oder „verbrannte“ Gerüche
- ▶ Ebene 2: Zuweisung von aufgefächerten/detaillierteren Deskriptoren wie „fruchtig“, „Reinigungsmittel“ oder „rauchig, röstig“
- ▶ Ebene 3: Aufsplittung in spezifische Geruchsnoten für die Zielebene, die eine Zuordnung zu einzelnen Substanzen ermöglichen sollte
- ▶ Ebene 4: Bildwelten zur Ebene 3: Auf Basis der spezifischen Geruchsnoten der dritten Ebene wurden Bildwelten zusammengestellt, die eine visuelle Assoziation zu den geruchsbeschreibenden Worten ermöglichen

Beispielhaft sieht ein einzelner Strang dieses Geruchsrads am Beispiel „verbrannt“ für die zentrale dritte Ebene wie in der folgenden Abbildung 3 dargestellt, aus:

Abbildung 3: Ausschnitt eines Geruchsrads mit Geruchskategorien, -deskriptoren, -noten und Bildwelten.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Auf Basis der Literaturrecherche und der ersten Expert:innenbefragungen wurden zunächst sämtliche für den Innenraum relevanten Substanzen aufgeführt. In zwei weiteren Befragungsrunden mit den Expert:innen wurden die wichtigsten 30-50 Geruchsbeschreibungen mit den dazugehörigen Substanzen definiert und eine geruchliche Kategorisierung vorgenommen. Ebenso wurde ein erster Geruchsradentwurf diskutiert.

Die Expert:innen wurden gebeten folgende Aspekte zu beachten:

Zum ersten Eindruck des Geruchsrads:

- Ist das Geruchsrads ansprechend und übersichtlich gestaltet?
- Fallen positive/negative Dinge auf den ersten Blick auf?

Zum Inhalt des Geruchsrads bzgl. gewählter Beschreibungen in Ebene 1, 2 und 3:

- Sind relevante Kategorien (Ebene 1 des Geruchsrads) für Innenraumgerüche abgedeckt?
- Sollten Kategorien der Ebene 1 anders strukturiert werden?
- Sind in der zweiten Ebene des Geruchsrads alle relevanten Deskriptoren abgebildet oder sind Deskriptoren abgebildet, die wenig Relevanz haben?
- Sind in der dritten Ebene des Geruchsrads alle relevanten Geruchsnoten abgebildet oder sind Geruchsnoten abgebildet, die wenig Relevanz haben?

Für die Bildwelten, die die Beschreibungen bzw. Geruchsnoten der dritten Ebene besser veranschaulichen sollen, wurde eine Stichwortsuche in Adobe Stock (Stockfotos, lizenzfreie Bilder, Grafiken, Vektoren und Videos | Adobe Stock) durchgeführt. Eine Vorauswahl an Bildern wurde sodann mit dem UBA und den Expert:innen diskutiert und passende Bilder festgelegt. Die Vorauswahl erfolgte mit zunächst nicht lizenzierten Bildern. Erst die finale Bildwelt wurde mit lizenzierten Bildern umgesetzt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit des Geruchsrads wurden keine Bilder für die Geruchsbeschreibungen der ersten und zweiten Ebene gewählt, sondern ausschließlich die äußere dritte Ebene mit solchen versehen.

Zusätzlich wurde eine weitere „unsichtbare“ Ebene entwickelt, die die Substanzen aufführt, die ursächlich für die Geruchseindrücke der dritten Ebene sind oder sein können. Damit das

Geruchsrads nicht überladen wird, wurde diese Ebene zunächst auf der Rückseite des Geruchsrads abgebildet (vgl. Abbildung 12 im Kapitel 3.3.2).

Für die bessere Anschaulichkeit erhielten die verschiedenen Kategorien, ausgehend von der ersten Ebene, unterschiedliche Farben. Zur Definition der Farben erfolgte eine Recherche zur Wirkung von Farben (Kapitel 3.3.2).

2.4 Vorgehen zur Überprüfung der Anwendbarkeit des Geruchsrads

2.4.1 Auswahlkriterien geruchlich belasteter Innenräume

Das Geruchsrads wurde in geruchlich belasteten Innenräumen (insgesamt 21 Räume) durch Geruchsprüfer:innen praktisch überprüft. Für die Auswahl geruchlich auffälliger Innenräume wurden zu Projektbeginn folgende Kriterien festgelegt:

- ▶ kein sichtbarer Schimmel
- ▶ frei zugänglich über die gesamte Dauer der Probenahme (PN); 2-3 h GC-MS-Sniffing-PN mittels GilAir-Pumpen und circa 1 h PN der Innenraumluft mittels PureSniff XL
- ▶ erreichbar innerhalb von 4-6 Fahrstunden, um die zulässige Lagerzeit im Nalophan®-Beutel bis zur Analyse nicht zu überschreiten
- ▶ Geruch sollte nicht offensichtlich auf eine kurz zuvor durchgeführte Behandlung des Raums zurückzuführen sein (kürzliche Renovierungsarbeiten, frisch verlegter Teppich o. ä.)
- ▶ Geruch sollte deutlich wahrnehmbar sein, da ein (sehr) schwacher Geruch schwerlich mittels konkreter Geruchsnoten beschreibbar ist

Im Verlauf des Projektes wurde klar, dass die Probenahme in Nalophan®-Beuteln für die Anwendung im Innenraum nicht geeignet ist, sodass Bewertungen ab dem dritten Innenraum nur noch vor Ort durchgeführt wurden (vgl. folgendes Kapitel 2.4.2).

2.4.2 Probenahmestrategie und Durchführung der humansensorischen Geruchsbewertung

2.4.2.1 Probenahmestrategie

Für die humansensorischen Untersuchungen wurden zunächst Nalophan®-Probenbeutel¹ mit der geruchsbelasteten Luft gefüllt und zur Bewertung ins Labor transportiert. Die Probenahme erfolgte dabei mit Hilfe eines Probenehmers PureSniff XL (siehe Abbildung 4). Mit diesem kann durch Erzeugung von Unterdruck ein Probenbeutel gefüllt werden, oder durch Überdruck die Probenluft an Prüfer:innen dargeboten werden.

Für jede Messung wurden insgesamt drei Probenbeutel jeweils mindestens 3-mal mit der Raumluft gefüllt oder über Nacht mit der Probenluft gefüllt im Raum gelagert, um Wandeffekte in den Beuteln zu reduzieren und die Beutel somit vorzukonditionieren. Trotz dieser Vorkonditionierung wurden im Zuge der Untersuchung der ersten zwei Innenräume Unterschiede der geruchlichen Wahrnehmung der Probe im Probenbeutel im Vergleich zu der Raumluft vor Ort festgestellt. Um dieses Problem zu evaluieren, wurde im dritten Raum eine humansensorische Vergleichsmessung zwischen indirekter Bewertung aus dem Probenbeutel und der direkten Geruchsbewertung vor Ort im Raum durchgeführt. Diese Messung bestätigte

¹ Nalophan® wird nach Punkt 6.3.1 des europäischen Standards DIN EN 13725:2022 als geeignetes Material für den Einsatz von Geruchspalten angesehen.

die Beobachtung in den zwei ersten untersuchten Räumen, dass die Darbietung im Nalophan®-Beutel zu verändertem Geruchscharakter führt. Der ursprüngliche, im geruchsbelasteten Raum wahrgenommene Geruch konnte damit nicht mehr korrekt bewertet werden.

Abbildung 4: PureSniff XL bei der Probendarbietung.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Folglich musste die Probenahmestrategie angepasst werden. In Abstimmung mit dem Umweltbundesamt wurden Bewertungen von Innenräumen ab dem dritten Raum direkt vor Ort durchgeführt. Daraus resultierend verringerte sich der örtliche Radius des zu bewertenden Raumes zum Standort des Labors, damit entsprechende Innenräume für Prüfer:innen mittels öffentlicher Verkehrsmittel zu erreichen waren. Bei weiteren Entfernungen (z. B. Räume 19-21) wurden untrainierte Prüfer:innen vor Ort akquiriert und das komplette, für die Prüfung benötigte trainierte Panel gesammelt zum Bewertungsort gefahren.

Mit einer Ausnahme (Raum 7) konnte die Mindestanzahl an Prüfer:innen (je 10 trainierte und 20 untrainierte Prüfer:innen in ausgeglichenem Geschlechterverhältnis) stets eingehalten werden. Lediglich das Geschlechterverhältnis entsprach nicht durchgehend einem Verhältnis von 50:50. Dies war durch Überrekrutierung von Frauen begründet.

2.4.2.2 Humansensorische Geruchsbewertung

Trainierte und untrainierte Geruchsprüfer:innen erhielten bezüglich der Anwendung des Geruchsrads dieselbe Aufgabe. Vor der Geruchsbewertung erfolgte durch die Messleiterin eine Erläuterung des Geruchsrads bezüglich der Handhabung und der im Geruchsrاد enthaltenen Geruchsbeschreibungen und Ebenen. Die eingesetzten Geruchsräder wurden im A4-Format gedruckt und laminiert, sodass diese nach der Dokumentation der Ergebnisse gereinigt und wiederverwendet werden konnten. Mehrfach-Nennungen waren ausdrücklich über alle Ebenen hinweg erlaubt. Alle Geruchsprüfer:innen waren angehalten, eigene Geruchscharaktere und Worte zum Innenraumgeruch ebenfalls zu notieren, sofern keine passende Beschreibung auf dem Geruchsrاد gefunden werden konnte. Die Geruchsprüfer:innen markierten die zutreffenden Geruchsbeschreibungen (Geruchskategorien, -deskriptoren und -noten der ersten, zweiten und dritten Ebene) direkt auf dem Geruchsrاد.

Die Geruchsbewertungen wurden zunächst für die ersten 3 Räume aus Nalophan®-Beuteln vorgenommen. Für Raum 3 wurde zusätzlich eine Direktbewertung zum Vergleich durchgeführt. Die Bewertungen ab Raum 4 wurden dann durchgehend als Direktbewertungen durchgeführt. Vor der Probenahme in Nalophan®-Beutel bzw. vor dem Betreten der Räume durch die Prüfer:innen wurde die Probenahme zur HPLC, GC-MS bzw. GC-MS-Sniffing Analytik durchgeführt. Anschließend betraten die Prüfer:innen maximal in 5er Gruppen die geruchsbelasteten Innenräume, verweilten für 5 Minuten und konnten sowohl während sie im Raum waren, als auch im Anschluss ihre Bewertungen für Geruchsbeschreibungen direkt auf dem Geruchsrads markieren bzw. auch eigene Geruchsbeschreibungen angeben.

2.4.2.3 Versuchsdokumentation und -auswertung der humansensorischen Geruchsbewertung

Für die Erhebung der mittels Geruchsrads festgestellten Geruchseindrücke wurden aus Umweltschutzgründen zunächst Geruchsräder in laminierte Form bereitgestellt, die wiederholt beschrieben werden konnten. Die Bewertungen der Prüfer:innen auf dem Geruchsrads wurden fotodokumentiert und anschließend in ein Excel-Format überführt. Dabei wurden die Kreuze entsprechend der Ebenen übertragen und ausgezählt. Wurden nur Geruchsnoten in der dritten Ebene angekreuzt, wurde bei der Auswertung vorausgesetzt, dass die zugehörige zweite (Geruchsdiskriptoren) und erste Ebene (Geruchskategorien) ebenso dem wahrgenommenen Geruch zuzuordnen sind. Folglich wurden diese mit zu den untergeordneten Ebenen gerechnet. Insbesondere durch Bewertungen in der dritten Ebene lassen sich Korrelationen zu den im Geruchsrads hinterlegten Einzelsubstanzen herstellen. Zusätzlich zu angekreuzten Geruchsbeschreibungen wurden die zusätzlich genannten Geruchsnoten dokumentiert und teilweise in die finale Überarbeitung des Geruchsrads einbezogen.

Auf Basis dieser ermittelten Daten wurde im Projektverlauf überprüft, inwieweit Unterschiede in der Bewertung zwischen trainierten und untrainierten Prüfer:innen, aber auch zwischen weiblichen Prüferinnen und männlichen Prüfern festgestellt werden können.

Weiterhin erhielten die Prüfer:innen Fragebögen auf denen sie die Anwendbarkeit des Geruchsrads bewerten sollten. Neben der Abfrage von Alter und Raucherstatus (um diese bei einem „ja“ zum Rauchen nachträglich von der Bewertung auszuschließen) wurden folgende Fragen gestellt:

Die Anwendung des Geruchsrads...

- ... fiel mir sehr leicht, ich konnte mich auf dem Geruchsrads direkt zurechtfinden
- ... fiel mir leicht, ich konnte mich auf dem Geruchsrads nach kurzer Zeit gut zurechtfinden
- ... fiel mir nicht so leicht
- ... fiel mir schwer

Das Geruchsrads...

- ... gefällt mir sehr gut und ist ansprechend gestaltet
- ... gefällt mir gut
- ... gefällt mir weniger gut

Zusätzlich gab es für jede Antwortmöglichkeit die Option, die getätigte Angabe zu begründen und zu beschreiben. Alle Antworten wurden ebenfalls in ein Excel-Format überführt und ausgewertet.

2.4.3 Probenahmestrategie und Durchführung chemisch-analytischen und sensorisch-analytischen Geruchsbewertung

2.4.3.1 Probenahme und Messstrategie

Die flüchtigen organischen Verbindungen (volatile organic compounds = VOC) wurden bei der Probenahme als Luftvolumenstrom durch Adsorptions-Röhrchen, sogenannten Tenax®-Tubes, geleitet und dort durch ein Adsorbens festgehalten. Für diese Probenahme wurden automatische Pumpen (Marke GilAir PLUS) und Tenax®-Desorptionsröhrchen eingesetzt (siehe Abbildung 5). Für den ersten Innenraum wurden sowohl 5 L als auch 10 L Probenvolumen genommen, um die benötigte Menge für ein GC-MS-Sniffing eines geruchsbelasteten Innenraums zu evaluieren. Nach entsprechender Auswertung wurden 5 L als ausreichendes Probenvolumen für Innenraummessungen definiert. Die Probenahme erfolgte bei einem Volumenstrom von 100 mL/min durch das Röhrchen, um die flüchtigen organischen Verbindungen einzufangen. Die Probenahmen erfolgten jeweils etwa in einem Abstand von 1 bis 1,5 m zum Boden, um möglichst nah die Höhenposition im Raum zu simulieren, in der auch eine im Raum befindliche, sitzende Person die Raumluft einatmen würde.

Abbildung 5: Probenahme-Equipment für GC-MS/GC-MS-Sniffing: Tenax®-Röhrchen und GilAir PLUS Probenahmepumpe.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Die auf dem Röhrchen eingefangenen Substanzen standen damit nach der Probenahme für die Analytik zur Verfügung. Das verwendete Analysensystem setzt sich aus den folgenden Komponenten zusammen:

4. TDS – Thermodesorptionseinheit: „Unity-xr“ von Markes International
5. GC – Gaschromatograph: „TRACE 1310“ von Thermo Fisher Scientific
6. MS – Massenspektrometer: „ISQ 7000“ von Thermo Fisher Scientific

Die chemische Analytik wurde in Anlehnung an die „DIN ISO 16000-6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern“ durchgeführt. Dafür wurden die Röhrchen zunächst der TDS zugeführt und durch thermische Desorption bei etwa 280 bis 330°C vom Röhrchen

losgelöst. Anschließend wurden die freigesetzten flüchtigen Verbindungen in einer Kältefalle bei niedriger Temperatur (0-10°C) fokussiert. Die Kältefalle wurde anschließend auf 300-350°C erhitzt und folgte einem programmierten Temperaturprofil, um alle flüchtigen Verbindungen bis zum Einlass der GC-Säule durch eine Übertragungsleitung für die anschließende chromatographische Trennung freizusetzen. Am Ende der GC-Säule erreichten die getrennten Verbindungen das MS mit verschiedenen (Retentions-) Zeiten, die in Minuten angegeben werden. Hier wurden die Verbindungen fragmentiert und nach der NIST 2017 Spektrum Datenbank, auf Grundlage des Fragmentierungsverhaltens einzelner Moleküle, identifiziert. Die Laufzeit einer Messung betrug 61 Minuten.

Die registrierten Signale wurden in Form von chromatographischen Peaks dargestellt und durch ihre Größe (Fläche unter der Kurve) quantifiziert, indem sie mit der Fläche einer bestimmten Menge (ng) einer Referenzsubstanz (Toluol-d8) verglichen wurden. Die Referenzsubstanz wurde direkt mit Hilfe einer Spritze injiziert und in ein separates, sauberes Röhrchen adsorbiert. Die durch die Referenzsubstanz erzeugten Peaks wurden als Referenz für die Quantifizierung aller Peaks der zu analysierenden Proben herangezogen und stellen eine Schätzung einer genaueren Quantifizierung, basierend auf Kalibrierungskurven, jeder detektierten Verbindung dar. Diese Art der Kalibrierung (basierend auf Toluol-d8) wird als semiquantitativ bezeichnet. Grundsätzlich wird regelmäßig mindestens eine 5-Punkt-Kalibrierung durchgeführt. Für jede Messung wurden drei mit 100 ng Toluol-d8 beladene Tubes zur Quantifizierung mitbestimmt und der Mittelwert ihrer Signale als Referenzpeak zugrunde gelegt.

Gleichzeitig zur MS-Detektion wurden geruchlich aktive Substanzen durch die Nasen von geruchlich trainierten Geruchsprüfer:innen bestimmt. Die GC-Säule ist dafür mit einem Strömungsteiler verbunden, der einen Teil der Probenluft in die MS-Einheit und einen anderen Teil in eine weitere Kapillare leitet, die in einer Nasenmaske für die Geruchsprüfer:innen, außerhalb des GC-MS Instrumentes, endet. Sobald ein:e Geruchsprüfer:in einen Geruch wahrnimmt, werden der Geruchscharakter, die Retentionszeit und die Intensität (auf einer Skala von 1 bis 5) bestimmt. Die Einteilung der Geruchsintensität erfolgt auf Grundlage einer definierten Skala, wobei folgende Abstufung gilt: 1 = sehr gering, 2 = klar unterscheidbar, 3 = stark, 4 = sehr stark und 5 = nasale Sättigung (Nase muss vom Probenausgang entfernt werden). Bei der Beschreibung des Geruchscharakters benutzen die Geruchsprüfer:innen ihre eigenen Vokabeln, die auf dem kontinuierlichen, gemeinsamen Training der Geruchsprüfer:innen basieren. Die GC-MS-Sniffing Analyse wurde jeweils mit zwei trainierten Geruchsprüfer:innen bei 23°C Raumtemperatur in einer reizarmen Umgebung, geschützt von Ablenkungen, durchgeführt. Die Analysen wurden jeweils in einer dreifachen Bestimmung durchgeführt. Pro Durchgang wechselten sich die Geruchsprüfer:innen im 15 Minuten Rhythmus ab, um den gesamten chromatographischen Prozess von ca. 50 Minuten abzudecken. Der Prozess wurde je zwei weitere Male wiederholt, bis drei Durchgänge komplett waren.

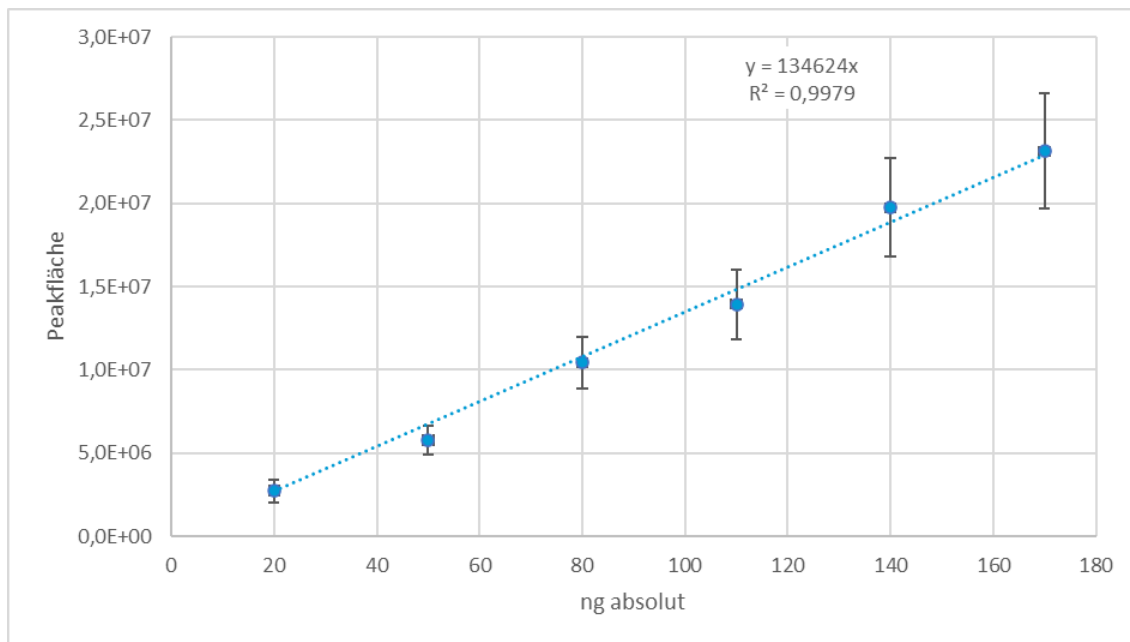
Zusätzlich zur GC-MS und GC-MS-Sniffing Probenahme wurden für die Messung von Formaldehyd und anderen Carbonylen nach „ISO 16000-3:2013 - Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in indoor and test chamber air“ [5] mittels HPLC Proben auf DNPH-Kartuschen gezogen. Hierfür wurden jeweils 40 L Raumluft genutzt, die anschließend durch ein nach ISO 17025 für die ISO 16000-3 akkreditiertes Labor im Unterauftrag analysiert wurden. Diese Messungen wurden durch das Umweltbundesamt nachträglich beauftragt. Fünf der 21 untersuchten Innenräumen standen zu diesem Zeitpunkt nicht mehr für eine (nachträgliche) Probenahme zur Verfügung und konnten nicht mittels HPLC-Analytik untersucht werden (vergleiche Kapitel 2.4.3.4).

2.4.3.2 Chemisch-analytische Untersuchung mittels GC-MS

Die chemische Analytik wurde in Anlehnung an die „DIN ISO 16000-6:2012 - Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern“ [6] durchgeführt. Mittels GC-MS wurden die Substanzen des Innenraums und deren Konzentrationen ermittelt. Die weitere GC-MS-Sniffing Analyse fokussierte sich insbesondere auf die Bewertung geruchsrelevanter Substanzen (vergleiche Kapitel 2.4.3.3).

Messungen mittels GC-MS wurden auf Basis einer 6-Punkt-Eingangskalibrierung mit Toluol-d8 durchgeführt, die in der folgenden Abbildung 6 dargestellt ist. Hierüber lässt sich die Linearität der GC-MS-Analytik im relevanten Messbereich bestätigen.

Abbildung 6: 6-Punkt Eingangskalibrierung mit Toluol-d8.

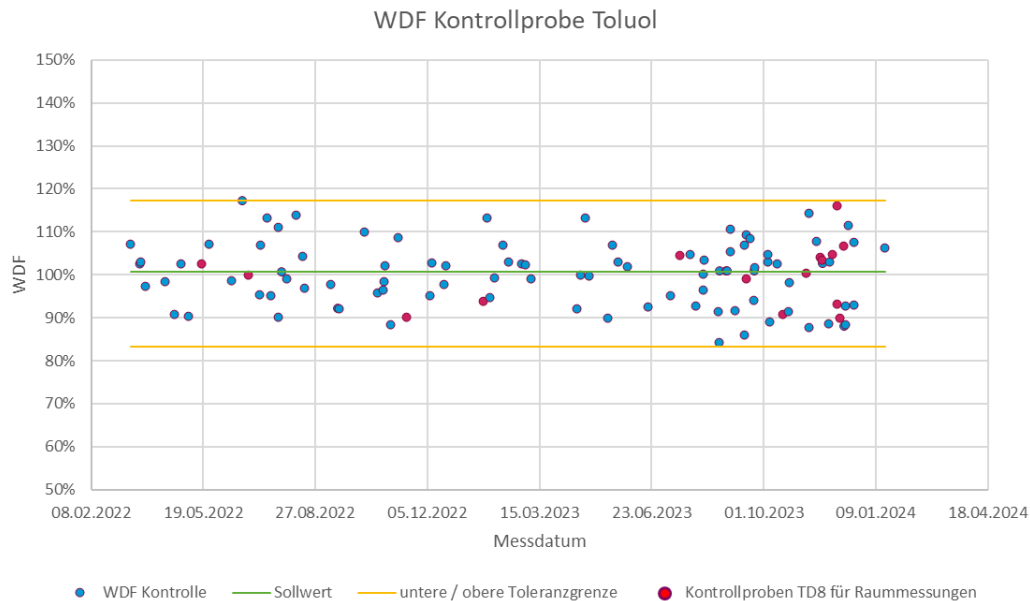


Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Zur Qualitätssicherung wurden zusätzlich für jede Messsequenz mit Raummessungen je 3 Tubes á 100 ng Toluol-d8 vermessen. Eine Zusammenstellung zugrundeliegender TD8 Messungen findet sich in der folgenden Abbildung 7. Aufgeführt ist die Gesamtzahl an TD8-Messungen im Zeitraum April 2022 bis Januar 2024. Fuchsia-farben markierte Punkte zeigen die TD8-Messungen, die der Auswertung von Raumluftproben zugrunde gelegt wurden.

Abbildung 7: Zusammenstellung von Toluol-d8-Referenzmessungen im Zeitraum der Raumbewertungen.

Die Wiederfindungsrate (WDF) gibt an, wie sich die Substanzkonzentration zum erwarteten Sollwert verhält, also wieviel der eingegebenen Substanz in der Analytik „wiedergefunden“ werden konnte.

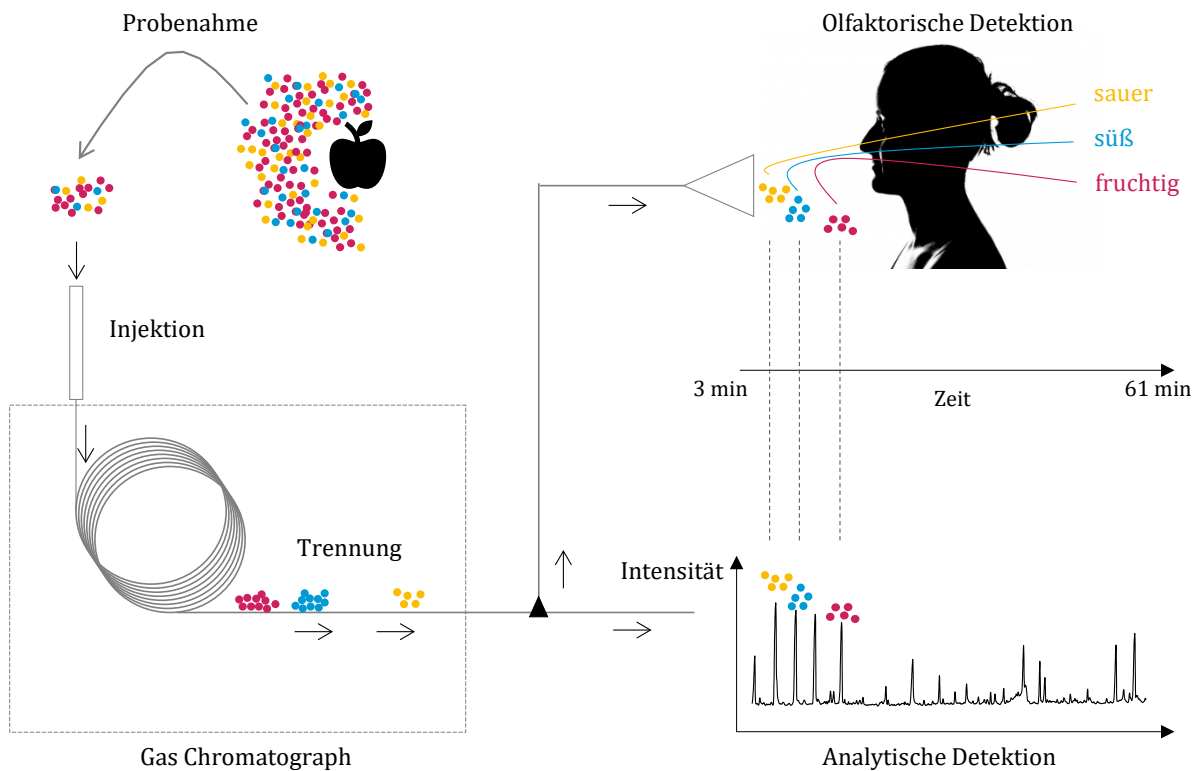


Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

2.4.3.3 Sensorisch-analytische Untersuchung mittels GC-MS-Sniffing

Im Gegensatz zur Standard-GC-MS-Analyse konzentriert sich das GC-MS-Sniffing speziell auf die Bewertung geruchsaktiver Substanzen. Es handelt sich um eine Technik, bei der ein Gaschromatograph mit der menschlichen Nase als Detektor kombiniert wird, um den Geruch einzelner Substanzen zu bewerten. Die Probenahme, die thermische Desorption und die Trennungsprozesse in der chromatographischen Säule sind die gleichen wie bei einer Standard-GC-MS-Analyse. Beim GC-MS-Sniffing wird der Probenstrom jedoch nach Verlassen der Chromatographiesäule über einen Splitter aufgeteilt. Nur ein Teil der Probe wird dann in das Massenspektrometer überführt. Der andere Teil wird zu einem Sniffing-Port geleitet. Dies ermöglicht es, eigens geschulten Geruchsprüfer:innen, den sogenannten GC-MS-Sniffer:innen, geruchsaktive Substanzen im Probenstrom direkt zu erkennen und zu beschreiben (siehe Abbildung 8).

Abbildung 8: Schematischer Ablauf einer GC-MS-Sniffing Analyse.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

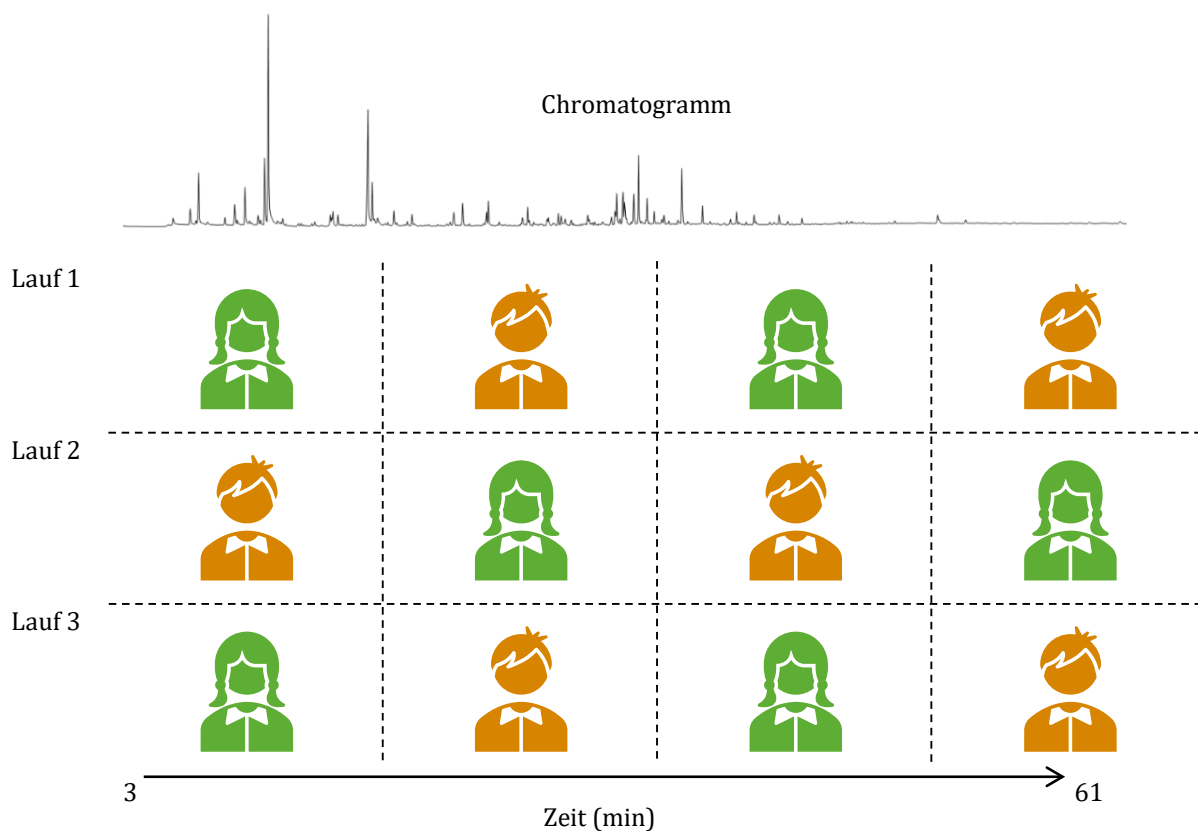
Diese GC-MS-Sniffer:innen zeichnen sich durch eine überdurchschnittliche Sensitivität aus, als Orientierungswert wird die Empfindlichkeit gegenüber der Referenzsubstanz n-Butanol verwendet. Sie arbeiten daher an oder über der in Kapitel 2.2.1 angegebenen Empfindlichkeitsgrenze. Neben der ausgeprägten Fähigkeit zur Wahrnehmung von Gerüchen verfügen die GC-MS-Sniffer:innen über eine gute Fähigkeit, Gerüche verbal zu beschreiben und trainieren diese konstant. Die Wiedererkennung von Gerüchen und deren Beschreibung wird in wöchentlichen Trainingseinheiten mit über 160 Referenzgerüchen geschult und verbessert. Zusätzlich werden zu Trainingszwecken GC-MS-Läufe mit Referenzproben durchgeführt. Hierbei werden die VOC nach erfolgter Trennung nach Substanz geruchlich bewertet. Betrachtet wird hier, ob eine Substanz einen Geruchreiz auslöst, wie stark dieser ist (Intensität) und wonach sie riecht (Geruchscharakter). Die gefundenen Worte werden dann mit den Beschreibungen in der Geruchsdatenbank verglichen und in der Gruppe der teilnehmenden GC-MS-Sniffer:innen diskutiert.

Während der GC-MS-Sniffing Messung bewerten die GC- Sniffer:innen die Art und Intensität des Geruchs, der auftritt, wenn Moleküle der aufgetrennten Einzelstoffe den Sniffing-Port erreichen. Diese Informationen werden dann durch den zweiten GC-MS-Sniffer bzw. die zweite GC-MS-Snifferin dokumentiert. Zusätzlich werden Retentionszeit und Dauer des Geruchs festgehalten. Jeder GC-MS-Lauf dauert 61 Minuten und ist in vier Abschnitte unterteilt, in denen die GC-MS-Sniffer:innen ihre Rollen wechseln, um eine Ermüdung ihres Geruchssinns zu vermeiden (siehe Abbildung 9). Jede Probe wird in dieser Art dreimal untersucht, sodass die komplette Dauer der Messung optimal abgedeckt ist und Lücken in der Dokumentation vermieden werden,

die andernfalls durch den Atemrhythmus der GC-MS-Sniffer:innen und verlorene Zeit während des Rollentausches verursacht würden.

Nach dem GC-MS-Sniffing werden die erkannten Gerüche mit den GC-MS-Daten überlagert, wobei die vom Massenspektrometer und den GC-MS-Sniffer:innen während eines GC-MS-Laufs aufgezeichneten Retentionszeiten verwendet werden. Die durch GC-MS-Sniffer:innen erkannten Substanzen werden durch die Überlagerung der Geruchswahrnehmungen mit den gaschromatographischen Retentionszeiten, den Daten der Geruchsdatenbank der Olfasense GmbH (bestehend aus GC-MS-Daten, Geruchsschwellenwerten und Geruchsscharakteren aus der Literatur sowie dem Geruchsvokabular der Olfasense GmbH) bestätigt. Das Vokabular wurde durch kontinuierliches Training der GC-MS-Sniffer:innen unter Verwendung einer Bibliothek von Referenzgerüchen erstellt.

Abbildung 9: Schematischer Ablauf des vollständigen GC-MS-Sniffings.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Mit dieser Methode lässt sich feststellen, inwieweit die Gerüche, die Teil des Geruchsrads sind und von den Prüfer:innen wahrgenommen werden konnten, auch durch sensorische-analytische Analyse (GC-MS-Sniffing) wahrgenommen werden konnten. Zunächst wurden verschiedene Probenvolumina in Tenax®-Röhrchen überführt, um ein geeignetes Volumen für die GC-MS-Sniffing-Analyse einer geruchsbelasteten Innenraumumgebung zu ermitteln. Nach der Auswertung wurden fünf Liter als ausreichendes Probenvolumen für die Bewertung der Innenraumumgebung definiert. GC-MS-Sniffer:innen waren auch Teil der sensorischen Bewertung einiger Räume unter Verwendung des Geruchsrads.

Zusätzlich zur GC-MS-Analytik lässt das GC-MS-Sniffing Rückschlüsse darauf zu, inwieweit eine detektierte Substanz auch eine Geruchswahrnehmung bei Sniffer:innen auslöst. Weiterhin

können Geruchseindrücke auftreten, die von Substanzen verursacht werden, die selbst in der GC-MS nicht zu detektieren sind, da sie beispielsweise unterhalb der Nachweisgrenze vorliegen und dennoch einen Geruchseindruck auslösen können. Ebenso lässt sich feststellen, inwieweit die im Geruchsrads definierten und von Prüfer:innen gefundenen Gerüche sich geruchlich auch in der GC-MS-Sniffing Analytik wiederfinden lassen.

2.4.3.4 Chemisch-analytische Untersuchung mittels HPLC

Zusätzlich zur GC-MS und GC-MS-Sniffing Messung wurden Formaldehyd und andere Carbonyle nach „ISO 16000-3:2022 - Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in indoor and test chamber air“ [5] mittels HPLC bestimmt. Diese Messungen wurden an ein nach ISO 17025 akkreditiertes Labor im Unterauftrag vergeben.

2.5 Vorgehen zur Bewertung der Ergebnisse

In Abhängigkeit der Ergebnisse aus der praktischen, humansensorischen Anwendung des Geruchsrads, als auch in Abhängigkeit des Abgleichs mit der Analytik, wurden Überarbeitungsbedarfe zum Geruchsrads analysiert und umgesetzt. In der humansensorischen Anwendung hatten die Prüfer:innen jederzeit die Möglichkeit auch eigene Worte zur Charakterisierung eines Geruchs zu wählen, wenn ihres Erachtens ein passender Begriff nicht auf dem Geruchsrads abgebildet war. Diese zusätzlichen Geruchsscharaktere wurden dokumentiert. Im Abgleich mit den sensorisch-analytischen Messergebnissen aus dem GC-MS-Sniffing wurden nach Möglichkeit Korrelationen zu bereits vorhandenen oder auch zu bisher nicht gelisteten Substanzen oder Gerüchen hergestellt. Wurden neue Substanzen identifiziert, wurde eine Überarbeitung des Geruchsrads durch Ergänzung von Einzelsubstanzen und Geruchsnoten in der dritten Ebene diskutiert und umgesetzt.

Ließ sich ein im Raum wahrgenommener Geruch sowohl mittels Geruchsrads als auch mittels HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing nachweisen, wurde dies als Bestätigung für die Anwendbarkeit des Geruchsrads bezogen auf die Einzelsubstanz gewertet.

Als ein weiterer Validierungsschritt zur Überprüfung der Anwendbarkeit des Geruchsrads wurden sogenannte Twinrooms künstlich mit festgelegten Substanzen in definierter Konzentration möglichst oberhalb der Geruchsschwelle beduftet. Die Twinrooms zeichnen sich durch identische Maße und Beschaffenheit aus und verfügen über eine Grundfläche von 10,4 m² und ein Raumvolumen von 27 m³. CO₂ wurde als Tracergas verwendet, um die Luftwechselrate zu bestimmen. Der Konzentrationsabfall wurde wiederholt über einen Zeitraum von einer Stunde. Dies ergab eine durchschnittliche Luftwechselrate von 0,5 pro Stunde für alle Räume. Insgesamt lag die Luftwechselrate zwischen 0,46 und 0,55 pro Stunde. Die Temperatur wurde bei etwa 23 °C gehalten und die relative Luftfeuchtigkeit schwankte zwischen 39 und 52 %. Die Twinrooms wurden speziell konstruiert, um Emissionen aus und Adsorption an verbauten Materialien zu minimieren und eine nahezu kontaminationsfreie Umgebung zu gewährleisten. Diese Bedingungen bieten einen optimalen Rahmen für kontrollierte Studien zu geruchlichen Fragestellungen.

Die Bewertung wurde mit jeweils 10 trainierten und untrainierten Prüfer:innen in ausgewogenem Geschlechterverhältnis mit dem für die Veröffentlichung finalisierten Geruchsrads (vergleiche Kapitel 3.3.4 bzw. Anhang E.3 und siehe Handlungshilfe des Umweltbundesamtes zu diesem Bericht) bewertet.

Für die Verdampfung der ausgewählten Geruchsstoffe wurde ein LiGaVa-System eingesetzt (entsprechend Kapitel B.1). Der Auslass wurde dafür mit einem Teflonröhrchen verlängert, sodass über ein Loch in der Wand direkt in den jeweiligen Raum hinein verdampft werden

konnte. Um eine homogene Verteilung der Substanzen im Raum sicherzustellen, wurden Ventilatoren eingesetzt, die über 5 Minuten nach der Bedampfung für Luftverwirbelung sorgten. Anschließend wurden die Ventilatoren ausgeschaltet und der Raum für die Probenahme für die GC-MS-Analyse und das GC-MS-Sniffing beprobt. Wo sinnvoll, wurde zusätzlich eine HPLC-Probenahme durchgeführt.

Nach Beendigung der Probenahme für die Analytik wurden die Räume mit Prüfer:innen geruchlich mittels Geruchsrads bewertet.

In Kombination aller Auswerteverfahren, die auch für die 21 zuvor bewerteten Innenräume angewendet wurden, kann für die Twinrooms eine Korrelation zwischen Geruchsradanwendung und den im Innenraum vorhandenen Substanzen untersucht und ausgewertet werden.

In einem letzten Schritt wurde das Geruchsrads final überarbeitet. Hierfür wurden alle im Laufe des Projektes aufkommenden Kommentare, Verbesserungsbedarfe und Ergebnisse der Validierung berücksichtigt. Eine detaillierte Beschreibung zur Überarbeitung des Geruchsrads findet sich im Kapitel 3.3.4.

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Literaturrecherche und Expert:innenbefragungen

3.1.1 Identifikation geruchlich relevanter Substanzen: Erste Substanzliste

Aus der ersten Literaturrecherche entsprechend Kapitel 2.1.1 konnte eine erste Substanzliste mit insgesamt 205 Einzelsubstanzen und, wo vorhanden, zusammen mit deren Parametern, wie Geruchsschwellen, Geruchscharakteren, typischen Konzentrationen in der Innenraumluft und der Art und Weise ihrer Ermittlung extrahiert werden. Jeder Substanz wurden dabei alle ermittelten Geruchscharaktere zugeordnet, sodass teils weit über 5 beschreibende Worte dokumentiert wurden. Zusätzlich wurden die Orte der Untersuchung (z. B. Büro, Badezimmer u. a.) vermerkt, sofern die entsprechende Substanz mindestens in 10 unabhängigen Literaturquellen gefunden werden konnte. Diese Liste findet sich im Anhang A.1.

3.1.2 Erste Expert:innenbefragung: Überarbeitete Substanzliste

Durch die Bereitstellung des Formulars bei den WaBoLu-Innenraumtagen 2021 konnten vier anonyme Stellungnahmen gewonnen werden. Aus der Befragung der in Kapitel 2.1.2 genannten Expert:innen wurden insgesamt sechs Stellungnahmen akquiriert.

Insgesamt gingen damit 10 Einzelfeedbacks aus dieser ersten Befragung hervor. Die Häufigkeit der Nennungen von Substanzen aus den Expert:innenfeedbacks wurden zur Häufigkeit der Nennungen aus der Literatur hinzugezählt. Zusätzlich wurden diese Substanzen aber auch unabhängig von der Häufigkeit der Nennungen für die folgenden Betrachtungen priorisiert. Waren einzelne Substanzen noch nicht Bestandteil der Liste, so wurden sie in die Substanzliste aufgenommen. Substanzen, die von den Expert:innen wiederholt als kaum oder nicht relevant eingestuft wurden, wurden aus der Substanzliste entfernt. Auf Basis des Feedbacks konnte die erste Substanzliste von 205 auf 89 Einzelsubstanzen verfeinert werden (vgl. Liste im Anhang A.2).

Die recherchierten Geruchscharaktere (im Rahmen der ersten Expert:innenbefragung nicht veröffentlicht) der Einzelsubstanzen wurde im Zuge der Überarbeitung der ersten Substanzliste in Zusammenarbeit mit den GC-MS-Sniffer:innen der Olfasense GmbH auf maximal drei beschreibende, charakteristische Worte eingegrenzt. Ebenso wurden vorhandene Geruchsschwellendaten bzw. -bereiche sowie die Häufigkeiten der Nennungen einschließlich des ersten Expert:innenfeedbacks gelistet.

3.1.3 Zweite Expert:innenbefragung: Finale Substanzliste

Die aus der ersten Expert:innenbefragung resultierende Substanzliste wurde für die zweite Expert:innenbefragung um die ermittelten Geruchscharaktere, die vorhandenen Geruchsschwellendaten sowie um die Häufigkeit ihrer Nennung innerhalb der ersten Expert:innenbefragung ergänzt. In einer separaten Liste wurden die Substanzen entsprechend ihrer geruchlichen Charaktere in verschiedenen Gruppen zusammengefasst. Die allgemeine Listung der Substanzen und deren geruchliche Gruppierung wurde den Expert:innen erneut als PDF- sowie zusätzlich als bearbeitbares Excel-Dokument zur Verfügung gestellt. Insgesamt wurden zwei Listen für die zweite Expert:innenbefragung zur Verfügung gestellt (Liste aus 89 Substanzen und Liste mit Gruppierungen nach Geruchscharakteren). Für die Befragung wurde derselbe ausgewählte Expert:innenkreis, wie in der ersten Befragung (vgl. Kapitel 2.1.2) zu Rate gezogen. Insgesamt resultierte diese Befragung in acht Einzelfeedbacks.

Durch Ausschluss aller Substanzen der Gruppe 4 „keine Relevanz“ konnte die Substanzliste auf 64 geruchlich relevante Einzelsubstanzen eingegrenzt werden und wurde der anschließenden Geruchsradentwicklung zugrunde gelegt (finale Substanzliste siehe Anhang A.4). Diese Substanzen sind vornehmlich den Gruppen der Aldehyde, Aromaten, Terpene und Alkohole zuzuordnen.

3.1.4 Plausibilitätsprüfung

3.1.4.1 Kategorisierung der Ergebnisse aus der Literaturrecherche

Im Zuge der Plausibilitätsprüfung wurden die der Substanzlistung zugrundeliegenden Literaturquellen entsprechend Ihrer Qualität von A (sehr gut) über B (mäßig) bis hin zu C (fragwürdig) kategorisiert (vgl. Kapitel 2.1.3). Eine Übersicht ausgewählter Kriterien und resultierender Klassifizierungen ist im Anhang C.1 zusammengestellt.

Insgesamt wurden 10 Literaturquellen mit A bewertet, insbesondere sind hier, neben weiteren, Veröffentlichungen von Cain et al. [7; 8] und Cometto-Muñiz et al. [9; 10; 11] zu nennen. Die Kategorie B wurde insgesamt 3 Literaturquellen und C insgesamt 5 Literaturquellen zugeordnet. Zumeist waren hier die Versuchsdurchführung, die Probendarbietung und die Art der Datenermittlung und -verarbeitung entweder nicht näher erläutert oder entsprach nicht den vorgegebenen Kriterien (vgl. Kapitel 2.1.3).

Da durch die Literaturquellen der Kategorie A nicht alle ausgewählten Substanzen abgedeckt werden konnten, ist die Datenlage überwiegend als mäßig (B) einzuschätzen.

3.1.4.2 Plausibilitätsprüfung der verfügbaren Geruchsschwellendaten

Eine Übersicht wenig plausibler Datensätze ist in der nachfolgenden Tabelle 4 zusammengestellt. Die Substanzen sind entsprechend der durch die Expert:innen bestätigten Relevanz im Innenraum und weiterhin alphabetisch sortiert. Für die aufgeführten Substanzen sind entweder nur mäßige bis fragwürdige Quellen vorhanden oder die recherchierten Geruchsschwellenkonzentrationen liegen unplausibel weit oberhalb der gefundenen typischen Innenraumkonzentrationen. Bei diesem Vergleich ist in Tabelle 4 zu beachten, dass Geruchsschwellendaten in mg/m^3 und Innenraumkonzentrationen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben sind. Für einzelne Substanzen liegen die Geruchsschwellenkonzentrationen um teils mehrere Größenordnungen über den genannten Innenraumkonzentrationen. Da diese Substanzen im Innenraum somit im Durchschnitt geruchlich nicht wahrnehmbar sein sollten, werden solche Datensätze als unplausibel eingestuft. Die für die eigenen Validierungsmessungen ausgewählten Substanzen sind im Kapitel 3.2.1 benannt.

Tabelle 4: Übersicht unplausibler Datensätze.

Relevanz (1-3)	Substanzen CAS. Nr.	Geruchsnote	Geruchsschwelle (GS) in mg/m ³	Innenraum- konzentration in µg/m ³	Jahr der GS- Literaturquellen	Häufigkeit Substanz- nennung in der Literatur	Häufigkeit der Nennung durch 1 & 2 Expert:innen- Befragung [12; 13]
1	1-Chlornaphthalin 90-13-1	muffig, Mottenkugel, alt, Altbau	-	-	-	-	6
1	Benzaldehyd 100-52-7	Mandel, Marzipan	0,085 [14]	0,9 - 18,8 [15; 16; 17; 18; 19; 20]	2008 [14] / B-C	16	8
1	beta-Pinen 127-91-3	Nadelholz, harzig	0,187 [21]	1,81 - 73,9 [16; 19; 20]	2003 [21] / A-B	6	4
1	DL-Limonen 7705-14-8	Zitrus	-	3,46 - 9,9 [16]	-	2	4
1	Ethylacetat 141-78-6	Nagellack	4,3 - 4,7 [22]; 3,1 [21]; 0,88 [9]	3,94 - 11,72 [16]	2003 [21] / A-B; 2008 [9] / A; 2009 [22] / A	5	6
1	Formaldehyd 50-00-0	Desinfektion	0,14 [23] - 0,63 [21]	8,1 - 926 [15; 18; 19; 20]	2003 [21] / A-B; 2012 [23] / B-C	23	7
1	Geosmin 19700-21-1	erdig, schimmelig	0,000049 [21] - 0,00021 [24]; 0,0076 [12]	-	2003 [21] / A-B; 2007 [24] / C	2	1
1	Limonen 138-86-3	Zitrus	0,21 [21]	16 - 29 [25]	2003 [21] / A-B	6	8
1	m/p-Xylol 1330-20-7	süß	0,18 - 0,26 [21]	1,6 – 30,45 [15; 16]	2003 [21] / A-B	12	7
1	Toluol 108-88-3	süß, stechend, scharf, beißend	0,3 [11] - 1,3 [21]	0,5 - 130,6 [15; 16; 20; 26]	2003 [21] / A-B; 2009 [11] / A	26	9

Relevanz (1-3)	Substanzen CAS. Nr.	Geruchsnote	Geruchsschwelle (GS) in mg/m ³	Innenraum- konzentration in µg/m ³	Jahr der GS- Literaturquellen	Häufigkeit Substanz- nennung in der Literatur	Häufigkeit der Nennung durch 1 & 2 Expert:innen- Befragung [12; 13]
2	2-Butanon 78-93-3	süß	0,21 [27] - 1,3 [21]	1,09 - 5,38 [16]	2000 [27] / A; 2003 [21] / A-B	14	3
2	delta-3-Caren 13466-78-9	süß	9,3 [28]	2,09 [20]	1998 [28] / C	10	5
2	Ethylbenzol 100-41-4	Benzin	0,026 [11] - 0,73 [21]	0,15 - 5,01 [15; 16; 18; 20]	2003 [21] / A-B; 2009 [11] / A	16	5
2	o-Xylol 95-47-6	Süß	1,68 [21]	1,5 [15]	2003 [21] / A-B	12	6
3	2-Propanol 67-63-0	Desinfektion, medizinisch	65 [21]	11,29 - 31,02 [16]	2003 [21] / A-B	5	7

3.2 Auswahl von Substanzen für Validierungsmessungen

Auf Basis der Plausibilitätsprüfung wurden zunächst Substanzen für die Validierungsmessungen ausgewählt (siehe Kapitel 3.2.1), die anschließend im Detail vermessen wurden. Bestimmt wurden hierbei die Geruchsschwellenkonzentrationen, Intensitäten und Weber-Fechner-Koeffizienten sowie die Hedonik und der Geruchscharakter mit jeweils 12 Prüfer:innen. Einzelheiten der Einzelsubstanzmessungen können dem Kapitel 2.2 und dem Anhang D entnommen werden, während sich eine Zusammenfassung der Ergebnisse im Kapitel 3.2.2 findet.

3.2.1 Substanzauswahl

Auf Basis der Plausibilitätsprüfung (vgl. Kapitel 3.1.4.2) und der dabei herausgearbeiteten Übersicht zu unplausiblen Datensätzen sowie zusätzlicher Abstimmung mit den Expert:innen der UAG Geruch und dem Umweltbundesamt wurden verschiedene Einzelsubstanzen für Validierungsmessungen ausgewählt.

Insbesondere 1-Chlornaphthalin, welches in der Literaturrecherche zunächst nicht als relevante Substanz identifiziert wurde, wurde von den Expert:innen explizit als relevanter Stoff klassifiziert und daher in die Liste der finalen Substanzen aufgenommen. Da für 1-Chlornaphthalin keine relevanten Daten gefunden werden konnten, wurde dieser Stoff im Zuge der eigenen Validierungsmessungen untersucht (siehe Anhang D.1).

Für alle weiteren in Tabelle 4 (Kapitel 3.1.4.2) gelisteten Substanzen lagen Daten vor, die überwiegend allerdings erheblich höhere Geruchsschwellenkonzentrationen aufweisen als die Konzentrationen, die typischerweise im Innenraum auftreten. Um weitere Substanzen für Validierungsmessungen auszuwählen, musste aufgrund der Menge an unplausiblen Datensätzen eine Priorisierung vorgenommen werden. Zum einen sollte der Fokus auf die 8 Substanzen mit der Relevanz-Einstufung „1“ gelegt werden. Zum anderen sollte allerdings z. B. Formaldehyd aufgrund seines im Vergleich zur gefundenen Geruchsschwelle geringen AGW- bzw. MAK-Wertes von $0,37 \text{ mg/m}^3$ [29] und seiner CLP-Einstufung zum Schutz der Prüfer:innen nicht untersucht werden. Auch Toluol wurde aufgrund seiner CLP-Einstufung nicht für Validierungsmessungen priorisiert. Ebenso sollten die in der Tabelle aufgeführten Limonene nicht für die Validierungsmessungen verwendet werden, da diese in der Regel nicht getrennt in der Analytik ausgewiesen werden (können).

Weiterhin wurde aufgrund der gestiegenen Anwendung von Desinfektionsmitteln 2-Propanol für die Validierungsmessungen ausgewählt, da dieses ein zentraler Bestandteil vieler Desinfektionsmittel ist.

Diskutiert wurde die Untersuchung von beta-Pinen. Im Zuge der 18. Sitzung der UAG Geruch am 26.04.2022 wurde beta-Pinen allerdings als weniger prioritär eingestuft und alternativ eine Validierungsmessung für 2-Butanon vorgeschlagen, obwohl dieses entsprechend der Expert:innenfeedbacks lediglich eine Relevanz Einstufung „2“ erhielt.

Als Substanzen der Relevanzstufe 1 wurden abschließend Validierungsmessungen für Benzaldehyd und Ethylacetat festgelegt. Beide sind gut verfügbar und lassen sich für Validierungsmessungen gut aufbereiten.

Auf Basis der Expert:innenbefragungen und der Plausibilitätsprüfung wurden zusammenfassend folgende Substanzen für die Validierungsmessungen ausgewählt:

- ▶ 1-Chlornaphthalin CAS-Nr. 90-13-1 (Anhang D.1)
- ▶ Benzaldehyd CAS-Nr. 100-52-7 (Anhang D.2)
- ▶ Ethylacetat CAS-Nr. 141-78-6 (Anhang D.3)
- ▶ 2-Butanon CAS-Nr. 78-93-3 (Anhang D.4)
- ▶ 2-Propanol CAS-Nr. 67-63-0 (Anhang D.5)

3.2.2 Geruchsparemeter aus den Validierungsmessungen

In der folgenden Tabelle 5 sind die ermittelten Geruchsparemeter aus den Validierungsmessungen zusammengestellt. Für 2-Propanol wurde insgesamt nur eine orientierende Geruchsstoffkonzentration ermittelt, da bereits drei Stufen oberhalb der Verdünnung an der Geruchsschwelle, der angenommene AGW- bzw. MAK-Wert von 500 mg/m³ [29] überschritten war. Entsprechend hohe Konzentrationen sollten den Prüfer:innen zu deren Gesundheitsschutz nicht dargeboten werden. Eine Erhöhung der Konzentration im Mutterbeutel hätte die Anzahl an Verdünnungsstufen erhöht, hätte aber ebenso in einer Überschreitung des AGW-Wertes geendet. Weiterhin hätten für die Intensitätsbewertung lediglich 3 der 6 vorgesehenen überschwelligen Konzentrationen bewertet werden können, was nicht zur Ermittlung eines validen Weber-Fechner-Koeffizienten geführt hätte.

Basierend auf der unverdünnten Konzentration von 2350 mg/m³ 2-Propanol im Mutterbeutel vermeldeten die Geruchsprüfer:innen erst bei einer Verdünnung dieser Probe von 1:43 eine Geruchswahrnehmung. Die am verwendeten Olfaktometer verbleibenden Verdünnungsstufen von ca. 1:20, 1:10 und 1:5 resultierten damit etwa in Konzentrationen von 118, 225 und 490 mg/m³. Eine Erhöhung der Ausgangskonzentration hätte damit sicher zu einer Überschreitung des AGW-Wertes im Bereich geringerer Verdünnungen geführt.

Tabelle 5: Geruchsparemeter aus Validierungsmessungen.

Zusammenfassung ermittelter Parameter wie Geruchsschwellen, Weber-Fechner-Koeffizienten, hedonische Geruchswirkung und Geruchsscharakter. Geruchsschwelle unter Angabe des Erwartungswertes sowie der oberen und unteren Grenze in Abhängigkeit des 95 % Konfidenzintervalls

Substanz (CAS-Nr.)	Geruchsschwelle rechnerisch <i>untere Grenze</i> Erwartungswert <i>obere Grenze</i> in mg/m ³	Geruchsschwelle analytisch <i>untere Grenze</i> Erwartungswert <i>obere Grenze</i> in mg/m ³	Weber- Fechner- Koeffizient	Hedonische Geruchswirkung Duft/Gestank	Geruchs- charakter
1-Chlor- naphthalin (90-13-1)	0,0032 0,0042 0,0054	0,0021 0,0027 0,0035	2,34	-0,72 / +0,90	Organisch, muffig, Mottenkugel, fäkal
Benzaldehyd (100-52-7)	0,0696 0,0907 0,1181	0,0517 0,0674 0,0877	2,69	+0,77 / -0,54	Marzipan, Mandel, süßlich

Substanz (CAS-Nr.)	Geruchsschwelle rechnerisch <i>untere Grenze</i> Erwartungswert <i>obere Grenze</i> in mg/m ³	Geruchsschwelle analytisch <i>untere Grenze</i> Erwartungswert <i>obere Grenze</i> in mg/m ³	Weber- Fechner- Koeffizient	Hedonische Geruchswirkung Duft/Gestank	Geruchs- charakter
Ethylacetat (141-78-6)	3,53 4,60 5,99	3,17 4,13 5,38	2,37	-0,34 / +0,56	Lösungsmittel, Klebstoff, chemisch
2-Butanon (78-93-3)	2,81 3,66 4,77	2,04 2,65 3,45	2,55	-0,02 / +0,21	Lösungsmittel, süß
2-Propanol* (67-63-0)	32,50 42,31 55,10	- - -	-	-0,11 / +0,27	Desinfektion, medizinisch, alkoholisch, chemisch

* Die Bewertungen von 2-Propanol wurden aufgrund der hohen Geruchsschwelle und des verhältnismäßig niedrigen AGWs und aufgrund des Gesundheitsschutzes der Prüfer:innen auf die Bestimmung einer orientierenden Geruchsstoffkonzentration mit nur einem Team reduziert. Die Hedonik wurde ebenfalls nur mit einem Team bestimmt, Intensitätsverläufe wurden nicht ermittelt (vgl. Kapitel D.5).

3.3 Grafische Entwicklung des Geruchsrads

3.3.1 Entwurf des Geruchsrads

Für einen Großteil der Substanzen konnten mehrere Geruchsbeschreibungen zusammengetragen werden. Diese wurden in Zusammenarbeit mit den Olfasense Mitarbeiter:innen für das GC-MS-Sniffing gebündelt, sodass zunächst maximal drei typische Geruchsnoten je Substanz gelistet wurden (siehe 2. Substanzliste im Anhang A.2). Diese Geruchsnoten wurden abschließend beschreibenden Deskriptoren zugeordnet und diese dann in (möglichst wenige) übergeordnete Kategorien gebündelt, um eine übersichtliche Gestaltung des Geruchsrads zu ermöglichen. Die gewählte Struktur zur Gruppierung der Geruchsscharaktere war Grundlage für die Erstellung des ersten Entwurfs des Geruchsrads für typische Innenraumgerüche.

Der Entwurf des Geruchsrads wurde in 3 Ebenen mit einer zusätzlichen Ebene für die zugehörigen Einzelsubstanzen vorgenommen. Die erste, zentrale Ebene wurde in die vier Kategorien „chemisch“, „organisch-pflanzlich“, „organisch-tierisch“ und „verbrannt“ untergliedert. Diese erste Ebene wurde in weitere Unterkategorien bzw. Deskriptoren der Ebene 2 aufgegliedert und diese weiter zu konkreten Geruchsnoten in Ebene 3 aufgefächert. Der resultierende Geruchsradentwurf ist in der folgenden Abbildung 10 dargestellt. Die zugrunde liegende Substanzliste wurde auf Basis des Feedbacks der ersten und zweiten Expert:innenbefragung (vgl. Kapitel 3.1.2 und 3.1.3) erstellt.



3.3.2 Version 1 des Geruchsrads

In der dritten Expert:innenbefragung wurde der erste Geruchsrads-Entwurf diskutiert. Hierfür wurde das Geruchsrads mit den Expert:innen geteilt. Allgemein wurden sie gebeten sowohl inhaltliches als auch optisches Feedback zu geben.

Insgesamt wurde der Geruchsradsentwurf von den Expert:innen als sehr ansprechend und vollständig bewertet. Die häufigsten Anmerkungen betrafen die farbliche Gestaltung der gruppierten Gerüche (chemischer Abschnitt = blau usw.) und die Gestaltung der Schrift, insbesondere bezüglich Größe und Lesbarkeit. Anhaltspunkte zur Farbgestaltung können klassische Farbinterpretationen sein. Da für den Einsatz des Geruchsrads eine deutliche Belästigungswirkung der Raumnutzenden vorausgesetzt wird, wurden im Folgenden mögliche „negative“ Farbbewertungen gemeinsam mit Beispielen für psychologische und im Marketing verwendete Farbinterpretationen zusammengestellt.

Für die Wahl der Farbgestaltung des Geruchsrads wurde zunächst eine Literaturrecherche auf Google Scholar durchgeführt. Verwendete Keywords waren „psychologic effects“ und „co*lor“. Die einbezogenen Studien beschreiben den psychologischen Effekt der Farben auf Menschen und wie sie in der Wirtschaft eingesetzt werden (siehe Tabelle 6). Anhand dieser Recherche wurden die Farben des Geruchsradsentwurfs gewählt.

Tabelle 6: Farbinterpretationen.

Farbe	„negative“ Bewertung	Psychologische Bewertung[30]	Bewertung im Marketing [31]
Grün	unreif, sauer, bitter	Natur und Wachsamkeit, Entspannung	Natur, Umweltbewusstsein, beruhigende Wirkung
Blau	kalt, langweilig	beruhigend/entspannend; die am Häufigsten vorkommende Farbe	Zuverlässigkeit, Sicherheit
Gelb	giftig	eher fröhliche und sonnige Farbe	regt das Gehirn an (Warnfarbe für Warnschilder), löst Unbehagen aus
Rot	gefährlich, Warnwirkung	erhöht die Wachsamkeit/Aufmerksamkeit	Erregung von Aufmerksamkeit
Orange		Geschmacksaroma, positive Wirkung auf den Solarplexus; Neugier und Unruhe	Wärme, Zuverlässigkeit, mahnt zur Vorsicht
Pink/Rosa		Erotik, Charme	feminine Farbe, Romantik
Lila	unnatürlich, künstlich	Chaos und Tod; desinfizierende Wirkung	Respekt, beruhigende Wirkung, fördert Kreativität und Problemlösungsvermögen

Farbe	„negative“ Bewertung	Psychologische Bewertung[30]	Bewertung im Marketing [31]
Grau	trist, charakterlos, ausdrucklos		Gelassenheit
Braun	dreckig	Erdverbundenheit	harmonisierende Wirkung
Schwarz	absorbierend, beschwerend, Angst (böse)	Bosheit, Gewalt	Westliche Kultur: Kälte, Trauer
Weiß	steril	Reinheit, Sauberkeit	Reinheit, Gesundheit

Farben beeinflussen die Wahrnehmung und Präferenzen von Menschen. Jedoch unterscheiden sich diese abhängig von Geschlecht, Alter, ethnischer Herkunft sowie allgemeinen Trends und werden deshalb individuell wahrgenommen [32]. Wilms und Oberfeld beobachteten in ihrer Studie über die Auswirkung von Farbton, Sättigung und Helligkeit auf menschliche Emotionen, eine positive Korrelation zwischen Erregung und Farbinsintensität. Je gesättigter die Farben waren, desto höher waren die Erregungswerte [33]. Um ein möglichst neutrales Geruchsrads zu entwerfen, wurden Geruchskategorien, welche häufig vom Verbraucher negativ bewertet werden, mit nach Möglichkeit „nicht negativen“ Farben hinterlegt. Darüber hinaus wurden die Farben nicht grell, sondern in ihrer Intensität abgestuft gewählt und pastellige Töne gewählt.

Grün

Die Farbe Grün wird sowohl mit positiven als auch negativen Emotionen verknüpft. So wird sie zum einen mit positiven Emotionen, wie mit Natur und einer beruhigenden Wirkung assoziiert. Zum anderen wird sie aber auch mit negativen Emotionen wie Neid, bitter und sauer (vgl. Tabelle 6) [30; 31; 32] verbunden. Für die Geruchskategorie „organisch“ wurde die Farbe Grün gewählt. Hier sind sowohl Geruchskategorien untergeordnet, welche sowohl mit positiven als auch negativen Emotionen verbunden werden können, ähnlich wie zur Farbe Grün.

Blau

Die Geruchskategorie „chemisch“ wurde der Farbe Blau zugeordnet. Das Wort „chemisch“ wird häufig mit negativen Emotionen, wie Gefahr assoziiert, während die Farbe „Blau“ häufig mit „vertrauenswürdig“ und seltener mit negativen Emotionen assoziiert wird [32].

Grau

Die Kategorie „verbrannt“ wurde mit der Farbe Grau hinterlegt. Grau ist eine neutrale, emotionslose Farbe [31; 34]. Sie wirkt beruhigend auf Geist und Körper, wodurch die negativen Emotionen, welche mit dem Wort „verbrannt“ assoziiert werden, ausgeglichen werden.

Orange

Orange ist eine warme einladende Farbe, welche psychisch als auch physisch anregend ist. Sie steigert Glück, Vertrauen und Verständnis. Verschiedene Schattierungen und Intensitäten der Farbe Orange können sich jedoch unterschiedlich auswirken. So hat ein helles Orange eine

beruhigende und freundliche Wirkung und ein dunkles Orange steht für Misstrauen und Betrug [30; 31; 34]. Weshalb in der Kategorie „muffig“ negative Unterkategorien ein helleres Orange erhielten als positivere Unterkategorien.

Gelb

Optimismus, Freude und Energie werden mit der Farbe Gelb assoziiert. Sie ist eine lebendige, einladende Farbe und regt das logische Denken an [30; 31; 34]. Allerdings wird die Farbe auch als Warnfarbe verstanden, daher wurde die Farbe Gelb nicht grell dargestellt. Die Kategorie „stechend, beißend“ sowie deren Unterkategorien können im ersten Moment negative Emotionen auslösen, weshalb eine positive, optimistische Farbe gewählt wurde.

Im Rahmen der 18. Sitzung der UAG Geruchsbewertung am Umweltbundesamt am 26.04.2022 wurden der Geruchsrudentwurf sowie dessen farbliche Ausgestaltung diskutiert. Insgesamt bildete sich ein Konsens für weniger „freundliche“ oder „einladende“ Farben und es wurde eine Version in Pastelltönen favorisiert. Weiterhin wurden kleinere Änderungen bezüglich der Deskriptoren „Reinigungsmittel“ und „Kunststoff, Plastik“ sowie deren weiterer Auffächerung diskutiert. Das aus dieser Besprechung resultierende Geruchsrads ist in Abbildung 11 dargestellt. Als erste Arbeitsversion, die mit Prüfer:innen genutzt wurde, wird diese Version folgend als „Version 1“ verstanden.

Um die Anwendung des Geruchsrads zu erleichtern wurden dieser Darstellung Anwendungshinweise und eine Liste möglicherweise für den Geruch ursächlicher Substanzen beigefügt. Diese könnte sich im Alltag zum Beispiel als „Rückseite“ des Geruchsrads umsetzen lassen. Die Zusammenstellung ist Abbildung 12 zu entnehmen.

Abbildung 11: Version 1 eines Geruchsrads für typische Innenraumgerüche in Pastell.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 12: Erste Anwendungshinweise und Substanzlistung.

Bewertung von Gerüchen im Innenraum - Geruchsrads -

Zur Anwendung des Geruchsrades:

Bitte nehmen Sie sich vor der Verwendung des Geruchsrades einen Augenblick Zeit für die allgemeinen Erläuterungen zum Aufbau und zur Anwendung.

Das Geruchsrads soll grundsätzlich vom Zentrum innen (Ebene 1) nach außen (bis Ebene 3) gelesen werden. Auf diesem Wege können Sie sich als Anwender:in von einer sehr allgemeinen Beschreibung hin zu einem spezifischen Geruchscharakter vorarbeiten. Grundsätzlich ist es möglich, dass ein Geruch mehreren Beschreibungen in den unterschiedlichen Ebenen zugeordnet werden kann.

Bitte machen Sie sich zunächst mit den im Geruchsrads verwendeten Worten vertraut. Dafür wird folgendes Vorgehen empfohlen:

- 1) Beginnen Sie mit der inneren Ebene des Geruchsrades. Diese enthält die 4 Kategorien "chemisch", "biologisch - pflanzlich", "biologisch - tierisch" und "verbrannt".
- 2) Gehen Sie diese Kategorien nacheinander durch und schauen Sie sich die zugehörigen Untergliederungen in den folgenden 2 Ebenen an.
- 3) Vergegenwärtigen Sie sich im Anschluss den Geruch bzw. begeben Sie sich dafür in den betroffenen Innenraum.
- 4) Gehen Sie bei der Anwendung des Geruchsrades wie folgt vor:

- Im Zentrum bzw. auf der ersten Ebene des Geruchsrades findet sich die allgemeine Geruchskategorie - diese soll eine erste grobe Zuordnung des Geruches ermöglichen

Sie können sich hier die Frage stellen, ob es sich Ihrer Meinung nach eher um einen **chemischen**, einen eher **biologischen** oder ggf. auch um einen **verbrannten** Geruch handelt.

- In der zweiten Ebene findet sich eine Untergliederung der sehr allgemeinen Kategorie, die Ihnen eine detailliertere Beschreibung des Geruches ermöglicht

Sie können sich hier die Frage stellen, ob der von Ihnen wahrgenommene, z.B. chemische Geruch, eher nach einem Reinigungsmittel oder ggf. auch nach Kunststoff oder Ähnlichem riecht.

- In der dritten Ebene findet sich in einer weiteren Untergliederung sehr spezifische Geruchscharaktere

Sie können sich hier die Frage stellen, ob es möglich ist, den von Ihnen wahrgenommenen Geruch einem einzelnen (oder ggf. mehreren) der genannten Geruchskategorie zuzuordnen.

Mit dieser Zuordnung können Sie ggf. bereits einen Beitrag leisten, den Verursacher des Geruches einzugrenzen.

Zur möglichen zugrundeliegenden Substanzen:

Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Beispielsubstanzen				
biologisch - tierisch	animalisch	fischig	Amine	Trimethylamin 75-50-3			
		phocetall	Kresole	p-Kresol 105-44-5	m-Kresol 108-39-4		
	bleich	milchig	Capronsäure 142-62-1				
	sauer	schweißig, käsig	Butansäure 107-92-5				
biologisch - pflanzlich	fettig	fettig	Capronsäure 142-62-1				
	ranzig	ranzig	Octanal 124-13-0				
			2-Butoxyethanol 111-76-2	Heptansäure 111-14-8	Hexanal 66-25-1		
	muffig	erdig, schimmelig	Chloranisol ^[6]	Geosmin 19700-21-1			
		feuchte mineralhaltige Bauprodukte	2-Methyl-1-propanol 78-83-1				
		feuchte Kartontage	(E)-2-Nonenal / (E)-2-Decenal 19829-56-6				
		Kork	m-Kresol 108-39-4				
		modrig	Naphthalin ^[6]	2-Methylnaphthalin 91-57-5	Valeraldehyd 110-62-3		
		muffig	Naphthalin ^[6]				
		Mottenkugel, "alt", Altbau	Naphthalin ^[6]				
	pflanzlich	blumig, floral	Acetaldehyd 75-07-0				
	fruchtig	Banane	n-Butylacetat 123-86-4				
	stechend	Essig	Essigsäure 64-19-7				
chemisch	nussig	Mandel, Marzipan	Benzaldehyd 100-52-7				
	Reinigungsmittel	Desinfektion	Formaldehyd 50-00-0				
		medizinisch	2-Propanol 67-63-0				
		Zitrus	R-Limonen 5989-27-5	Limonen 138-85-3	DL-Limonen 7705-94-8		
		Sonstige Reinigungsmittel	-				
	Lösungsmittel	Farbe, Kleber, Lack	n-Butylacetat 123-86-4				
		Nagellack	Ethylacetat 141-78-6				
		stechend, scharf, beißend	1-Butanol 71-35-3	2-Phenoxyethanol 122-99-6	Styrol 100-42-5	Toluol 108-88-3	
	Kunststoffe	Gummi	Benzothiazol 95-16-9	1,2,3-Trimethylbenzol 526-73-8	2-Phenoxyethanol 122-99-6		
		PVC	2-Ethylhexanol 104-75-7				
	Rohölprodukte	Kunststoff, Plastik	-				
		Benzin	Ethylbenzol 100-41-4	Phenol 108-95-2			
	süß	Teer	Naphthalin 51-20-3	Alkohole ^[6]	Carbonylverbindungen ^[6]	delta-3-Caren 13466-78-9	aromatische Verbindungen ^[6]
			Acrolein 107-02-8				
verbrannt	verbrannt	verbrannt	Acrolein 107-02-8				
	rauchig, röstig	rauchig, röstig	-				
		süß	p-Xylol 95-47-6				

Ergänzungen zur Tabelle:

Chloranisol ^[6]	Naphthalin ^[6]	Naphthalin ^[6]	Alkane ^[6]	Alkohole ^[6]	Carbonylverbindungen ^[6]
2,3,4-Trichloranisol 54135-80-7	1-Methylnaphthalin 90-12-0	Naphthalin 51-20-3	Octanal 124-13-0	1-Butanol 71-36-3	Acetophenon 98-86-2
2,3,5-Trichloranisol 50375-10-5	2-Methylnaphthalin 91-57-6	1-Chloronaphthalin 90-13-1	Nonanal 124-19-6	2-Butoxyethanol 111-76-2	Acetaldehyd 75-07-0
2,3,4,5-Tetrachloranisol 938-22-7			Decanal 112-31-2		2-Butanon 78-93-3
2,3,4,5,6-Pentachloranisol 1825-21-4					
	aromatische Verbindungen ^[6]				
	Phenol 108-95-2	m/p-Xylol 1330-20-7			
	Styrol 100-42-5	p-Xylol 95-47-6			
	Toluol 108-88-3				

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

3.3.3 Version 2 des Geruchsrads

Erste Anwendungen des Geruchsrads in der Version 1 machten schnell deutlich, dass Anpassungen in der Struktur und Darstellung notwendig waren. Zum einen wurden, wie vorgesehen, Bildwelten als vierte Ebene ergänzt, um so die universelle Verständlichkeit des Geruchsrads zu erhöhen und bildliche Assoziationen zum Geruch bereitzustellen. Zum anderen wurden Beschreibungen der ersten Ebene angepasst und zwei weitere Kategorien ergänzt.

Die Kategorien „biologisch-tierisch“ und „biologisch-pflanzlich“ waren für Prüfer:innen schwer greifbar und wurden somit teils allgemein in „organisch“ zusammengefasst. In diesem Zuge wurden die neuen, eigenständigen Kategorien „muffig“ und „stechend, beißend“ geschaffen, denen die entsprechenden Beschreibungen der zweiten und dritten Ebene der vorherigen Kategorien „biologisch-tierisch“ und „biologisch-pflanzlich“ zugeordnet wurden. Die Arbeitsversion des Geruchsrads findet sich in Abbildung 13 wieder und wird folgend als „Version 2“ verstanden.

Die Anwendungshinweise in Abbildung 12 wurden für die Arbeitsversion und die Untersuchung von letztendlich 21 Innenräumen vereinfacht, da diese für Geruchsprüfer:innen im Rahmen des Projektes als zu detailreich und nicht zielführend empfunden wurden. Für die Verwendung durch Expert:innen oder Ingenieurbüros wird es weiterhin detaillierte Anwendungshinweise geben.

Im weiteren Verlauf des Projektes wurde mit einer mündlichen Anleitung und zusätzlich folgendem Anleitungstext gearbeitet:

Gerüche zu beschreiben ist eine herausfordernde Aufgabe. Dieses Geruchsrads zur Bewertung von Gerüchen im Innenraum soll Ihnen eine Hilfestellung bieten, beschreibende Worte für einen wahrgenommenen Geruch zu finden.

Mit dieser ersten Orientierung erleichtert sich im Anschluss auch die Kommunikation mit z. B. Umweltlaboren und Ingenieuren, um die Ursache des störenden Geruches ausfindig zu machen.

Zum Aufbau des Geruchsrads:

- ▶ Ebene 1 (innerer Kreis): allgemeine Kategorien
- ▶ Ebene 2: spezifische Geruchskategorien
- ▶ Ebene 3: detaillierte Geruchsnoten
- ▶ Ebene 4: Bildwelten, welche die Beschreibungen auf Ebene 3 unterstützen

Zur Anwendung des Geruchsrads:

1. Lesen Sie sich ein und verschaffen Sie sich einen Überblick über die verschiedenen Kategorien des Geruchsrads. Das Geruchsrads ist von innen nach außen zu lesen, sodass die wörtlichen Beschreibungen zunehmend präziser werden. Bei der späteren Geruchsbeschreibung ist es möglich sowohl Worte aus verschiedenen Ebenen als auch Worte unterschiedlicher Kategorien zu wählen.
2. Gehen Sie in den betroffenen Innenraum und verschaffen Sie sich in allen Ecken des Raumes einen Geruchseindruck. Der erste Eindruck zählt! Merken Sie sich insbesondere den ersten Geruchseindruck beim Betreten des Raumes.
3. Versuchen Sie nun den Geruch mit Hilfe des Geruchsrads zu charakterisieren. Dabei arbeiten Sie sich von innen nach außen durch die verschiedenen Ebenen und Kategorien des Geruchsrads.

4. Kennzeichnen Sie die Beschreibungen, die für Sie zutreffend sind und markieren Sie sie mit einem X.
5. Sie haben ein Wort im Kopf, welches Sie nicht im Geruchsrads wiederfinden? Notieren Sie diese Eindrücke in jedem Fall ebenfalls.

Abbildung 13: Version 2 des Geruchsrads für typische Innenraumgerüche in Pastell mit Bildwelten zur dritten Ebene.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

3.3.4 Finales Geruchsrads

Auf Basis umfangreichen Feedbacks von Expert:innen und Prüfer:innen sowie auch Besucher:innen der Fachtagung „Innenraumluft 2024“ in Dessau vom 6.-8. Mai 2024, wurde insbesondere die Schriftfarbe des Geruchsrads angepasst und von weiß auf schwarz geändert, um den Kontrast und die Lesbarkeit im Geruchsrads zu erhöhen. Dieses Geruchsrads kann in höherer Auflösung und mit einer Anleitung in der Handlungshilfe des Umweltbundesamtes zu diesem Bericht eingesehen, ausgedruckt und angewendet werden.

Zusätzlich wurden weitere Substanzen ins Geruchsrads aufgenommen, die entweder im Zuge der Untersuchung von 21 Innenräumen vermehrt gefunden wurden oder die aus der weiteren Literaturrecherche für einzelne Geruchsnoten identifiziert wurden. Es wurden insgesamt die drei neue Geruchsnoten der dritten Ebene „sauer“, „chlorig“ und „Teppich, Textil“ zum Geruchsrads hinzugefügt und mit Einzelsubstanzen hinterlegt. Eine Auflistung ergänzter Geruchsnoten und Einzelsubstanzen ist in Tabelle 7 gelistet.

Tabelle 7: Weitere Substanzen und Geruchsbeschreibungen zur Finalisierung des Geruchsrads.

Zuordnung bereits vorhandener Substanzen zu weiteren Geruchsnoten des Geruchsrads sowie Einbindung neuer Substanzen und Geruchsnoten zur Vervollständigung des Rads.

Substanz	CAS-Nr.	Zuordnung im Geruchsrads (Ebene 1 → Ebene 2 → Ebene 3)
Caprolactam	105-60-2	chemisch → Reinigungsmittel → chlorig
4-Phenylcyclohexene	4994-16-5	chemisch → Kunststoffe → Teppich, Textil
Capronsäure	142-62-1	organisch → sauer → sauer

Zusätzlich zu den hinterlegten Substanzen im Geruchsrads wurde eine Auswahl an Sniffing-Sticks erarbeitet, die den Geruchsnoten der dritten Ebene im Geruchsrads entsprechen. Um die Anzahl an Sniffing-Sticks übersichtlich zu halten, wurden diese entsprechend des Geruchscharakters ausgewählt. Das Ziel war nicht, jede der 66 hinterlegten Einzelsubstanzen über Sniffing-Sticks abzubilden. Die in den Sticks enthaltenen Substanzen entsprechen damit nicht zwangsläufig den im Geruchsrads hinterlegten Substanzen, z. B. da das Einbringen einiger Stoffe in Sniffing-Sticks aus technischen Gründen oder aus Gründen des Gesundheitsschutzes nicht umsetzbar ist. Weiterhin existiert für die Sniffing-Sticks ein aktuelles Portfolio, das nicht alle im Geruchsrads enthaltenen Substanzen abdeckt. Eine weitgehend vollständige Abdeckung des Geruchsrads soll angestrebt werden. Der Geruchscharakter der verfügbaren Sniffing-Sticks entspricht aber weitestgehend den Geruchsnoten des Geruchsrads. Eine Listung zugeordneter Sniffing-Sticks, die die Anwendung des Geruchsrads olfaktorisch ergänzen, ist in der folgenden Tabelle 8 zu finden. Als Geruchsbeispiel für Chloranisole wurde beispielsweise das 2,4,6-Trichloranisole ausgewählt, welches geruchlich stellvertretend auch für 2,3,4,5,6-Pentachloranisole, 2,3,4-Trichloranisole und 2,3,6-Trichloranisole steht. Ebenso wurde für 1-Methylnaphthalin und 1,4-Dimethylnaphthalin kein gesonderter Sniffing-Stick zur Verfügung gestellt, da der muffige Charakter bereits durch die Stifte von Naphthalin und 2-Methylnaphthalin abgedeckt ist.

Tabelle 8: Substanzen und Geruchsbeschreibungen zur olfaktorischen Ergänzung des Geruchsrads mittels Sniffing-Sticks.

Zuordnung ausgewählter Sniffing-Sticks zu Geruchsnoten der 3. Ebene des Geruchsrads.

lfn. Nummer	Substanz	CAS-Nr.	Zuordnung zu Geruchsnoten der 3. Ebene
001	2-Methylnaphthalin	91-57-6	Mottenkugel, Altbau, modrig, muffig
002	2-Propanol	67-63-0	medizinisch, Desinfektion
003	n-Butylacetat	123-86-4	Farbe, Kleber, Lack, Banane
004	Geosmin	19700-21-1	erdig, schimmelig
005	Heptanal	111-71-7	Zitrus
006	n-Butanal	123-72-8	stechend
007	Benzaldehyd	100-52-7	Mandel, Marzipan
008	n-Pentanal	110-62-3	muffig, fruchtig
009	3-methyl-Butanal	590-86-3	rauchig, röstig
010	Acetaldehyd	75-07-0	blumig, floral, stechend
011	Limonen	138-86-3	Zitrus
012	Capronsäure	142-62-1	ziegig, schweißig, käsig, sauer
013	Octanal	124-13-0	Zitrus, fettig
014	4-Methylphenol (p-Kresol)	106-44-5	Pferdestall
015	Acetophenon	98-86-2	süß
016	Trimethylamin	75-50-3	fischig
017	Naphthalin	91-20-3	Teer, Mottenkugel, Altbau, muffig
018	2-Ethylhexanol	104-76-7	mentholig, frisch
019	Phenol	108-95-2	Teer, süß
020	Buttersäure	107-92-6	milchig
021	Ethylacetat	141-78-6	Nagellack
022	2-Methylpropanal	78-84-2	rauchig, röstig
023	2,4,6-Trichloranisol	87-40-1	erdig, schimmelig
024	Hexanal	66-25-1	grasig, krautig, ranzig
025	Styrol	100-42-5	Kunststoff, Plastik, stechend, süß
026	R-Limonen	5989-27-5	Zitrus
027	n-Butanol	71-36-3	stechend, süß, stechend
028	Butanon	78-93-3	süß
029	E-2-Nonenal	18829-56-6	feuchte Kartonage
030	Toluol	108-88-3	stechend, süß
031	Essigsäure	64-19-7	Essig
032	Nonanal	124-19-6	grasig, krautig, Zitrus
033	Benzothiazol	95-16-9	Teppich, Textil, Gummi
034	α -Pinen	7785-70-8	Nadelholz, harzig

Abbildung 14: Finale Version des Geruchsrads für typische Innenraumgerüche zur Veröffentlichung.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

3.4 Akquirierte geruchlich belastete Innenräume

Für die Geruchsbewertung mittels Geruchsrads und mittels HPLC/GC-MS/GC-MS-Sniffing konnten im Projektverlauf insgesamt 21 Innenräume akquiriert werden.

Ein Büro, ein Besprechungsraum, ein Schulzimmer sowie ein Wohnraum wurden aufgrund externer Anfragen von Raumnutzer:innen oder Eigentümer:innen untersucht. Drei weitere Besprechungsräume, vier Flure, drei Büros, vier Wohnräume sowie zwei Konferenzräume und ein „sonstiger“ Raum konnten durch direkte Kontaktaufnahme mit den entsprechenden Eigentümer:innen untersucht werden. Alle Räume wiesen einen auffälligen und unangenehmen Geruch auf, dessen Ursprung weder durch die Eigentümer:innen bzw. Nutzer:innen noch durch die Messleiterinnen eindeutig definiert werden konnte.

Details zu Größe, Nutzung, Einrichtung, Lüftungsmöglichkeit, Probenahmeort und Geruch laut Raumnutzer:innen finden sich in der folgenden Tabelle 9. Zugehörige Grundrisse sind im Anhang F zusammengestellt. In Räumen mit Tischen sind zusätzliche Stühle vorhanden, die nicht immer separat abgebildet sind.

Tabelle 9: Details der 21 beprobten, geruchlich belasteten Innenräume.

Indirekt = Bewertung aus Nalophan®-Beuteln; Direkt = Bewertung direkt im belasteten Raum.

Lfn. Nr.	Ort	Geruch laut Raumnutzer:in	Raummaße (LxBxH) in m und Volumen in m ³	Nutzung	Raummerkmale	Lüftung
1	24103 Kiel	Schlechter Geruch unbekannten Ursprungs	11,8x4,3x2,7 137 m ³	Besprechungsraum	Akustikdecke, Wände tapeziert, älterer Teppichboden mit textilen Scheuerleisten, 2 Türen in westlicher Ausrichtung zum Flur und angrenzenden Büros, Fensterfront in östlicher Richtung mit nur einem schmalen sich öffnen lassenden Fenster	als Besprechungsraum selten gelüftet und schlechte Lüftungsmöglichkeiten über einzelnes Fenster, Lüftungsanlage mit Absaugung, passive Ansaugung Außenluft; Lüftung läuft nur bei Nutzung des Raums
2	24860 Böklund	Geruch nach Renovierungs- und Bauarbeiten, Mitarbeiterin klagt über körperliche Beschwerden	5,5x4,1x2,6 59 m ³	Büro	gespachtelte und gestrichene Wände und Decke, älterer Teppichboden mit textilen Scheuerleisten, ein Fenster in nördlicher Ausrichtung, neuerlich bis zum Boden vertieft, zwei zugemauerte Fenster in östlicher Ausrichtung (zwecks Anbaus), angrenzendes Büro in westlicher Ausrichtung, im Übergang ein ca. 0,5 m ² großes Stück neuer Teppich	Fensterlüftung wird regelmäßig durch Nutzerin durchgeführt
3	24118 Kiel	Geruch nach Renovierung	6,0x3,9x3,0 70 m ³	Besprechungsraum	Neubau 2020, gespachtelte und gestrichene Wände und Decke, Teppichboden mit textilen Scheuerleisten, klassische Ausstattung Besprechungsraum	Fensterlüftung, als Besprechungsraum generell selten gelüftet
4	24118 Kiel	chemisch, synthetisch, leicht stechend	12,3x14,5x2,3 410 m ³	Konferenzraum	Akustikdecke und -wand, älterer Teppichboden mit textilen Scheuerleisten, klassische Konferenzraum-Ausstattung	Fensterfront mit diversen sich öffnen lassenden Fenstern, Be- und Entlüftungsanlage ist inaktiv
5	24118 Kiel	stechend, beißend,	32,5x1,5x2,3 112 m ³	Brücke, Flur	vollständig verkleidete Brücke als Verbindung zweier Gebäude, älterer Teppichboden	Fenster, selten geöffnet

Lfn. Nr.	Ort	Geruch laut Raumnutzer:in	Raummaße (LxBxH) in m und Volumen in m ³	Nutzung	Raummerkmale	Lüftung
6	24118 Kiel	chemisch, organisch stechend, muffig, unangenehm	7,0x5,8x3,1 126 m ³	Besprechungsraum	nicht abgehängte Betondecke, Wände gespachtelt und gestrichen, Fensterfront in östlicher Ausrichtung, klassische Konferenzraum-Ausstattung	Fenster, sporadische Lüftung bei Nutzung
7	21629 Neu Wulmstorf	Schlechter Geruch unbekannten Ursprungs	3,5x3,8x2,2 29 m ³	Wohnraum	Wohnraum in einem, zeitweise, ungenutzten Einfamilienhaus, Decke und Wände mit Haftgrund gestrichen (2001), Wände mit Stofftapete (tapeziert 2001), Laminat schwimmend verlegt auf Trittschalldämmung mit vorlackierten Holzfußbodenleisten	Fenster
8	24103 Kiel	stechend, verursacht Kopfschmerzen, chemisch	5,5x7x3,9 150 m ³	Mehrzweckraum in einer Schule	ehemaliger Chemieraum, nach Sanierung Verwendung als Klassenzimmer bzw. Mehrzweckraum, lange Vorgänge, PVC-Boden verklebt	Fenster, sporadische Lüftung bei Nutzung
9	24118 Kiel	stechend, chemisch	21x5,5x3 350 m ³	Flur EG, Lichthof I	Flur bzw. Lichthof im Erdgeschoss mit angrenzenden Büros und zentraler offener Treppe, Bodenbelag Fliesen, Wände gespachtelt und gestrichen, Abgrenzung zu weiteren Fluren über Glastüren	über offene Gestaltung zum Dachfenster im 4. OG Lüftung möglich
10	24118 Kiel	stechend, chemisch	7,5x3,1x2,5 58 m ³	Flur, Brücke	Brücke als Verbindung zwischen 2 Fluren, Bodenbelag Teppich, seitlich Glasfront	Fensterlüftung, Fenster im Alltag meist gekippt
11	24118 Kiel	stechend, chemisch	21x3,5x2,5 184 m ³	Flur 3.OG	Flur mit Öffnung zum Lichthof, angrenzende Büros, Bodenbelag Teppich, Wände gespachtelt und gestrichen, Abgrenzung zu weiteren Fluren über Glastüren	Lüftung über Fenster im Dach

Lfn. Nr.	Ort	Geruch laut Raumnutzer:in	Raummaße (LxBxH) in m und Volumen in m ³	Nutzung	Raummerkmale	Lüftung
12	24118 Kiel	chemisch, Farbe, unangenehm	5,4x4x2,6 56 m ³	Büro	Büro mit klassischer Büroausstattung, Sofa, Teppich, gespachtelte und gestrichene Wände	Fensterlüftung
13	24109 Kiel	süßlich, säuerlich, unangenehm	ca. 5,2x4,5x2,8 ca. 66 m ³	Zimmer mit Bad	Schlafzimmer mit Teppich und tapezierten, gestrichenen Wänden, letzte Renovierung vor über 3 Jahren	Fensterlüftung & RLT-Anlage
14	24109 Kiel	süßlich, säuerlich, unangenehm	ca. 5,2x4,5x2,8 ca. 66 m ³	Zimmer mit Bad	Schlafzimmer mit Teppich und tapezierten, gestrichenen Wänden, letzte Renovierung vor über 3 Jahren	Fensterlüftung & RLT-Anlage
15	24109 Kiel	organisch, Abfälle	5x7x2 70 m ³	Müllraum	Lageraum für div. Mülltonnen und Küchenabfälle	Lüftung über RLT-Anlage und durch Öffnung des Rolltors
16	24109 Kiel	stechend, holzig, unangenehm	4x4,1x2,8 46 m ³ (+ca. 60m ³)	Doppelzimmer mit Bad und Kochnische	Schlafzimmer mit Wollteppich und tapezierten, gestrichenen Wänden, letzte Renovierung ca. vor 6 Monaten	Fensterlüftung & RLT-Anlage
17	24109 Kiel	muffig, minimal alte Zigarette, im Sommer schlimmer	ca. 5,2x4,5x2,8 ca. 66 m ³	Zimmer mit Bad	Schlafzimmer mit Teppich und tapezierten, gestrichenen Wänden, letzte Renovierung letzte Renovierung vor über 3 Jahren; ehemaliges Raucherzimmer	Fensterlüftung & RLT-Anlage
18	24109 Kiel	muffig, unangenehm, störend	9,7x12x4,2 490 m ³	Veranstaltungs-saal	Saal mit Boden aus Asphaltestrich, darüber Teppich, zentral mit Parkettboden unterhalb des Teppichs, tapezierte und gestrichene Wände, klassische Konferenzausstattung mit Bestuhlung und Stehtischen, letzte Renovierung vor über 10 Jahren, Barbereich in nordwestlicher Ecke des Saals	Fensterlüftung, sporadische Lüftung bei Nutzung

Lfn. Nr.	Ort	Geruch laut Raumnutzer:in	Raummaße (LxBxH) in m und Volumen in m ³	Nutzung	Raummerkmale	Lüftung
19	18057 Rostock	Geruchsproblem seit Sanierung	6,4x8,7x3,6 200 m ³	Besprechungsraum	abgehängte Decke, tapezierte und gestrichene Wände, verklebter Teppich, Besprechungstische und klassische Bestuhlung	Fensterlüftung
20	18057 Rostock	unangenehm, störend	3x6,2x4 75 m ³	Büro	Büro mit klassischer Büroausstattung, PVC-Boden auf Steinholzfußboden, gespachtelte und gestrichene Wände	Fensterlüftung
21	18057 Rostock	unangenehm, störend	3,2x6,2x4 80 m ³	Büro	Büro mit klassischer Büroausstattung, Nadelfilz auf Steinholzfußboden, Wand tapeziert mit Raufaser und gestrichen	Fensterlüftung

3.5 Humansensorische Geruchsbewertung

3.5.1 Beschreibung des Prüfer:innen-Kollektivs

Als trainierte Prüfer:innen wurden zum einen Personen eingesetzt, die regelmäßig entsprechend der Vorgaben der DIN EN 13725 [2; 35] überprüft wurden. Zum anderen wurden auch Olfasense Mitarbeitende eingesetzt, die diese Überprüfung zwar nicht regelmäßig durchlaufen, aber dennoch regelmäßig an Geruchsbeurteilungen teilnehmen und über eine jahrelange Erfahrung verfügen.

Teilnehmende und als trainiert eingestufte Personen, sind in Tabelle 89 im Anhang G mit Kürzel, Alter, Geschlecht, Trainingsnachweis und dem Vermerk, für welche Räume sie ihre Bewertung abgegeben haben, zusammengestellt. Als untrainierte Prüfer:innen wurden möglichst Personen eingesetzt, die z. B. Teil des Proband:innen-Pools der Olfasense sind. Weiterhin wurden insbesondere bei Raumbewertungen vor Ort ansässige Personen, wie weitere Mieter:innen oder Mitarbeiter:innen einbezogen. Für diese wurde vornehmlich das Geschlecht dokumentiert, nicht aber das Alter.

Für die Bewertung der Innenräume ergibt sich insgesamt die folgende, in Tabelle 10 dargestellte, Verteilung zwischen Männern und Frauen sowie zwischen trainierten und untrainierten Prüfer:innen. Mit Ausnahme der Räume 1, 2, 3 und 7 konnten durchgängig die Mindestanforderungen von 10 trainierten und 20 untrainierten Prüfer:innen in ausgewogenem Geschlechterverhältnis, erfüllt werden. Teils ist das Verhältnis durch Überrekrutierung von Prüferinnen leicht verschoben. Im Mittel ergibt sich ein Verhältnis von 47:53 für das Verhältnis von Männern zu Frauen. Das Verhältnis von trainierten zu untrainierten Prüfer:innen liegt bei 36:64.

Tabelle 10: Übersicht über Geschlechterverteilung und Trainingsstatus aller Prüfer:innen.

Angabe der Anzahl teilnehmender Prüfer:innen an Raumbewertungen inklusive Geschlechterverteilung und Trainingsstatus.

Raum	Anzahl Prüfer:innen gesamt	Geschlechterverteilung m/w	Verteilung trainiert / untrainiert
1	30	11/19	10/20
2	37	13/24	13/24
3	40	16/24	14/26
4	42	21/21	16/26
5	42	22/20	16/26
6	39	20/19	14/25
7	20	11/9	3/17
8	38	17/21	15/23
9	36	18/18	15/21
10	36	18/18	15/21
11	36	18/18	15/21
12	36	16/20	14/22

Raum	Anzahl Prüfer:innen gesamt	Geschlechterverteilung m/w	Verteilung trainiert / untrainiert
13	36	16/20	12/24
14	36	16/20	12/24
15	36	16/20	12/24
16	30	15/15	10/20
17	30	15/15	10/20
18	30	15/15	10/20
19	30	15/15	10/20
20	30	15/15	10/20
21	30	15/15	10/20
Ø	34,4	16,1/17,5	12,3/22,1
Anteil in %		47/53	36/64

3.5.2 Anwendbarkeit des Geruchsrads aus Sicht der Prüfer:innen

Die Anwendbarkeit des Geruchsrads für die Raumbewertung wurde von den Prüfer:innen mittels Fragebogen (vgl. Kapitel 2.4.2.3) abgefragt. Die Antworten sind als prozentualer Anteil an allen Antworten in der folgenden Tabelle 11 zusammengestellt.

Tabelle 11: Übersicht über Einschätzungen zur Anwendbarkeit des Geruchsrads.

Angabe des prozentualen Anteils der Prüfer:innenbewertungen inklusive Geschlechterverteilung und Trainingsstatus. N = Anzahl an befragten Prüfer:innen. m = männliche Prüfer; w = weibliche Prüferinnen.

	gesamtes Prüfer:innen Panel			trainierte Prüfer:innen			untrainierte Prüfer:innen		
	alle N=219	m N=108	w N=111	alle N=79	m N=38	w N=41	alle N=140	m N=70	w N=70
Die Anwendung des Geruchsrads...									
...fiel mir sehr leicht, ich konnte mich auf dem Geruchrad direkt zurechtfinden	53 %	51 %	55 %	67 %	63 %	71 %	45 %	44 %	46 %
...fiel mir leicht, ich konnte mich auf dem Geruchsrads nach kurzer Zeit gut zurechtfinden	42 %	45 %	39 %	32 %	34 %	29 %	48 %	51 %	44 %
...fiel mir nicht so leicht	5 %	4 %	6 %	1 %	3 %	0 %	7 %	4 %	10 %
...fiel mir schwer	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

	gesamtes Prüfer:innen Panel			trainierte Prüfer:innen			untrainierte Prüfer:innen		
Das Geruchsrads...									
...gefällt mir sehr gut und ist ansprechend gestaltet	83 %	76 %	90 %	84 %	79 %	95 %	83 %	81 %	87 %
...gefällt mir gut	13 %	19 %	8 %	10 %	19 %	2 %	15 %	18 %	11 %
...gefällt mir weniger gut	4 %	6 %	2 %	6 %	3 %	2 %	2 %	1 %	1 %

Folgendes hätte mir bei der Anwendung geholfen / sonstige Anmerkungen:

- Bilder in der Kategorie „muffig“ sind etwas schwierig zu erkennen
- insgesamt sehr detailreich
- Drehen des Rads beim Lesen schwierig / teils schwer zu lesen
- größere Schrift wäre hilfreich, mehr Kontrast auch
- „interaktive Karte“ (z.B. auf einem Tablet)
- gute Anordnung und passende Kategorien
- zu viele Rot-Töne
- Meinungen über Bilder reichen von „sehr hilfreich und anschaulich“ bis „unnötig“
- Geruchsrads wird oftmals als intuitiv anwendbar beschrieben
- Farben ermöglichen eine schnelle Orientierung
- vor/während der Bewertung Einzelkomponenten riechen wäre hilfreich (z.B. über Sniffing Sticks)

Aus den Feedbackbögen lässt sich ableiten, dass das Geruchsrads insgesamt übersichtlich und leicht verständlich gestaltet ist und sich damit leicht bis sehr leicht anwenden lässt. Insgesamt gaben 94 % der Frauen an, dass ihnen die Anwendung des Geruchsrads leicht bis sehr leicht fiel. Im Vergleich dazu, machten 96 % der Männer dieselbe Angabe. Entsprechend gaben 6 % der Frauen und 4 % der Männer an, dass Ihnen die Anwendung nicht so leicht fiel. Wird die Gruppe der trainierten Prüfer:innen betrachtet, schätzten 100 % der Frauen und 97 % der Männer die Anwendung als leicht bis sehr leicht ein, während in der Gruppe der untrainierten 10 % der Frauen und 4 % der Männer die Anwendung als zumindest nicht so leicht empfanden. Keine:r der Prüfer:innen empfand die Anwendung des Geruchsrads als schwierig. Eine Tendenz, ob Frauen oder Männern die Anwendung leichter fällt kann damit nicht abgeleitet werden. Signifikante Unterschiede konnten nicht gefunden werden. Es ist jedoch erkennbar, dass trainierten Prüfer:innen der Umgang mit dem Geruchsrads etwas leichter fällt, als untrainierten Prüfer:innen.

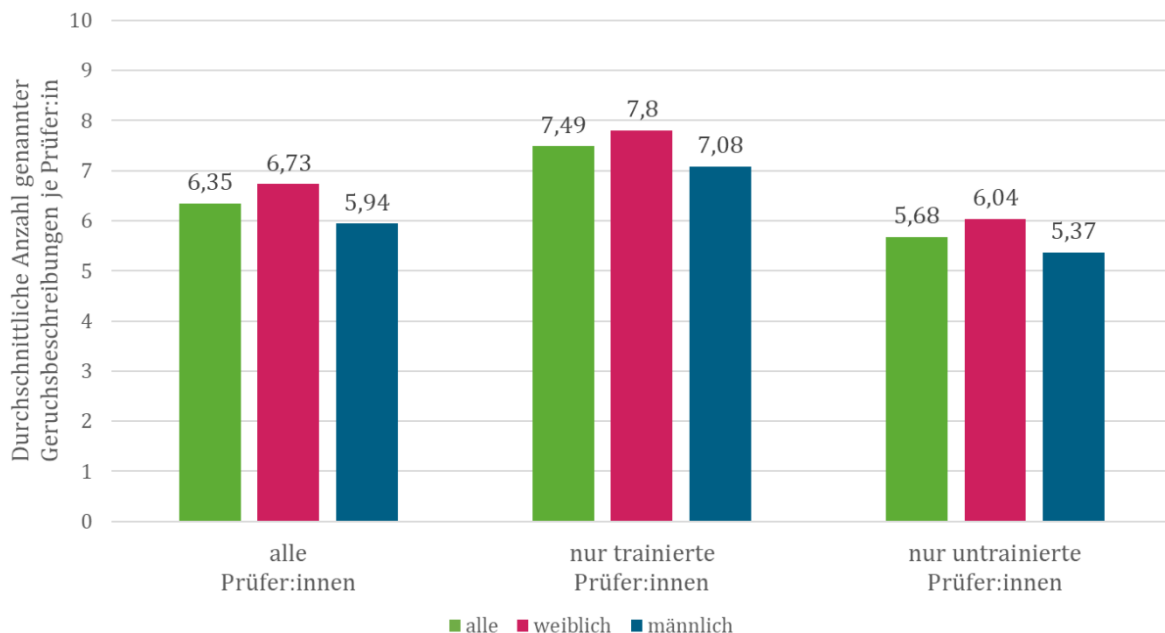
Es lässt sich weiterhin eine leichte Tendenz erkennen, dass Frauen das Geruchsrads als ansprechender gestaltet einstufen, als Männer. Insgesamt wurde das Geruchsrads als gut bis sehr gut bewertet. Weniger als 10 % der Befragten gefiel das Geruchsrads insgesamt weniger gut.

Eine der Hauptkritiken am Geruchsrads betraf die Lesbarkeit der Geruchsscharaktere insbesondere aufgrund der Schriftgröße und der Ausrichtung der Schrift, die es laut Prüfer:innen nötig machte, das Geruchsrads zu drehen, um es lesen zu können. Diese Problematik wurden durch eine eindeutige Kennzeichnung der vorgesehenen Ausrichtung des Geruchsrads direkt behoben. Weiterhin waren einige Bilder, insbesondere in der Kategorie „muffig“ schwer zu erkennen. Insgesamt reichten die Bewertungen der Bilder von „sehr hilfreich und anschaulich“ bis hin zu „unnötig“. Je nach Geruchsnote wurden die Bildwelten also sehr gut angenommen, oder die Prüfer:innen kamen ohne Bebilderung ebenfalls gut zurecht.

3.5.3 Ergebnisse der Raumbewertungen mittels Geruchsrads

Bei den Raumbewertungen wurden durch die Prüfer:innen solche Geruchscharaktere im Geruchsrads markiert, die von ihnen im Raum wahrgenommen wurden. Für die Zusammenstellung dieser Geruchsbewertungen durch Prüfer:innen mittels Geruchsrads wurden alle vorgenommenen Nennungen berücksichtigt. Die ersten beiden Innenräume wurden zunächst mit der Version 1 des Geruchsrads bewertet (vgl. Abbildung 11 in Kapitel 3.3.2 bzw. Abbildung 90 in Anhang E.1), während ab dem dritten Raum mit der Version 2 (vgl. Abbildung 13 in Kapitel 3.3.3 bzw. Abbildung 91 in Anhang E.2) bewertet wurde. Eine grafische Zusammenstellung der Ergebnisse der jeweiligen Räume findet sich in den folgenden Abbildungen (Abbildung 16 bis Abbildung 36). Dabei sind die nicht von Prüfer:innen gewählten Geruchsnoten, Deskriptoren und Kategorien ausgegraut. Genannte Geruchscharaktere hingegen enthalten die Anzahl der Nennungen durch Prüfer:innen in Klammern (). Zusätzlich sind die Anzahl an genannten Geruchscharakteren von Frauen (in **rot**, z. B. **11w**) und von Männern (in **blau**, z. B. **11m**) aufgeführt. Für die Bewertung der Innenräume ergibt sich insgesamt die in Tabelle 10 (im Kapitel 3.5.1) dargestellte Verteilung zwischen Männern und Frauen sowie zwischen trainierten und untrainierten Prüfer:innen. In der folgenden Abbildung 15 finden sich die mittleren Antwortzahlen der Prüfer:innen auf dem Geruchsrads. Im Mittel wurden von jeder Prüferin bzw. jedem Prüfer 6,35 Geruchscharaktere bzw. Felder auf dem Geruchsrads ausgewählt. Im Mittel wurden durch Prüferinnen 0,79 mehr Antworten als durch Prüfer gegeben. Deutlich wird ebenfalls, dass trainierte Prüfer:innen im Schnitt 1,7-1,8 mehr Antworten gaben, als untrainierte Prüfer:innen.

Abbildung 15: Durchschnittliche Anzahl an genannten Geruchsbeschreibungen im Geruchsrads je Prüfer:in über alle 3 Ebenen.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

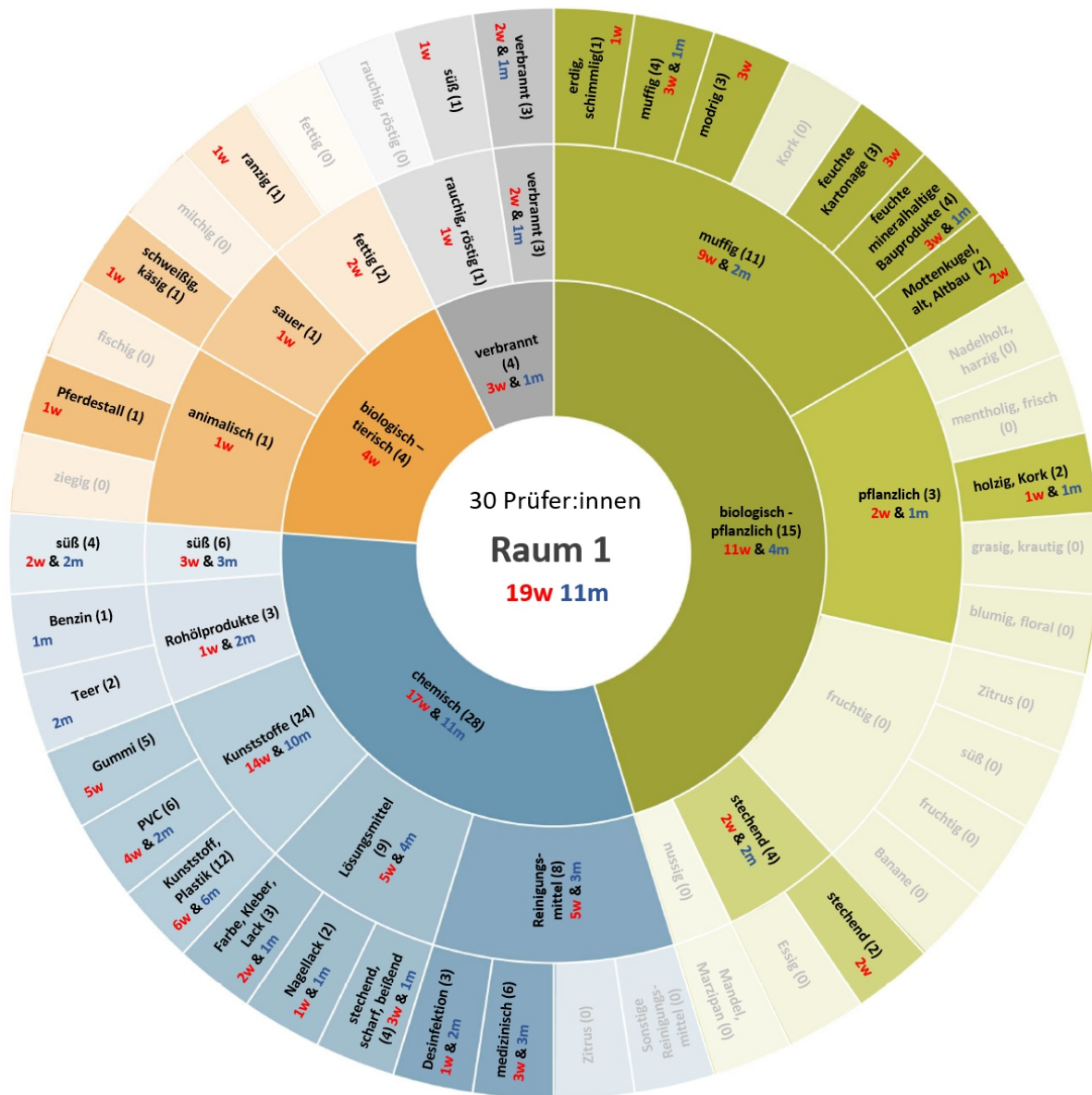
Eine detailliertere, tabellarische Aufschlüsselung der Antwortzahlen mit zusätzlicher Unterteilung nach Geschlecht, Trainingsstatus und entsprechend der Ebenen im Geruchsrads findet sich in Tabelle 93 im Anhang H.

In den folgenden Abbildungen finden sich die Geruchsräder der 21 bewerteten Innenräume, in denen die Anzahl der Nennungen durch Prüfer:innen vermerkt sind.

Ein Abgleich der Geruchsbewertungen durch Prüfer:innen mittels Geruchsrads mit den jeweils hinterlegten Substanzen findet sich im Kapitel 3.6.

Abbildung 16: Geruchsradanwendung (Version 1) Raum 1.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.



Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 17: Geruchsradanwendung (Version 1) Raum 2.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.

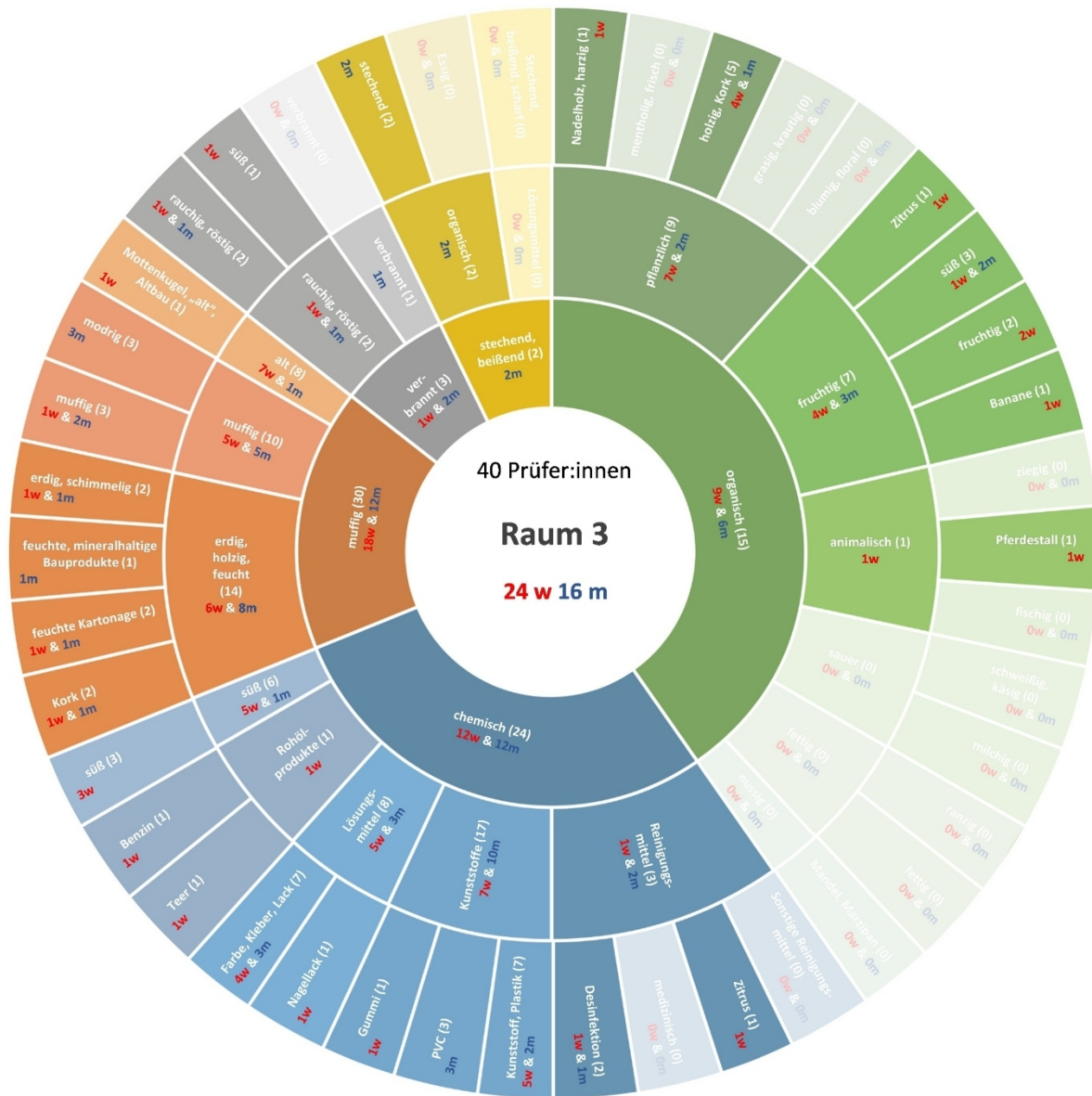


Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 18: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 3.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.

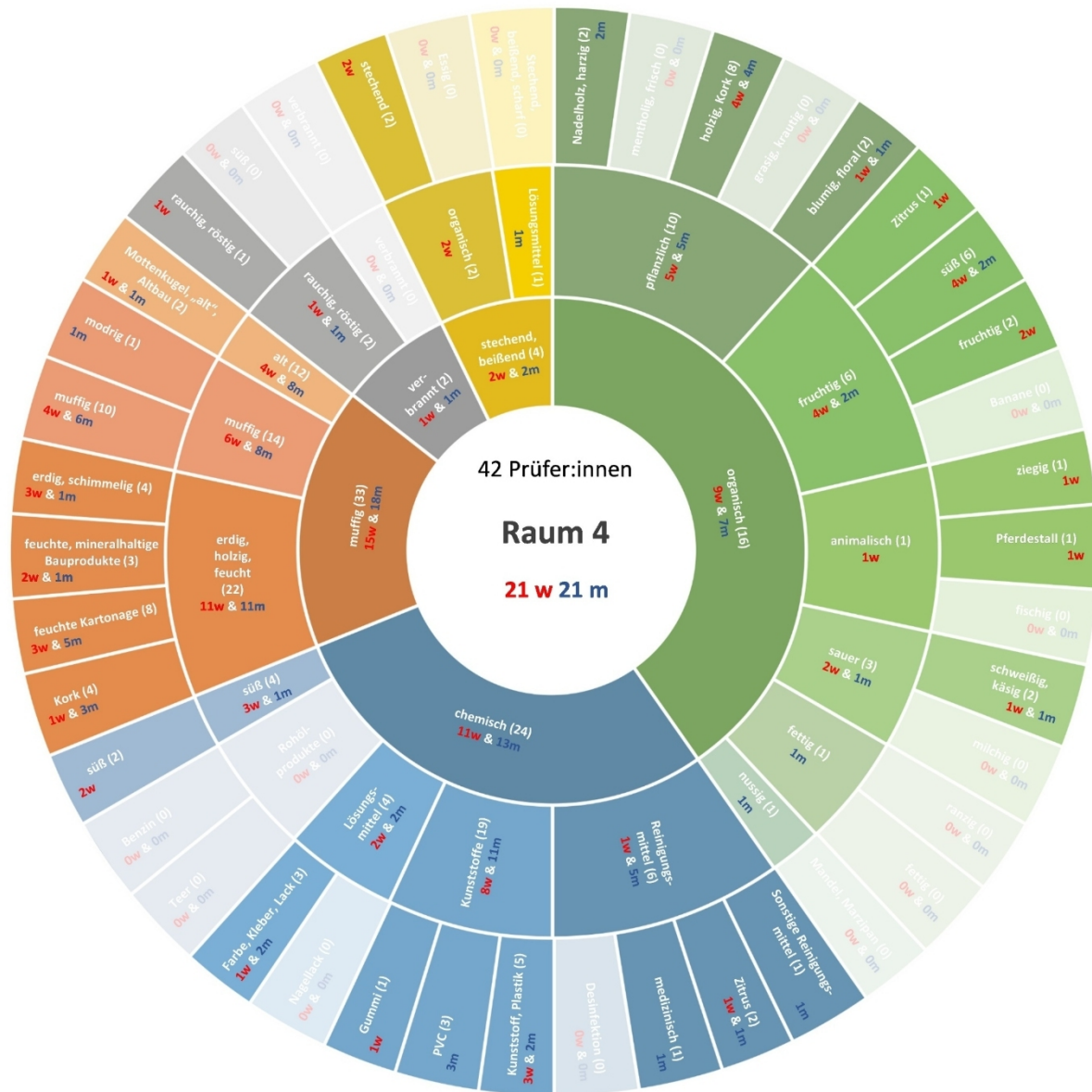


Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 19: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 4.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.

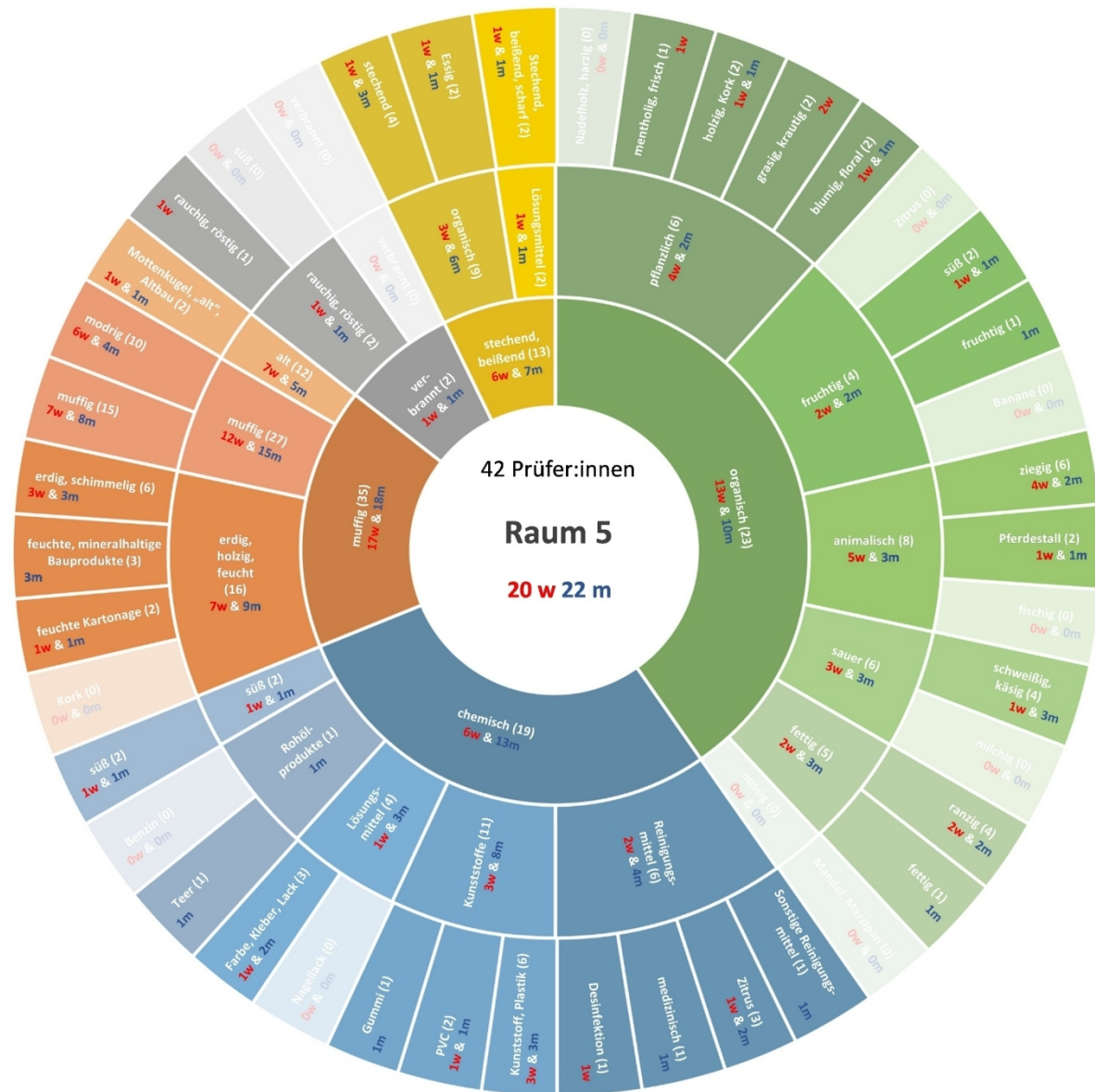


Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 20: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 5.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.

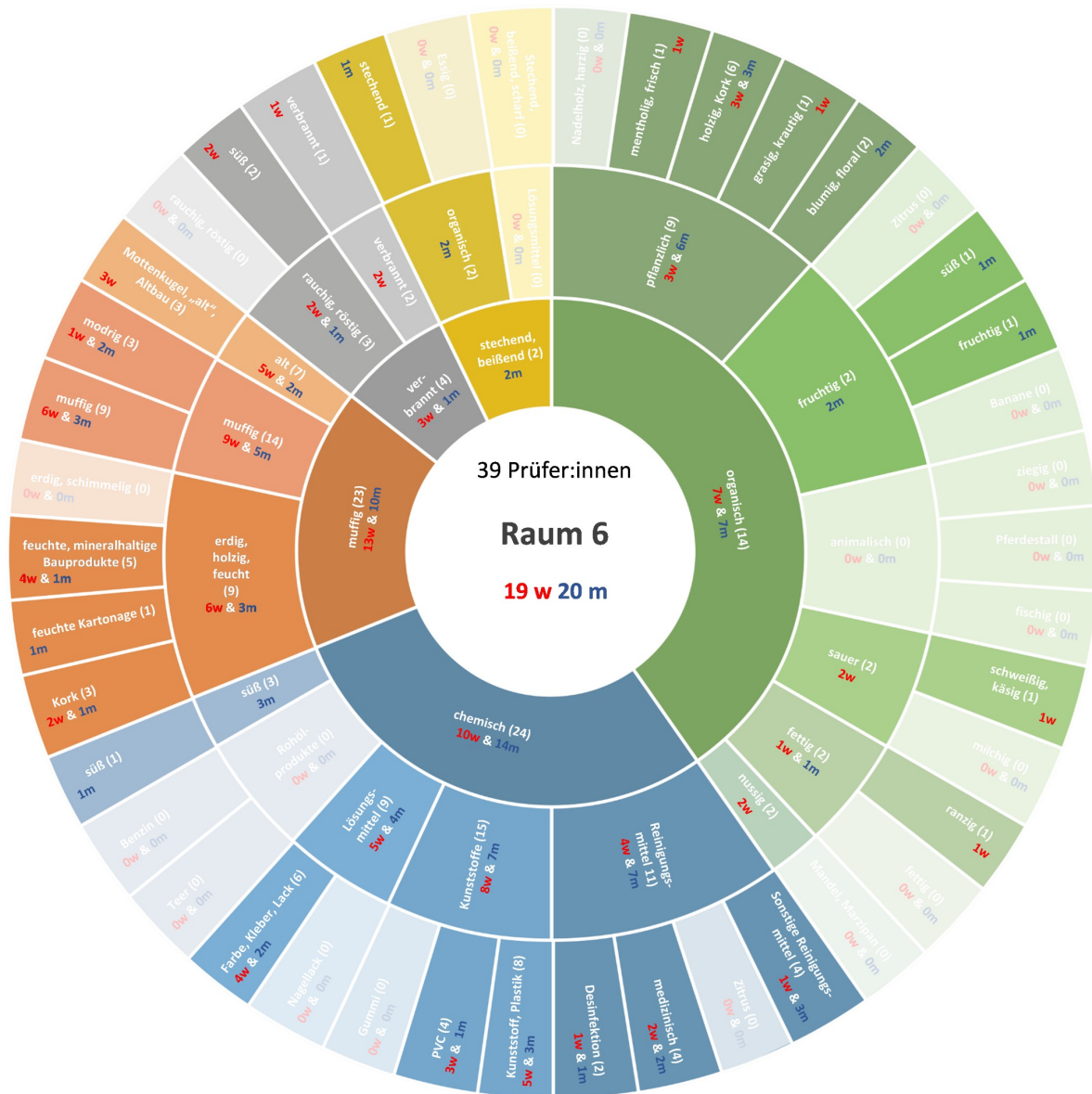


Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 21: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 6.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.

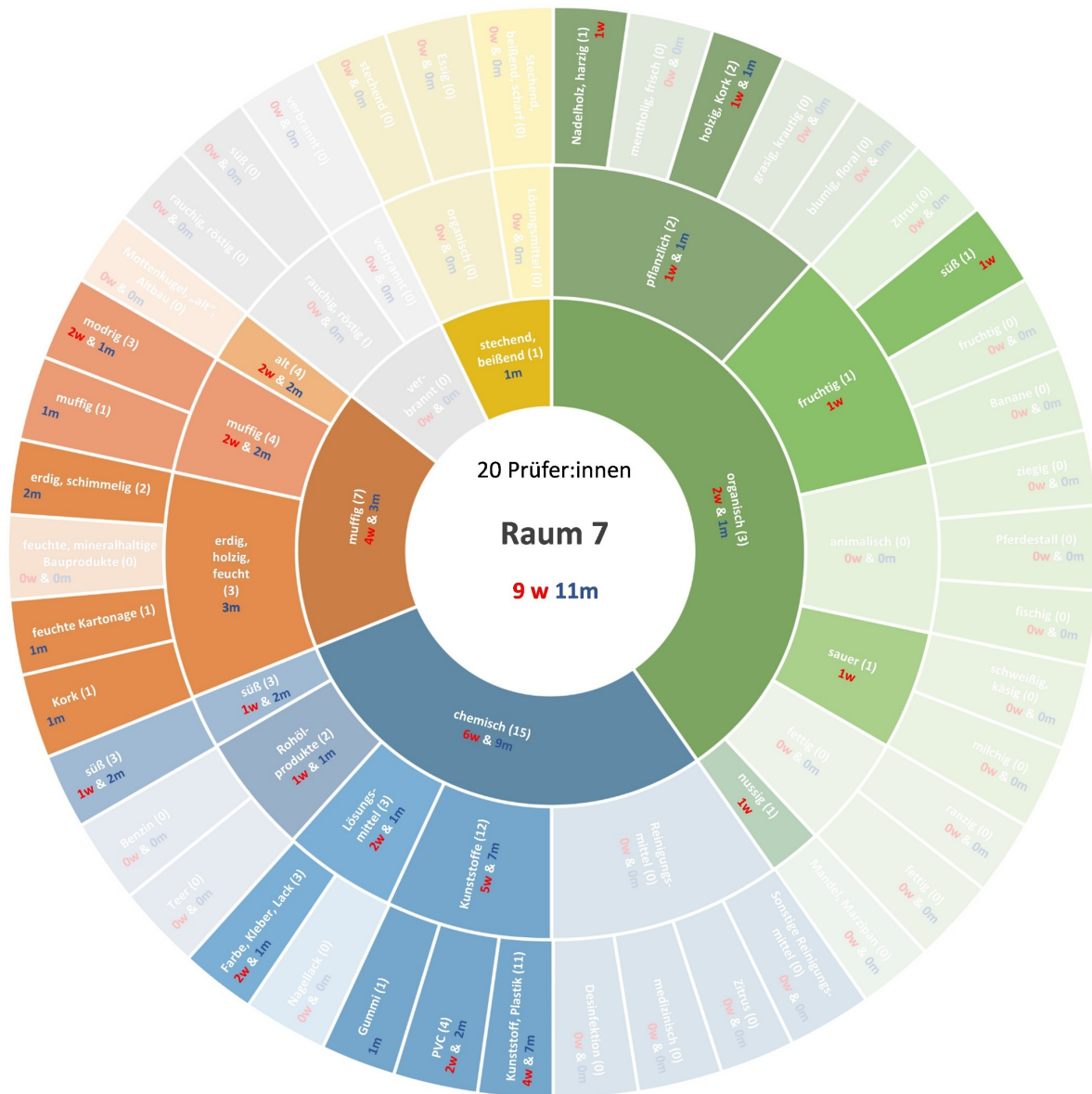


Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 22: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 7.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.

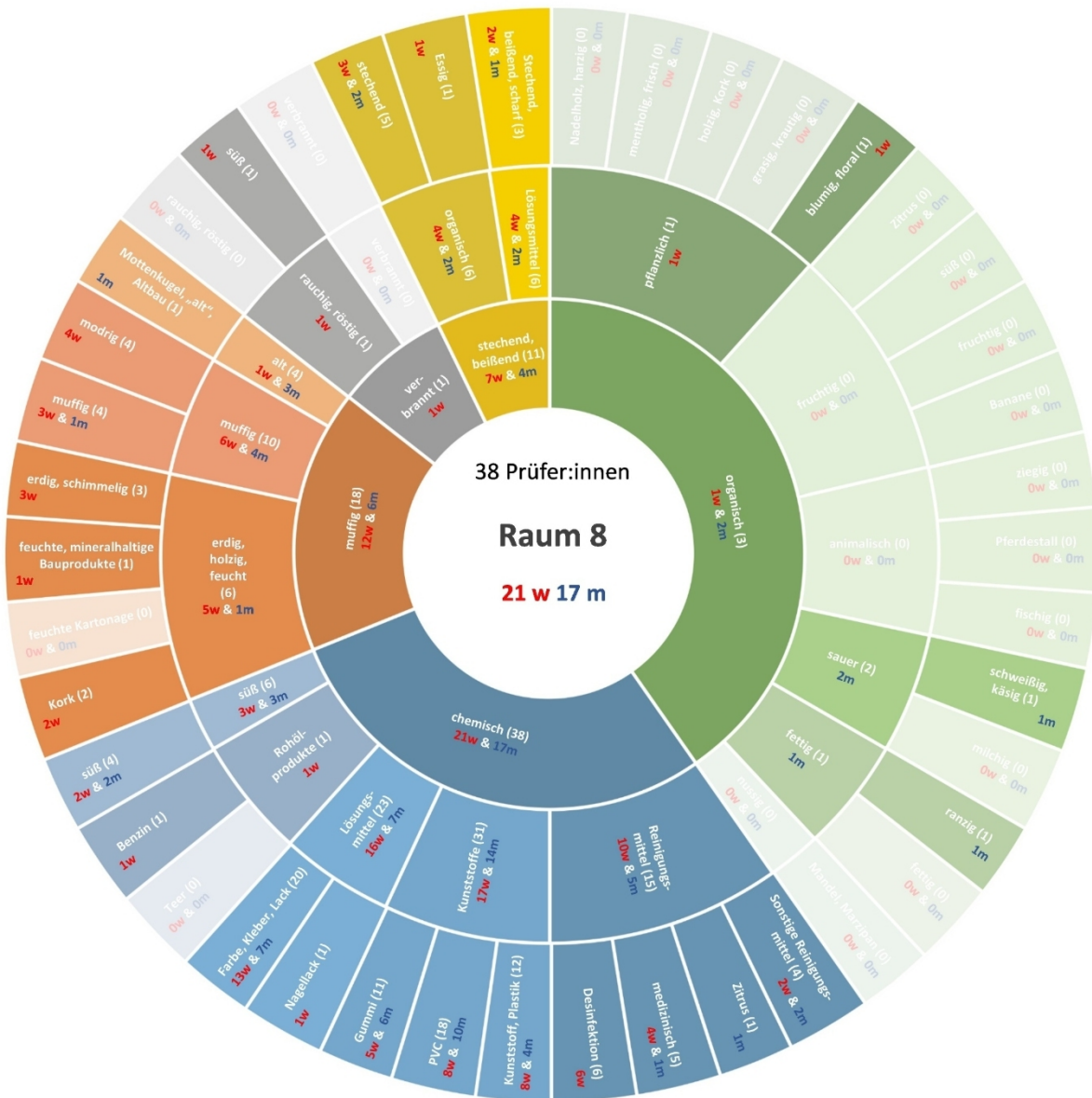


Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 23: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 8.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.

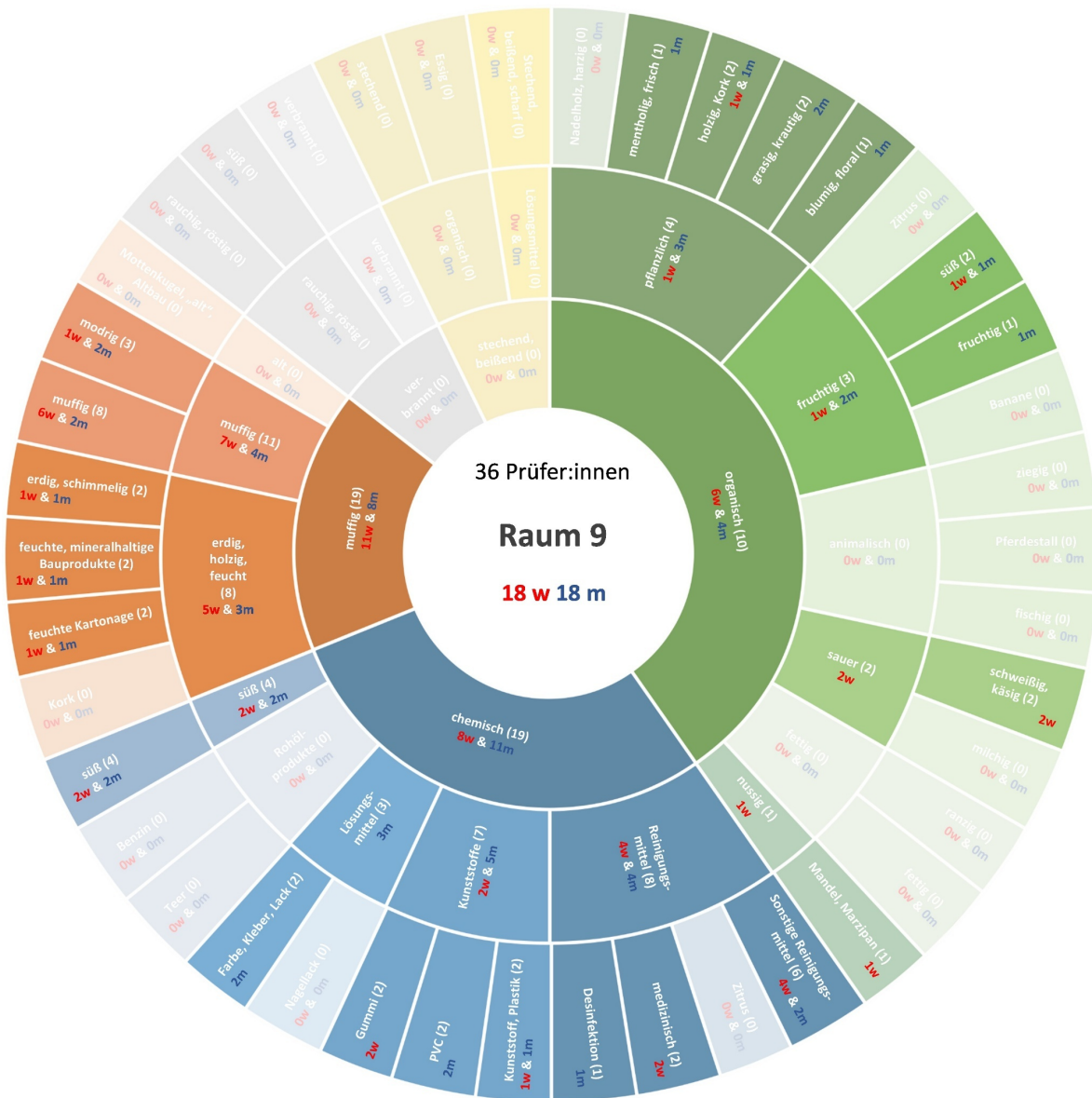


Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 24: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 9.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.

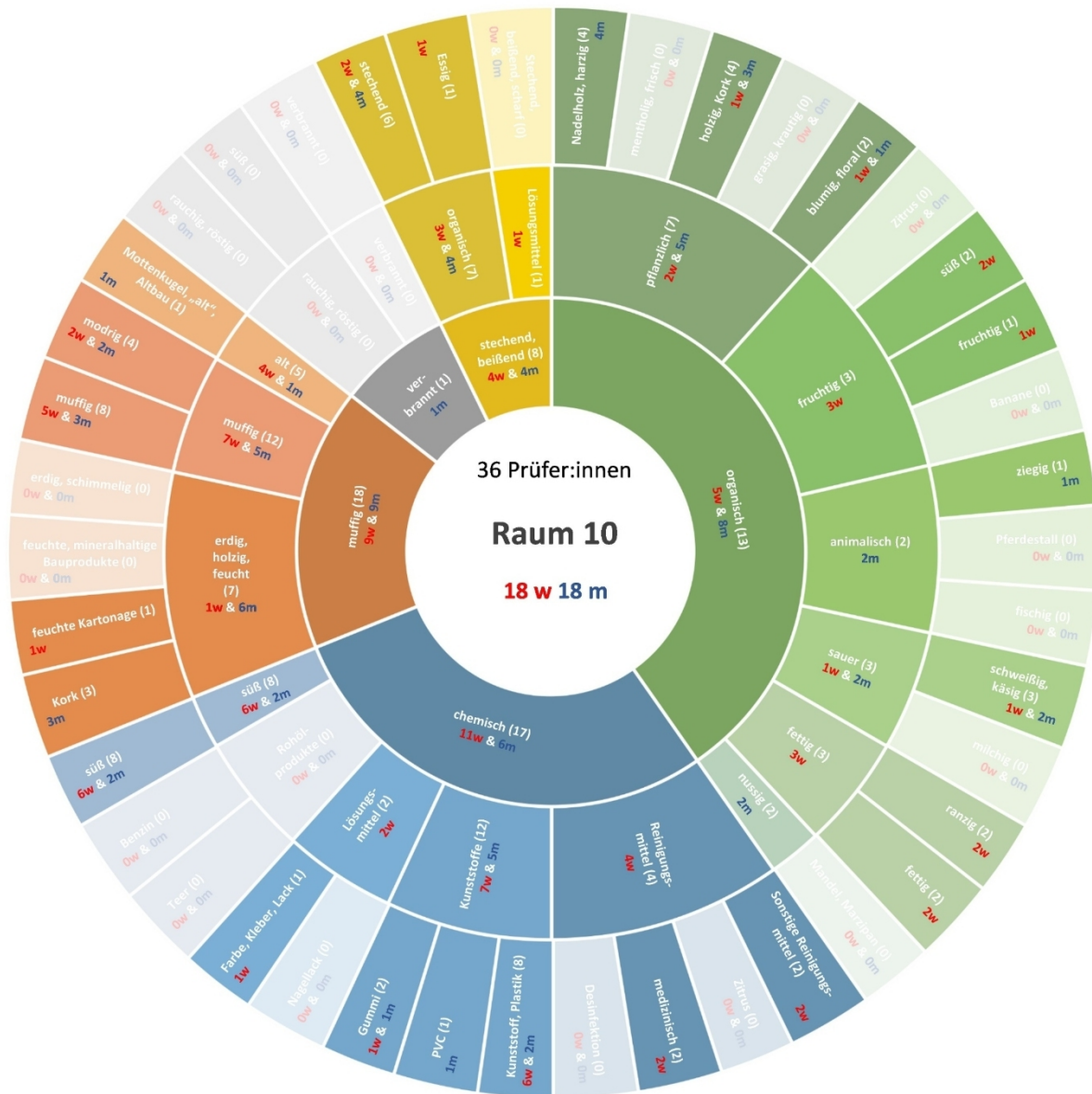


Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 25: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 10.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.

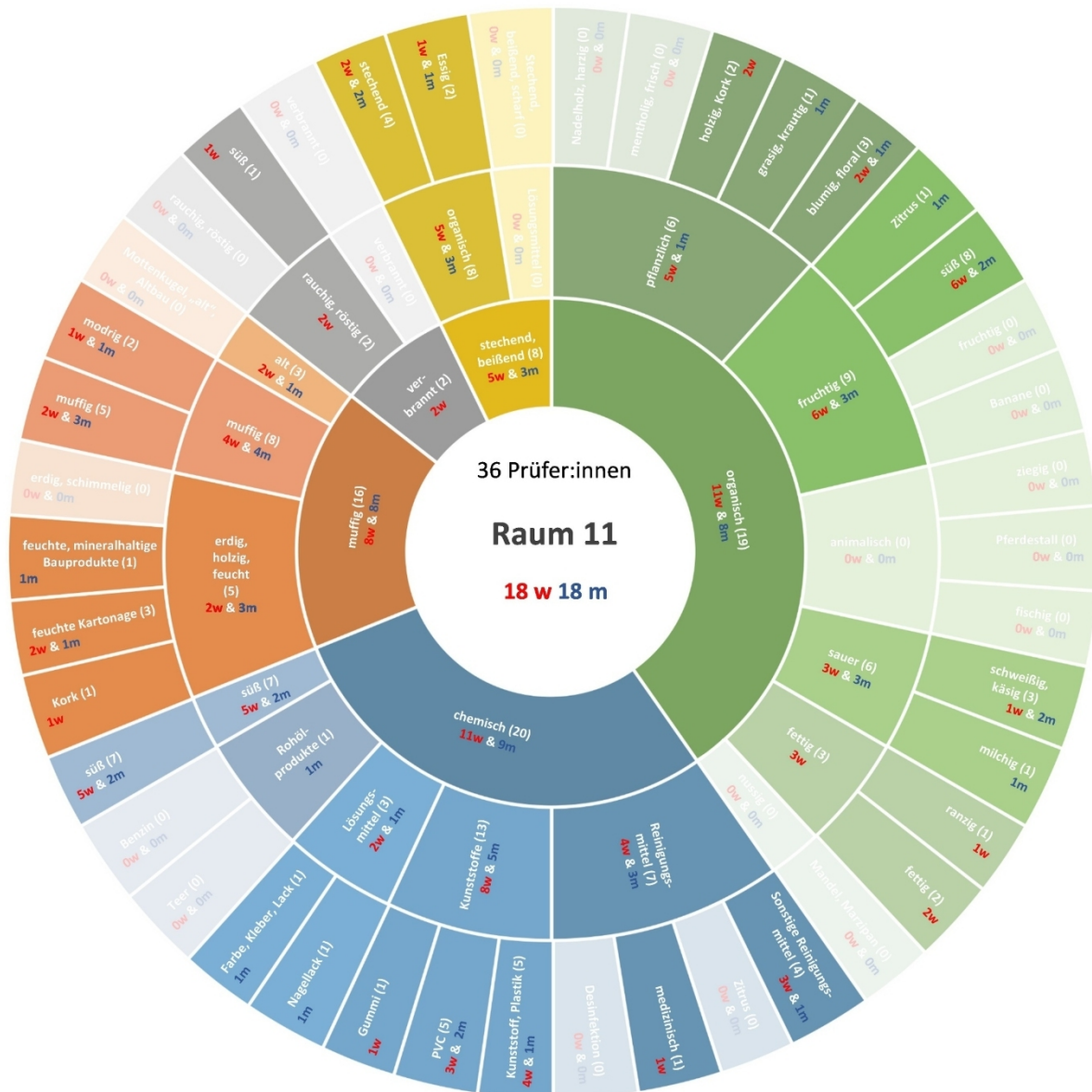


Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 26: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 11.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.

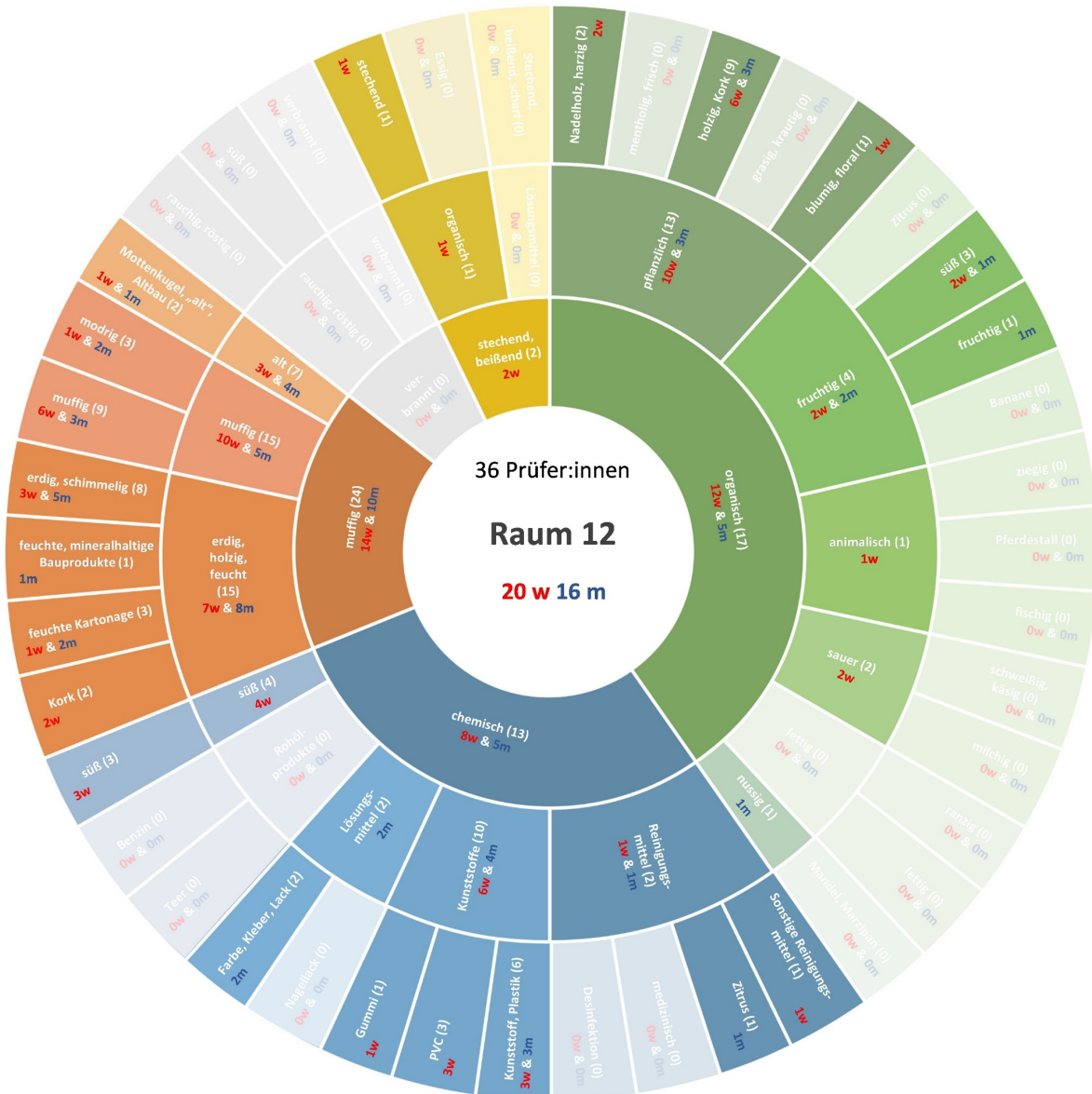


Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 27: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 12.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchsscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.

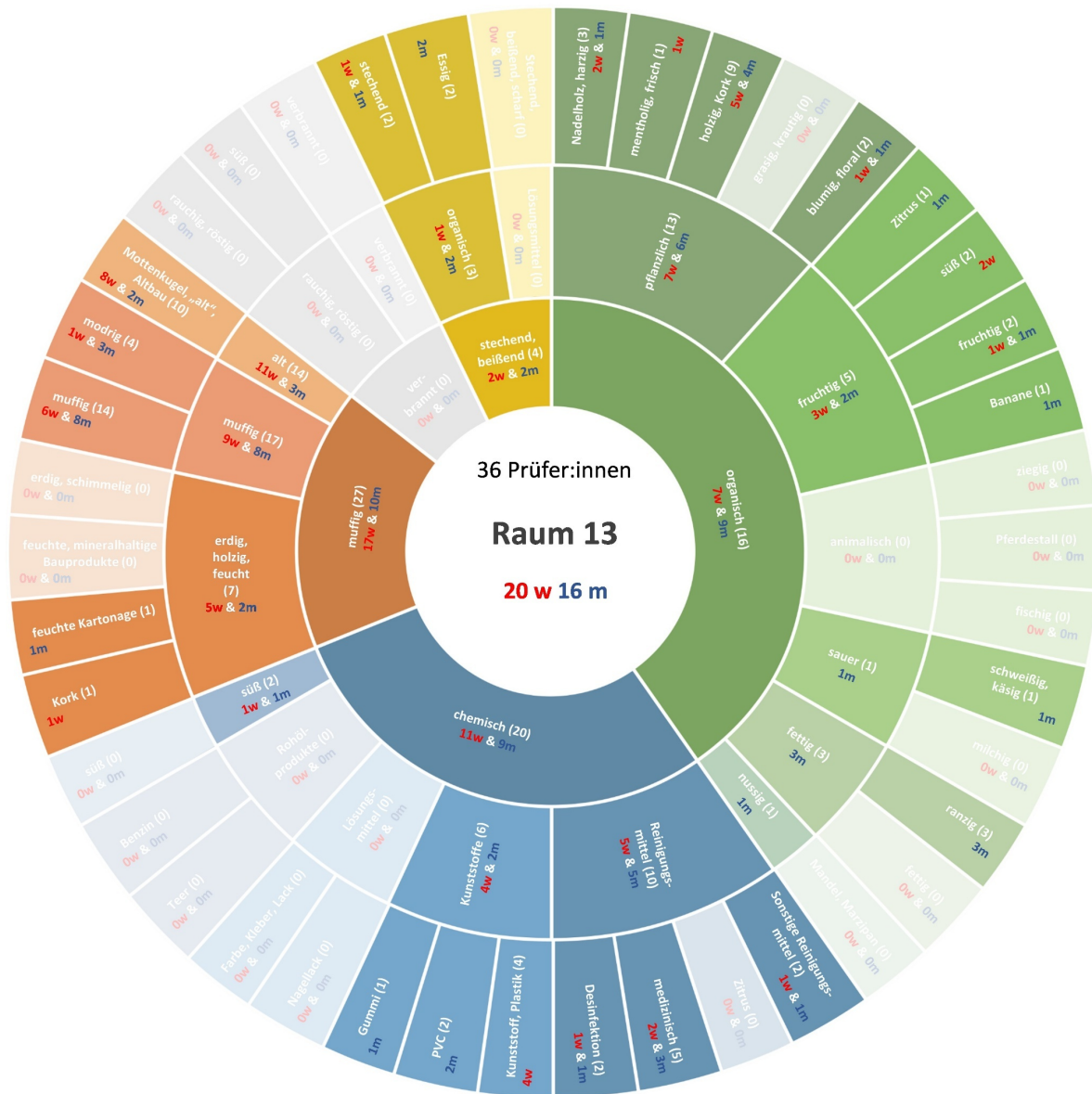


Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchsscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchsscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 28: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 13.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.

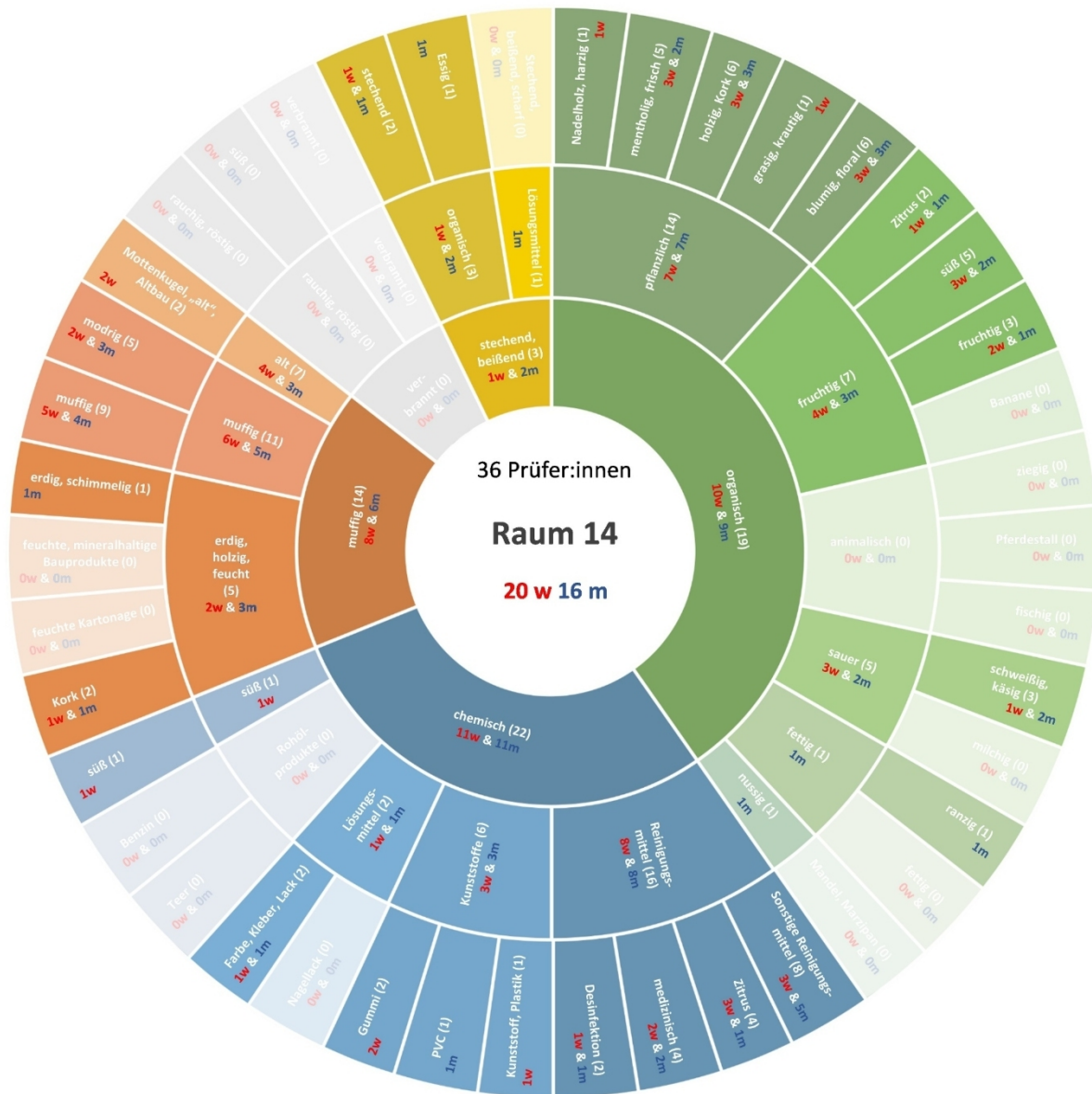


Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 29: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 14.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.

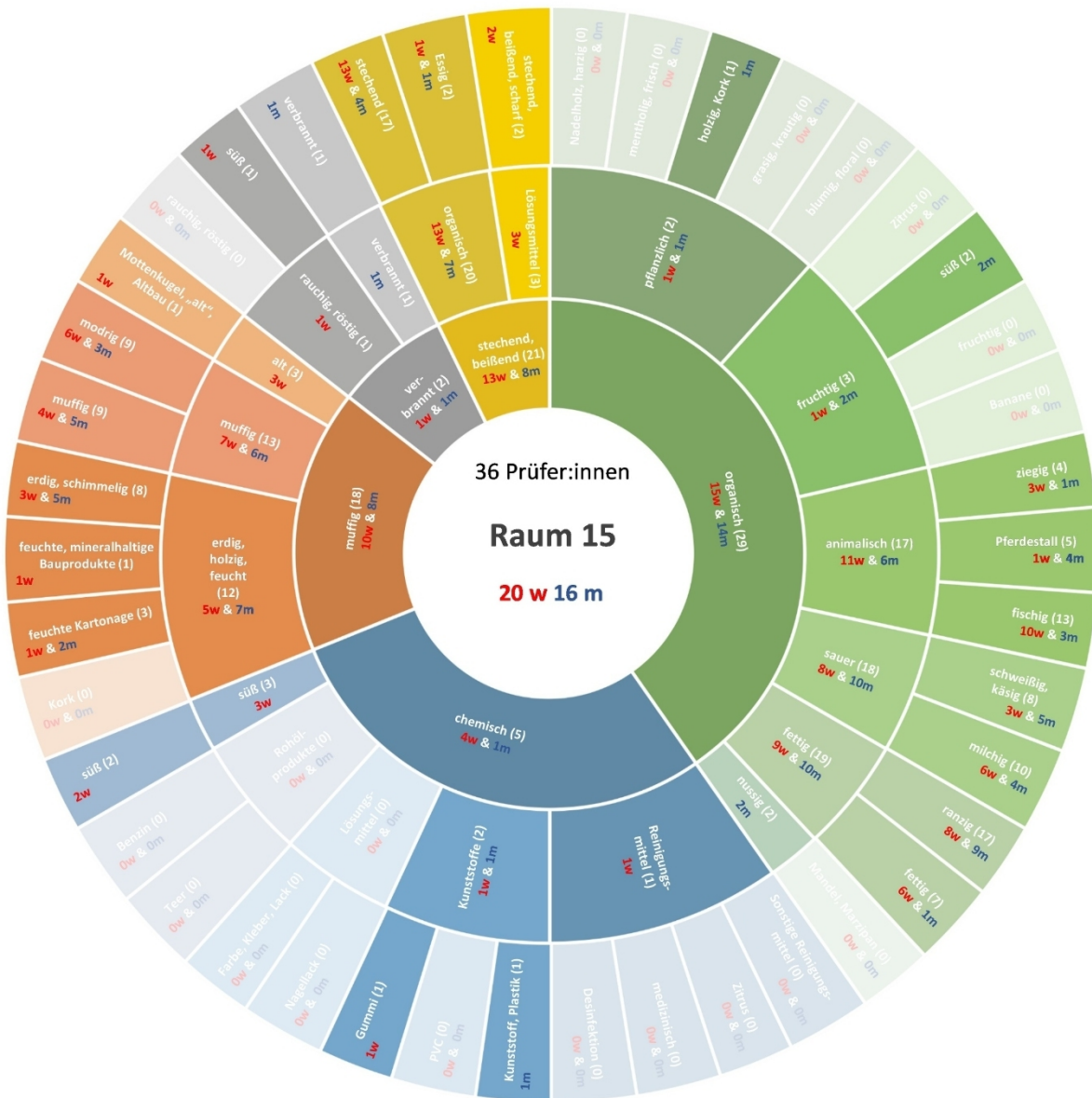


Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 30: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 15.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.

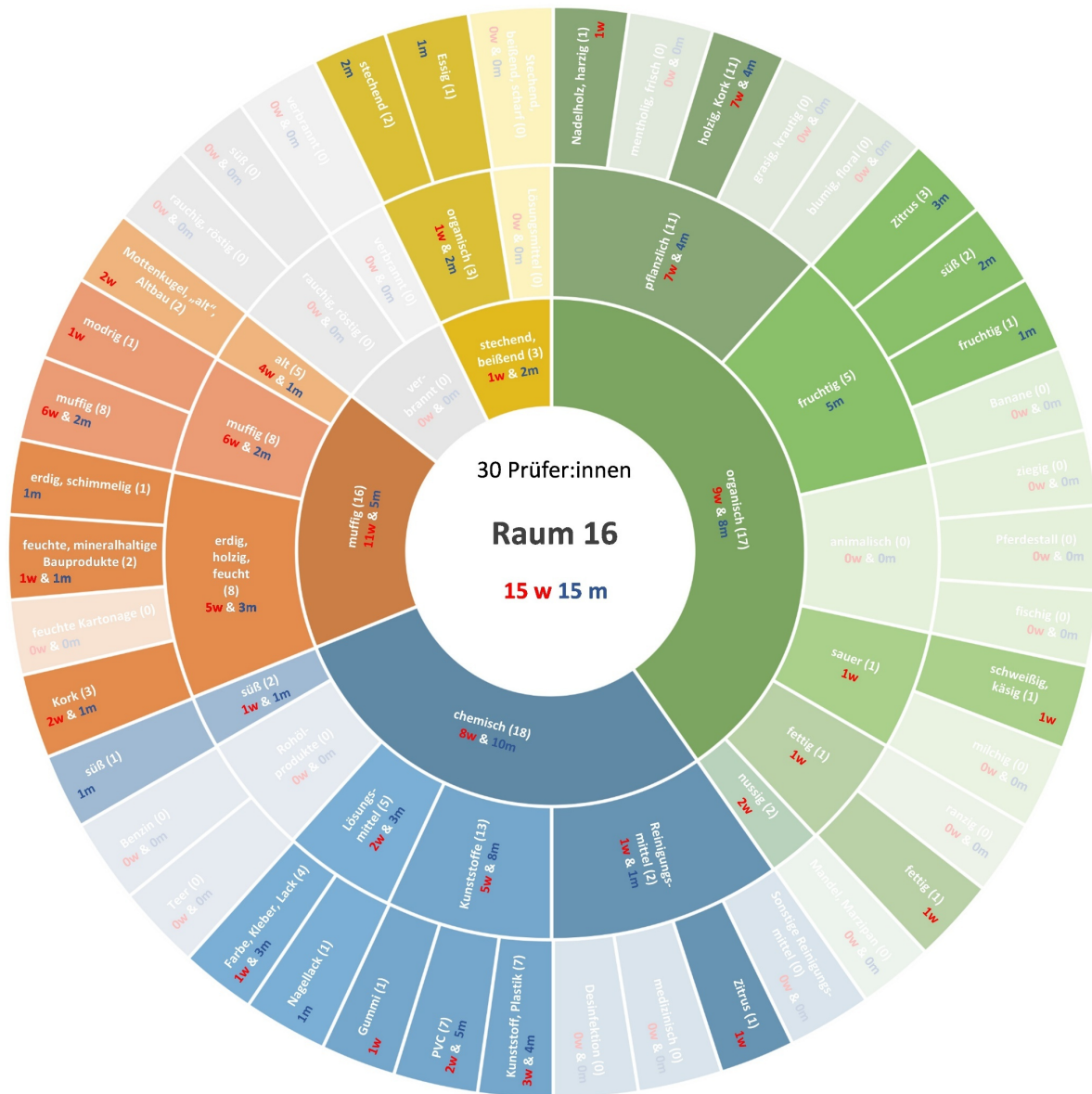


Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 31: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 16.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.

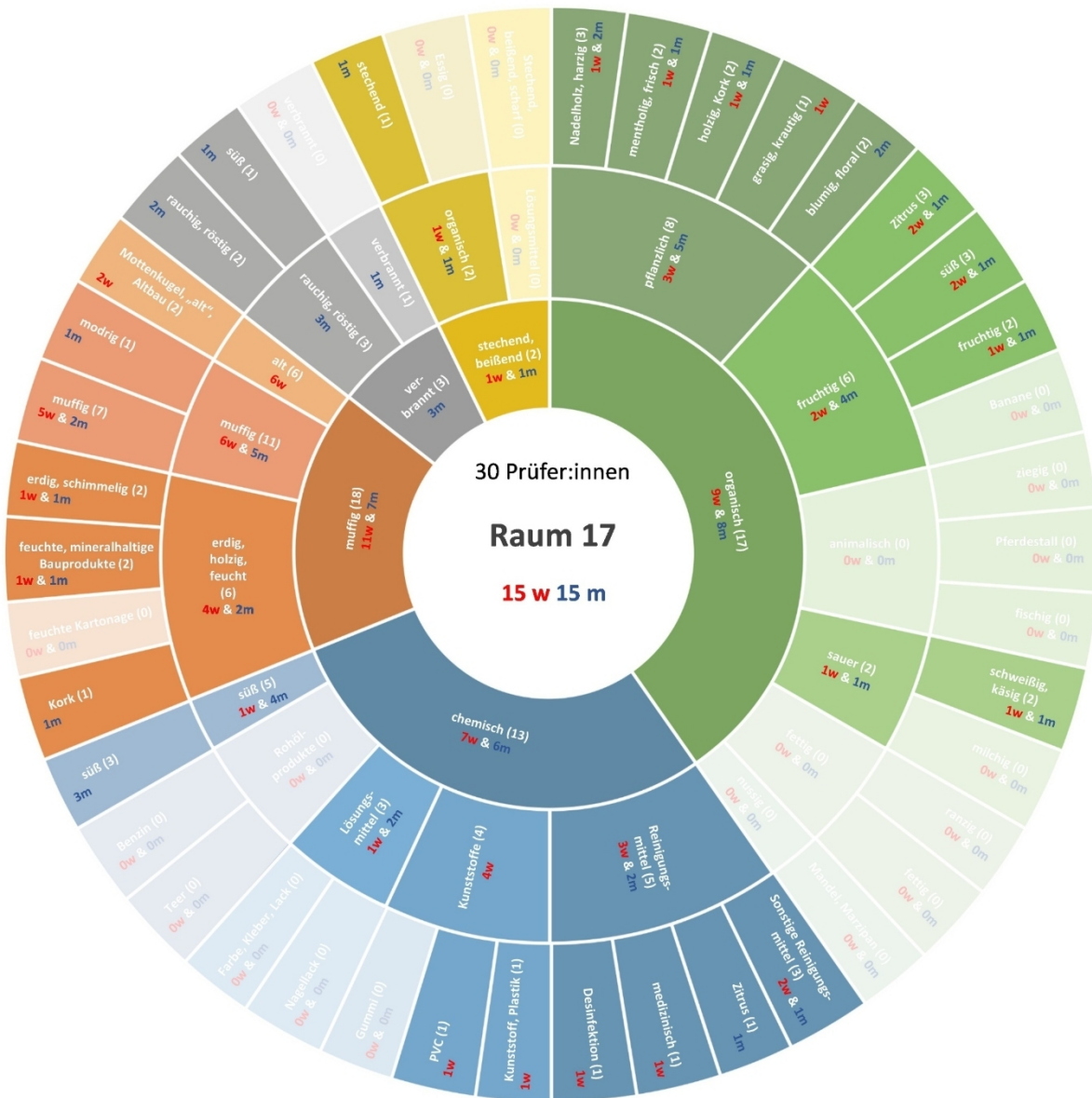


Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 32: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 17.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.

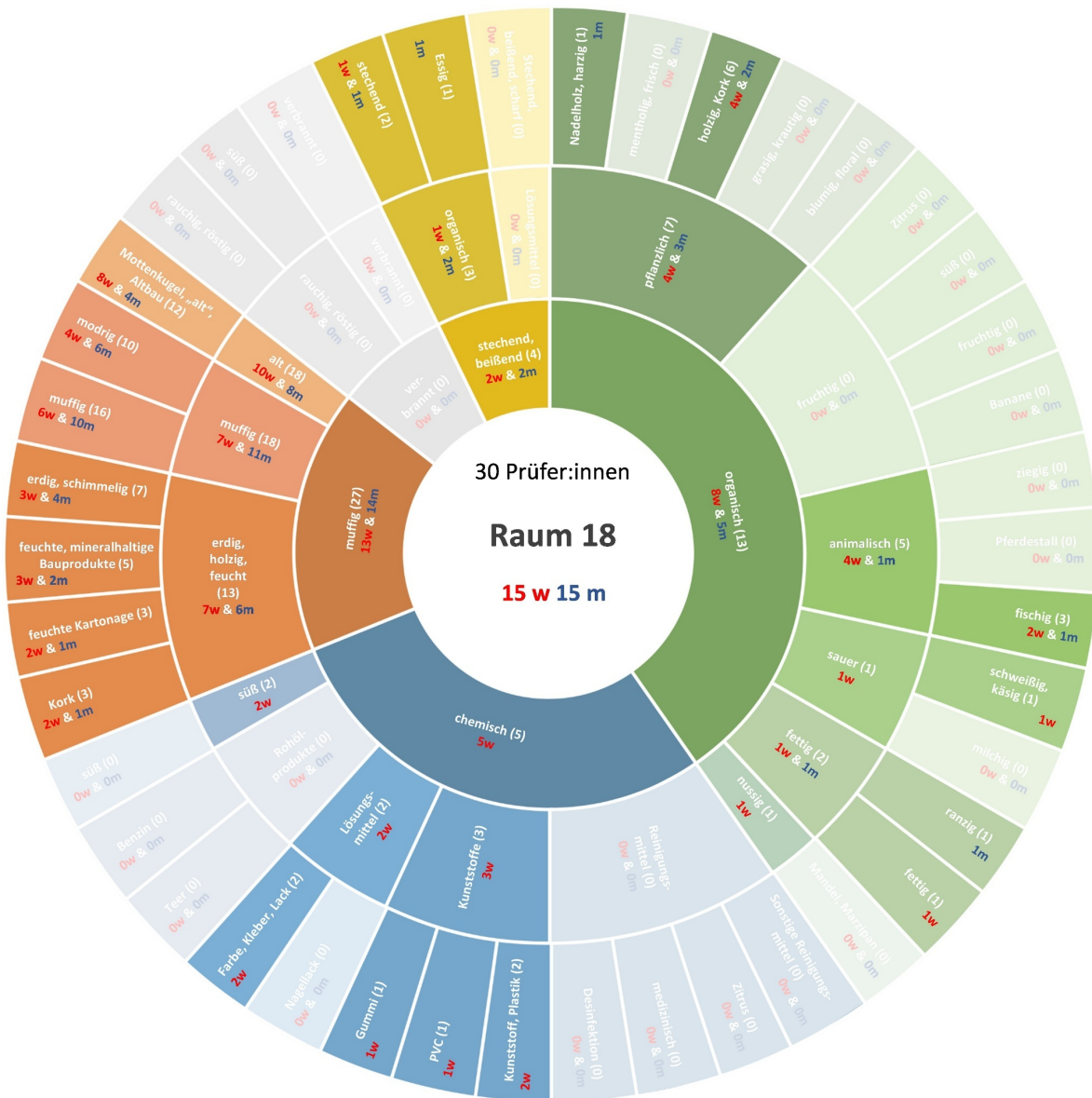


Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 33: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 18.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.

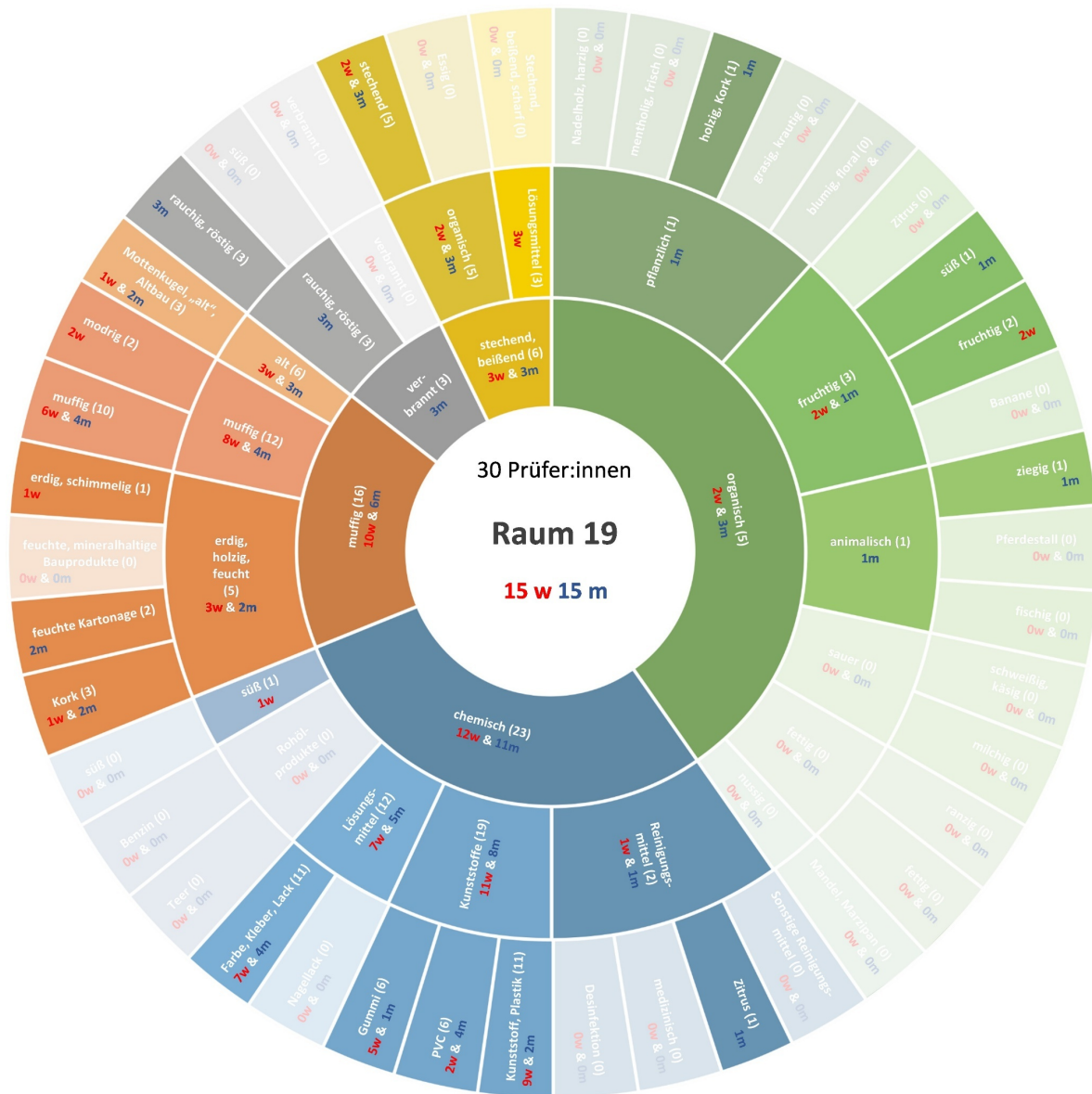


Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 34: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 19.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchsscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.

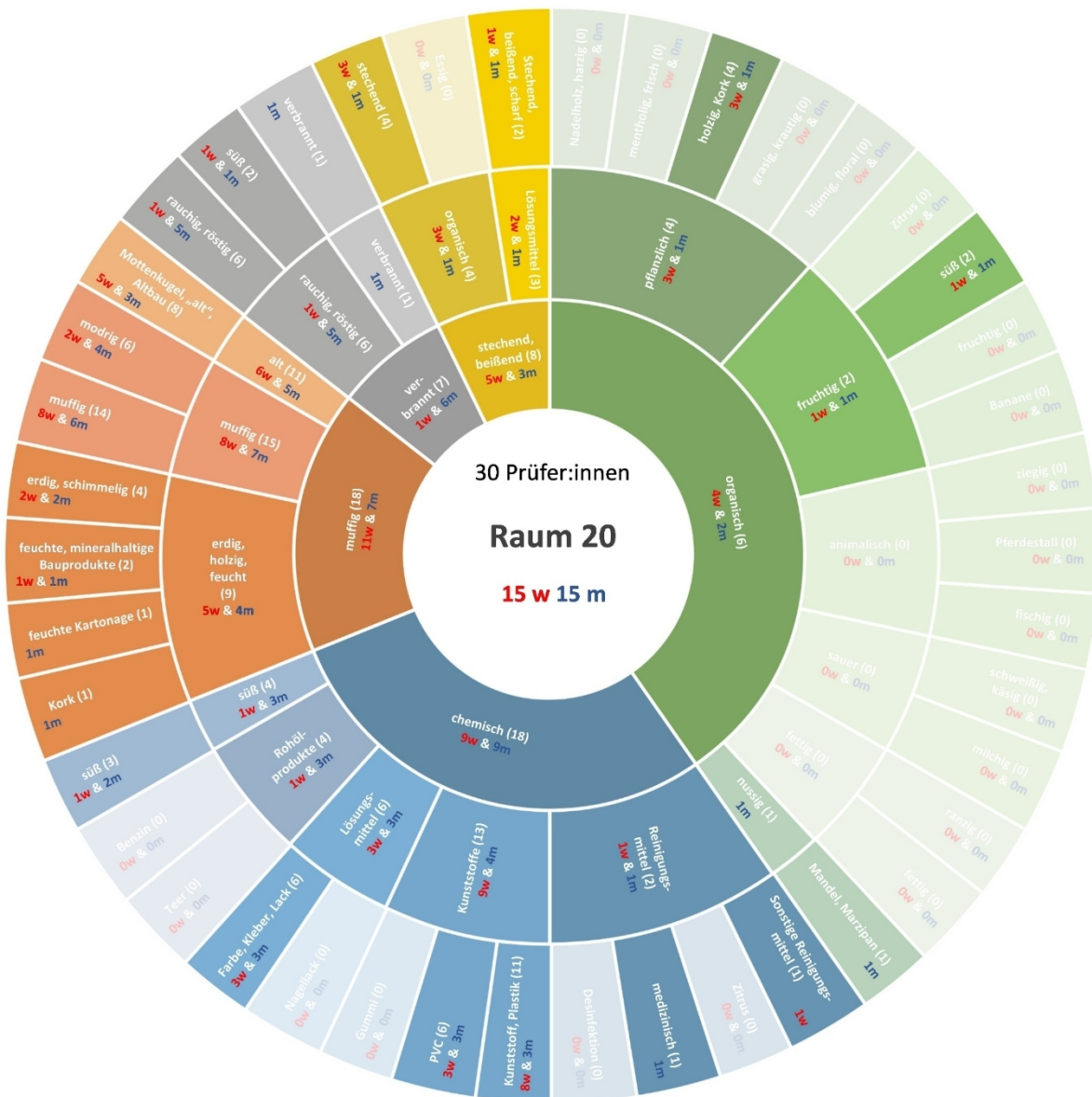


Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchsscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchsscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 35: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 20.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.

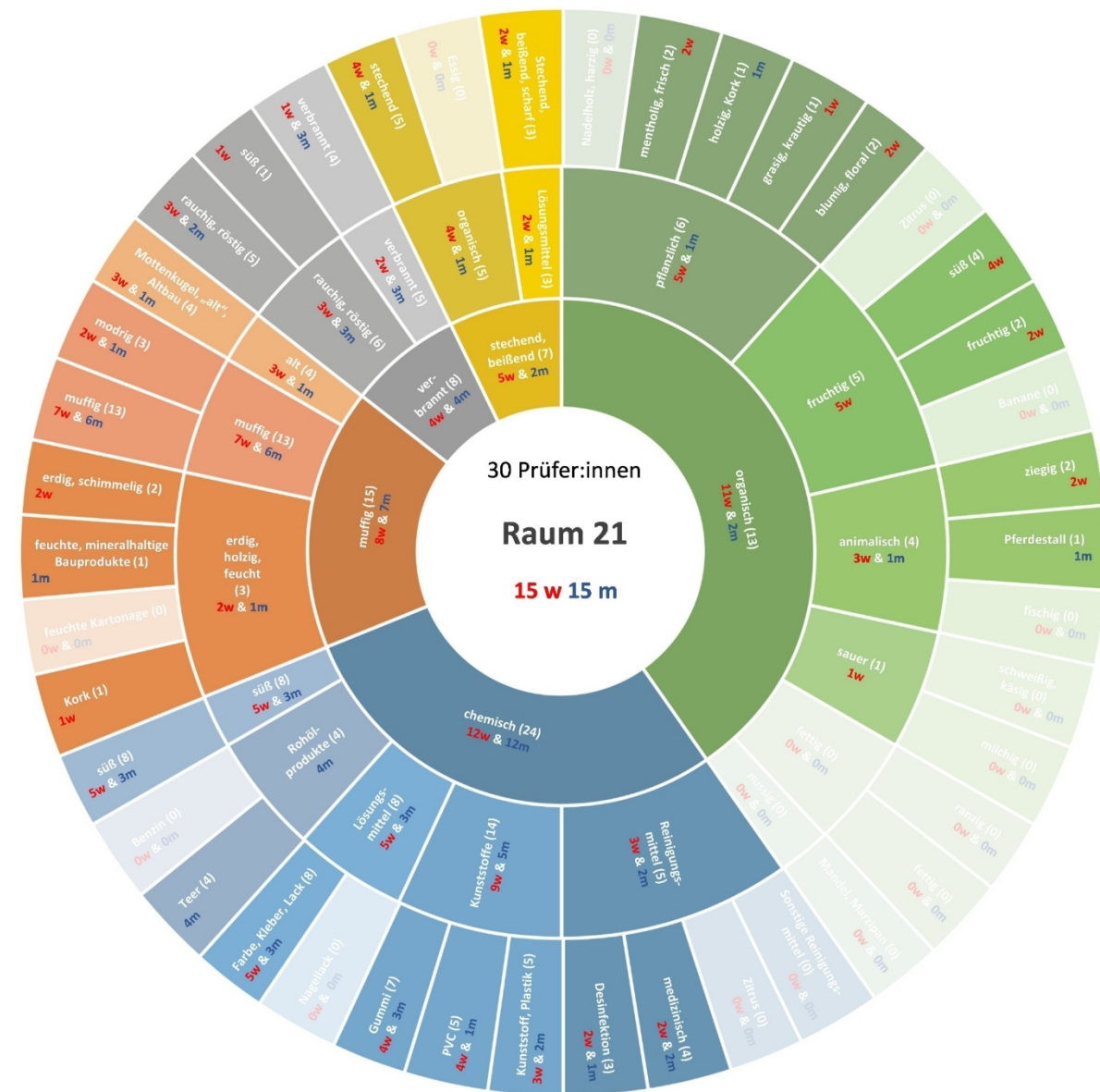


Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 36: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 21.

Zusammenfassung der Nennungen einzelner Geruchscharaktere aller Prüfer:innen bei der Raumbewertung mittels Geruchsrads.



Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen des Geruchscharakters an, während rote und blaue Zahlen die Anzahl an Nennungen des Geruchscharakters durch Frauen bzw. Männer angeben.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

3.6 Vergleich humansensorischer, chemisch-analytischer und sensorisch-analytischer Geruchsbewertungen

Die Ergebnisse der rein humansensorischen Bewertung mittels Geruchsrads, die rein analytischen Detektionen mittels HPLC und GC-MS sowie die sensorisch-analytischen Geruchsbewertungen mittels GC-MS-Sniffing aus den geruchlich belasteten Innenräumen sind in den Tabellen im Anhang I zusammengestellt. Hier werden analytisch bestätigte Substanzen und im GC-MS-Sniffing gefundene Geruchsscharen den im Geruchsrads hinterlegten 64 Substanzen zugeordnet (siehe Tabelle 95 bis Tabelle 97 im Anhang I). Weiterhin sind in Tabelle 98 im Anhang J zusätzlich gefundene Substanzen und Geruchseindrücke gelistet.

In Tabelle 95 bis Tabelle 97 im Anhang I sind allen 64 Substanzen des Geruchsrads die eingangs ermittelte Relevanz einer jeden Substanz im Innenraum sowie Substanznamen und CAS-Nummern zugeordnet. Mittels eines „x“ sind je Raum Substanzen markiert, die in der HPLC oder GC-MS oberhalb der Nachweis- und Bestimmungsgrenze detektiert wurden, aber mindestens ein Zehntel der angenommenen Geruchsschwelle erreichten. Für die 5 L Probenahmevolumen in den Innenräumen beläuft sich die Nachweisgrenze für den Referenzstoff Toluol-d8 auf $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und die Bestimmungsgrenze auf $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Detektionen von Substanzen bzw. Geruchseindrücken im GC-MS-Sniffing wurden mittels „o“ markiert. Die Zuordnung zu einzelnen Substanzen erfolgte dabei auf Basis der Retentionszeit und des Geruchsscharen der Substanzen, auch wenn diese unterhalb der Nachweisgrenze der GC-MS lagen und sich damit in der GC-MS nicht wiederfinden ließen. Solche Substanzen sind entsprechend nur mittels „o“, nicht aber mit „x“ markiert.

Lassen sich die Bewertungen durch Prüfer:innen im Geruchsrads den einzelnen Substanzen zuordnen, so sind diese in der Tabelle 95 bis Tabelle 97 im Anhang I mit einem „P“ markiert.

Über die Zusammenstellung aller drei Datensätze lässt sich ein Überblick darüber gewinnen, inwieweit die rein humansensorische Bewertung mittels Geruchsrads Überschneidungen mit der sensorisch-analytischen und rein analytischen Untersuchung der Innenräume aufweist. Für Substanzen, die mehreren Geruchsnoten zugrunde liegen, werden diese Überschneidungen in Abhängigkeit der Geruchsnoten überprüft. Wurden also beispielsweise „x“ und „P“ oder „o“ und „P“ für eine Substanz und die entsprechende beschreibende Geruchsnote zusammen in Kombination gefunden, ist dies ein Nachweis dafür, dass die analytisch bestätigte Substanz im Raum sich entsprechend über das Geruchsrads wiederfinden lässt.

Eine Übersicht über die Anzahl an Überschneidungen je Kombination aus Geruchsnote und Einzelsubstanz findet sich in der folgenden Tabelle 12. Am Beispiel n-Butylacetat lässt sich erkennen, dass je nach Geruchsnote, eine Vielzahl an Überschneidungen (15 für die Kombination aus n-Butylacetat und der Geruchsnote „Farbe, Kleber, Lack“) oder nur eine sehr geringe Anzahl an Überschneidungen (2 für die Kombination aus n-Butylacetat und der Geruchsnote „Banane“) vorhanden ist. Diese Diskrepanzen lassen sich beispielsweise über die unterschiedliche Geruchswahrnehmung einzelner Substanzen in unterschiedlicher Konzentration erklären, aber auch über die Wechselwirkungen zwischen (Geruchs-)Stoffen untereinander (Maskierung / Abschwächung, Verstärkung, Veränderung). Die Überschneidungen zwischen Substanzen und Geruchsradsbewertungen könnten also ein Treffer im Sinne der Anwendbarkeit und Wiederfindung für n-Butylacetat im Geruchsrads sein. Da die Konzentrationen für n-Butylacetat, (in Toluol-Äquivalenten) über alle Detektionen in den untersuchten Innenräumen mittels GC-MS hinweg, zwischen $0,08$ und $1,82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lagen und die zugrunde gelegte Geruchsschwelle $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beträgt, wäre es allerdings auch denkbar, dass andere Substanzen für die geruchliche

Detektion vor Ort ursächlich sind. Eine Detektion des Geruchseindrucks für n-Butylacetat mittels GC-MS-Sniffing war für keinen Innenraum vorhanden.

Im Gegensatz dazu wurde beispielsweise Octanal in 18 Innenräumen mittels GC-MS stets mindestens um Faktor 5, teils bis um Faktor 70 oberhalb der angenommenen Geruchsschwelle gefunden. In 12 Fällen wurde Octanal zusätzlich mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Im Gegensatz dazu finden sich lediglich 6 Überschneidungen mit den Bewertungen im Geruchsrads. In Raum 12, der die 70-fache Überschreitung der Geruchsschwelle aufweist, wurden weder die Note „Zitrus“, noch die Note „fettig“ durch Prüfer:innen mittels Geruchsrads genannt. Die Ursachen hierfür können vielfältig sein. Wahrscheinlich ist jedenfalls eine Überlagerung durch andere Geruchsstoffe, sodass die einzelnen Geruchsnoten des Octanals für den im Raum 12 vorhandenen Mischgeruch nicht explizit herauszuriechen waren.

Insgesamt ergeben sich für die 64 im Geruchsrads hinterlegten Substanzen und die teils mehrfache Zuordnung einer Substanz zu unterschiedlichen Geruchsnoten, maximal 100 mögliche Überschneidungen zwischen rein humansensorischer Bewertung mittels Geruchsrads und chemisch- bzw. sensorisch-analytischen Daten. Diese sind in der folgenden Tabelle 12 vollständig aufgelistet und jeweils die Gesamtzahl an Überschneidungen vermerkt.

Tabelle 12: Übersicht: Detektionen von Substanzen mittels Analytik und Sensorik und deren Überschneidungen.

Angabe der im Geruchsrads hinterlegten Substanzen mit Zuordnung verknüpfter Geruchsnoten der dritten Ebene des Geruchsrads. Detektionen beziehen sich ausschließlich auf die dritte Ebene.

Substanz (CAS No.)	Kategorie E*1 – Deskriptor E*2 – Geruchsnote E*3	Anzahl Räume mit analytischer Detektion: GC-MS, HPLC / GC-MS-sniffing	Gesamtanzahl Räume mit analytischer Detektion	Anzahl Räume mit Nennung der Geruchs- note durch Prüfer:innen	Anzahl Überschneidungen zwischen Sensorik und Analytik
(+)-alpha-Pinen (7785-70-8)	organisch – pflanzlich – Nadelholz, harzig	- / -	-	10	-
(E)-2-Nonenal / (E)-2-Decanal (18829-56-6)	muffig – erdig, holzig, feucht – feuchte Kartonage	2 / 2	3	16	2
1,2,3- Trimethylbenzol (526-73-8)	chemisch – Kunststoffe – Gummi	- / 2	2	18	2
1-Butanol (71-36-3)	organisch – stechend – stechend	9 / 1	10	19	10
1-Butanol (71-36-3)	chemisch – Lösungsmittel – stechend, beißend	9 / 1	10	7	4
1-Butanol (71-36-3)	chemisch – süß – süß	9 / 1	10	18	9
1-Butoxy-2-Propanol (5131-66-8)	organisch – fruchtig – fruchtig	- / 6	6	14	4

Substanz (CAS No.)	Kategorie E*1 – Deskriptor E*2 – Geruchsnote E*3	Anzahl Räume mit analytischer Detektion: GC-MS, HPLC / GC-MS-sniffing	Gesamtanzahl Räume mit analytischer Detektion	Anzahl Räume mit Nennung der Geruchs- note durch Prüfer:innen	Anzahl Überschneidungen zwischen Sensorik und Analytik
1-Chlornaphthalin (90-13-1)	muffig – muffig – muffig	- / -	-	21	-
1-Chlornaphthalin (90-13-1)	muffig – alt – Mottenkugel, "alt", Altbau	- / -	-	18	-
1-Methylnaphthalin (90-12-0)	muffig – alt – Mottenkugel, "alt", Altbau	2 / 1	3	18	3
1-Methylnaphthalin (90-12-0)	muffig – muffig – modrig	2 / 1	3	21	3
1,4- Dimethylnaphthalin (571-58-4)	muffig – muffig – muffig	- / -	-	21	-
1,4- Dimethylnaphthalin (571-58-4)	muffig – muffig – modrig	- / -	-	21	-
2,3,4,5,6- Pentachloranisol (1825-21-4)	muffig – erdig, holzig, feucht – erdig, schimmelig	- / -	-	17	-
2,3,4,6- Tetrachloranisol (938-22-7)	muffig – erdig, holzig, feucht – erdig, schimmelig	- / -	-	17	-
2,3,4-Trichloranisol (54135-80-7)	muffig – erdig, holzig, feucht – erdig, schimmelig	- / -	-	17	-
2,3,6-Trichloranisol (50375-10-5)	muffig – erdig, holzig, feucht – erdig, schimmelig	- / -	-	17	-
2,4,6-Trichloranisol (87-40-1)	muffig – erdig, holzig, feucht – erdig, schimmelig	- / -	-	17	-
2-Butanon (78-93-3)	chemisch – süß – süß	- / -	-	18	-
2-Butanon (78-93-3)	organisch – fruchtig – süß	- / -	-	18	-

Substanz (CAS No.)	Kategorie E*1 – Deskriptor E*2 – Geruchsnote E*3	Anzahl Räume mit analytischer Detektion: GC-MS, HPLC / GC-MS-sniffing	Gesamtanzahl Räume mit analytischer Detektion	Anzahl Räume mit Nennung der Geruchs- note durch Prüfer:innen	Anzahl Überschneidungen zwischen Sensorik und Analytik
2-Butanonoxim (96-29-7)	chemisch – Lösungsmittel – Farbe, Kleber, Lack	- / -	-	18	-
2-Butoxyethanol (111-76-2)	organisch – fettig – ranzig	- / -	-	11	-
2-Butoxyethanol (111-76-2)	chemisch – süß – süß	- / -	-	18	-
2-Ethylhexanol (104-76-7)	organisch – pflanzlich – mentholig, frisch	9 / 1	9	7	2
2-Ethylhexanol (104-76-7)	chemisch – Kunststoffe – Gummi	9 / 1	9	18	7
2-Ethylhexanol (104-76-7)	chemisch – Kunststoffe – PVC	9 / 1	9	20	9
2-Methyl-1-Propanol (78-83-1)	muffig – erdig, holzig, feucht – feuchte mineralhaltige Bauprodukte	- / -	-	16	-
2-Methylnaphthalin (91-57-6)	muffig – muffig – muffig	2 / 1	2	21	2
2-Methylnaphthalin (91-57-6)	muffig – muffig – modrig	2 / 1	2	21	2
2-Methylnaphthalin (91-57-6)	muffig – alt – Mottenkugel, "alt", Altbau	2 / 1	2	18	2
2-Phenoxyethanol (122-99-6)	chemisch – Kunststoffe – Gummi	- / -	-	18	-
2-Phenoxyethanol (122-99-6)	chemisch – Lösungsmittel – stechend, beißend	- / -	-	7	-
2-phenoxyethanol (122-99-6)	organisch – stechend – stechend	- / -	-	19	-
2-Propanol (Isopropanol) (67-63-0)	chemisch – Reinigungsmittel – medizinisch	- / 1	1	14	-

Substanz (CAS No.)	Kategorie E*1 – Deskriptor E*2 – Geruchsnote E*3	Anzahl Räume mit analytischer Detektion: GC-MS, HPLC / GC-MS-sniffing	Gesamtanzahl Räume mit analytischer Detektion	Anzahl Räume mit Nennung der Geruchs- note durch Prüfer:innen	Anzahl Überschneidungen zwischen Sensorik und Analytik
2-Propanol (Isopropanol) (67-63-0)	chemisch – Reinigungsmittel – Desinfektionsmittel	- / 1	1	9	-
Acetaldehyd (75-07-0)	organisch – stechend – stechend	21 / 5	21	19	19
Acetaldehyd (75-07-0)	organisch – pflanzlich – blumig, floral	21 / 5	21	12	12
Acetone (67-64-1)	chemisch – Lösungsmittel – Nagellack	1 / 1	1	6	-
Acetophenon (98-86-2)	chemisch – süß – süß	14 / 5	14	18	11
Acrolein (Acrylaldehyd) (107-02-8)	chemisch – süß – süß	7 / 1	8	18	7
Acrolein (Acrylaldehyd) (107-02-8)	verbrannt – verbrannt – verbrannt	7 / 1	8	5	4
alpha-Pinene (Dimer) (80-56-8)	organisch – pflanzlich – Nadelholz, harzig	3 / 7	7	10	3
Benzaldehyd (100-52-7)	organisch – nussig – Mandel, Marzipan	- / 2	2	2	-
Benzothiazol (95-16-9)	chemisch – Kunststoffe – Gummi	- / 5	5	18	4
beta-Pinene (127-91-3)	organisch – pflanzlich – Nadelholz, harzig	- / 1	1	10	-
Butansäure (107-92-6)	organisch – sauer – milchig	4 / 3	6	2	-
Butyraldehyd (Butanal) (123-72-8)	organisch – stechend – stechend	20 / 11	20	19	18
Capronsäure (142-62-1)	organisch – animalisch – ziegig	1 / -	1	6	-
Capronsäure (142-62-1)	organisch – sauer – schweißig, käsig	1 / -	1	15	1

Substanz (CAS No.)	Kategorie E*1 – Deskriptor E*2 – Geruchsnote E*3	Anzahl Räume mit analytischer Detektion: GC-MS, HPLC / GC-MS-sniffing	Gesamtanzahl Räume mit analytischer Detektion	Anzahl Räume mit Nennung der Geruchs- note durch Prüfer:innen	Anzahl Überschneidungen zwischen Sensorik und Analytik
Capronsäure (142-62-1)**	organisch – sauer – sauer	1 / -	1	**	**
Decanal (112-31-2)	organisch – fruchtig – Zitrus	20 / 3	20	7	6
Decanal (112-31-2)	organisch – pflanzlich – grasig, krautig	20 / 3	20	8	8
delta-3-Carene (13466-78-9)	chemisch – süß – süß	- / 1	1	18	1
delta-3-Carene (13466-78-9)	organisch – pflanzlich – Nadelholz, harzig	- / 1	1	10	-
DL-Limonen (7705-14-8)	organisch – fruchtig – Zitrus	- / -	-	7	-
DL-Limonen (7705-14-8)	chemisch – Reinigungsmittel – Zitrus	- / -	-	9	-
Essigsäure (64-19-7)	organisch – stechend – Essig	13 / 12	19	9	7
Ethylacetat (141-78-6)	chemisch – Lösungsmittel – Nagellack	- / -	-	6	-
Ethylbenzol (100-41-4)	chemisch – Rohölprodukte – Benzin	2 / -	2	3	2
Formaldehyd (50-00-0)	chemisch – Reinigungsmittel – Desinfektionsmittel	9 / -	9	9	6
Geosmin (19700-21-1)	muffig – erdig, holzig, feucht – erdig, schimmelig	- / 1	1	17	1
Heptanal (111-71-7)	organisch – fruchtig – Zitrus	20 / 4	20	7	7
Heptansäure (111-14-8)	organisch – fettig – ranzig	- / -	-	11	-

Substanz (CAS No.)	Kategorie E*1 – Deskriptor E*2 – Geruchsnote E*3	Anzahl Räume mit analytischer Detektion: GC-MS, HPLC / GC-MS-sniffing	Gesamtanzahl Räume mit analytischer Detektion	Anzahl Räume mit Nennung der Geruchs- note durch Prüfer:innen	Anzahl Überschneidungen zwischen Sensorik und Analytik
Hexanal (Capronaldehyd) (66-25-1)	organisch – fettig – ranzig	21 / 16	21	11	11
Hexanal (Capronaldehyd) (66-25-1)	organisch – pflanzlich – grasig, krautig	21 / 16	21	8	8
Limonen (138-86-3)	organisch – fruchtig – Zitrus	1 / 2	2	7	1
Limonen (138-86-3)	chemisch – Reinigungsmittel – Zitrus	1 / 2	2	9	1
m/p-Xylol (1330-20-7)	chemisch – süß – süß	- / -	-	18	-
m-Kresol (108-39-4)	organisch – animalisch – Pferdestall	3 / 2	3	6	2
m-Kresol (108-39-4)	muffig – erdig, holzig, feucht – Kork	3 / 2	3	16	2
m-Kresol (108-39-4)	organisch – pflanzlich – holzig, Kork	3 / 2	3	19	3
Naphthalin (91-20-3)	muffig – muffig – muffig	7 / 5	8	21	8
Naphthalin (91-20-3)	muffig – alt – Mottenkugel, „alt“, Altbau	7 / 5	8	18	7
Naphthalin (91-20-3)	chemisch – Rohölprodukte – Teer	7 / 5	8	5	3
n-Butylacetat (123-86-4)	organisch – fruchtig – Banane	2 / -	2	2	-
n-Butylacetat (123-86-4)	chemisch – Kunststoffe – Farbe, Kleber, Lack	2 / -	2	18	1
Nonanal (124-19-6)	organisch – pflanzlich – grasig, krautig	20 / 13	20	8	8

Substanz (CAS No.)	Kategorie E*1 – Deskriptor E*2 – Geruchsnote E*3	Anzahl Räume mit analytischer Detektion: GC-MS, HPLC / GC-MS-sniffing	Gesamtanzahl Räume mit analytischer Detektion	Anzahl Räume mit Nennung der Geruchs- note durch Prüfer:innen	Anzahl Überschneidungen zwischen Sensorik und Analytik
Nonanal (124-19-6)	organisch – fruchtig – Zitrus	20 / 13	20	7	7
Octanal (124-13-0)	organisch – fruchtig – Zitrus	20 / 13	20	7	6
Octanal (124-13-0)	organisch – fettig – fettig	20 / 13	20	6	6
o-Xylol (95-47-6)	chemisch – süß – süß	- / 4	4	18	3
o-Xylol (95-47-6)	verbrannt – rauchig, röstig – süß	- / 4	4	10	2
Phenol (108-95-2)	chemisch – süß – süß	1 / 2	3	18	2
Phenol (108-95-2)	chemisch – Rohölprodukte – Teer	1 / 2	3	5	1
p-Kresol (106-44-5)	organisch – animalisch – Pferdestall	- / 1	1	6	-
Propanal (Propylaldehyd) (123-38-6)	organisch – stechend – stechend	8 / -	8	19	8
R-Limonen (5989-27-5)	chemisch – Reinigungsmittel – Zitrus	3 / 3	4	9	2
R-Limonen (5989-27-5)	organisch – fruchtig – Zitrus	3 / 3	4	7	3
Styrol (100-42-5)	chemisch – Kunststoffe – Kunststoff, Plastik	1 / 2	3	19	3
Styrol (100-42-5)	chemisch – Lösungsmittel stechend, beißend	1 / 2	3	7	-
Styrol (100-42-5)	chemisch – süß – süß	1 / 2	3	18	3
Toluol (108-88-3)	chemisch – süß – süß	- / 2	2	18	2

Substanz (CAS No.)	Kategorie E*1 – Deskriptor E*2 – Geruchsnote E*3	Anzahl Räume mit analytischer Detektion: GC-MS, HPLC / GC-MS-sniffing	Gesamtanzahl Räume mit analytischer Detektion	Anzahl Räume mit Nennung der Geruchs- note durch Prüfer:innen	Anzahl Überschneidungen zwischen Sensorik und Analytik
Toluol (108-88-3)	chemisch – Lösungsmittel – stechend, beißend	- / 2	2	7	-
Trichlormono- fluormethan (75-69-4)	chemisch – Reinigungsmittel – sonstige Reinigungsmittel	- / -	-	12	-
Trimethylamin (75-50-3)	organisch – animalisch – fischig	- / -	-	2	-
Valeraldehyd (Pentanal) (110-62-3)	organisch – fruchtig – fruchtig	17 / 1	17	14	10
Valeraldehyd (Pentanal) (110-62-3)	muffig – muffig – muffig	17 / 1	17	21	17
3-Methylbutanal (590-86-3)	verbrannt – rauchig, röstig – rauchig, röstig	13 / 4	13	7	4
2-Methylpropanal (78-84-2)	verbrannt – rauchig, röstig – rauchig, röstig	14 / 1	14	7	3
2-Ethylhexylacetat (103-09-3)	verbrannt – rauchig, röstig – rauchig, röstig	1 / 1	2	7	-
1-Pentanol (71-41-0)	chemisch – Kunststoffe – Kunststoff, Plastik	1 / 4	5	19	5
Caprolactam (105-60-2)**	chemisch – Reinigungsmittel – chlorig	**	**	**	**
4-Phenylcyclohexen (4994-16-5)**	chemisch – Kunststoffe – Teppich, Textil	**	**	**	**

* E1 bis E3 stehen für die Ebenen 1 bis 3 des Geruchsrades (Kategorien, Deskriptoren, Noten)

** Keine Daten verfügbar; da der Stoff bzw. die Geruchsnote nachträglich, im Zuge der Finalisierung des Geruchsrads, aufgenommen wurde. Substanz/Geruchsnote nicht berücksichtigt in der maximal möglichen Anzahl an Überschneidungen.

Eine weitere Betrachtungsmöglichkeit, inwieweit das Geruchsrads erfolgreich angewendet werden kann, findet sich im folgenden Abschnitt, der insbesondere eine visuelle Aufbereitung unter Einbeziehung des Geruchsrads selbst enthält. Hierfür wurden für jeden Innenraum die verwendeten Geruchsräder (Version 1 für die Räume 1 und 2 und Version 2 für alle weiteren Innenräume) zugrunde gelegt und die geschlechterspezifische Anzahl an Nennungen durch Prüfer:innen integriert (vergleiche Abbildung 16 bis Abbildung 36 im Kapitel 3.5.3). Im nächsten Schritt wurden die Nennungen durch Prüfer:innen zu einer Gesamtanzahl zusammengefasst und

zusätzlich der Abgleich mit mittels HPLC, GC-MS und GC-MS-Sniffing gefundenen Einzelsubstanzen vorgenommen. Für eine grobe Erfolgsabschätzung wurden Überschneidungen zwischen Nennungen im Geruchsrads und Analytik herangezogen. Wurden also in der rein analytischen Bewertung Substanzen oberhalb der Geruchsschwelle gefunden oder wurde ein Geruchseindruck im GC-MS-Sniffing gefunden, der einer einzelnen Substanz zugeordnet werden konnte, so sind diese in der Abbildung 38 für Raum 1 (siehe Seite 7) bis Abbildung 58 für Raum 21 (siehe Seite 7) mit eingekreisten Nummern (①) markiert. Eingekreiste **rote** Nummern markieren Geruchsnoten der dritten Ebene, für die Resultate aus dem GC-MS-Sniffing, unabhängig von der Geruchsschwelle, vorhanden sind. **Blaue** Ziffern hingegen markieren solche Geruchsnoten, für die hinterlegte Substanzen im Bereich der Geruchsschwelle detektiert wurden. Dabei können die als Toluol-Äquivalente gefundenen Konzentrationen bis um einen Faktor 10 unterhalb der dokumentierten Geruchsschwelle liegen. In einer weiteren Aufschlüsselung, entsprechend der folgenden Legende, werden alle gefundenen Konzentrationen in Relation zur angenommenen Geruchsschwelle gesetzt, sofern eine entsprechende Substanz mittels GC-MS-Sniffing nachgewiesen wurde.

Tabelle 13: Legende zur Substanzdetektion mittels GC-MS und GC-MS-Sniffing.

Erläuterung der Symbolik, die in Abbildung 38 bis Abbildung 58 zum Abgleich der rein humansensorischen Prüfer:innen-Bewertungen mittels Geruchsrads und der rein analytischen und sensorisch-analytischen Daten (HPLC, GC-MS und GC-MS-Sniffing) verwendet wurden. Pfeile, Tilden und Ungleichheitszeichen geben die Relation der gefundenen Konzentrationen zur Geruchsschwelle (GS) an.

Symbolik	Darstellung	Bedeutung
1	Rote Zahl	Substanz im GC-MS-Sniffing gefunden
1	Blaue Zahl	Substanz mittels HPLC und / oder GC-MS gefunden
↑	Pfeil nach oben	Substanz oberhalb der Geruchsschwelle gefunden
↑↑	2x Pfeil nach oben	Konzentration mindestens Faktor 10 oberhalb der Geruchsschwelle
↓	Pfeil nach unten	Substanz unterhalb der Geruchsschwelle gefunden
↓↓	2x Pfeil nach unten	Konzentration mindestens Faktor 10 unterhalb der Geruchsschwelle*
↓↓↓	3x Pfeil nach unten	Konzentration mindestens Faktor 100 unterhalb der Geruchsschwelle*
~	Tilde	Konzentration im Bereich der Geruchsschwelle (maximal Faktor 5)
≠	Ungleichheitszeichen	Substanz nicht mittels HPLC oder GC-MS gefunden*

*Angabe, sofern eine Substanz mittels GC-MS-Sniffing detektiert wurde.

Konnten Geruchsnoten der dritten Ebene durch Substanzen oder Geruchseindrücke aus der HPLC, GC-MS oder dem GC-MS-Sniffing wiedergefunden werden, so wurden diese Geruchsnoten in den folgenden Abbildungen schwarz und **fett** markiert. Wurden für die dritte Ebene keine Geruchsnoten durch Prüfer:innen mittels Geruchsrads angegeben, so ist eine direkte Korrelation zwischen rein humansensorischen und analytischen bzw. sensorisch-analytischen Daten nicht feststellbar. In solchen Fällen wurde geprüft, inwieweit sich aus der zweiten oder ersten Ebene des Geruchsrads Rückschlüsse auf gefundene Substanzen ziehen lassen. War dies der Fall, wurden die Geruchsscharaktere in den entsprechenden Feldern ebenfalls **fett** markiert.

Der Abgleich mit Geruchscharakteren (Geruchskategorien der 1. Ebene, Geruchsdeskriptoren der 2. Ebene und Geruchsnoten der 3. Ebene), die durch Prüfer:innen genannt wurden, liefert Anhaltspunkte dafür, für welche Stoffe oder Stoffgruppen das Geruchsrads erfolgreich oder weniger erfolgreich angewendet werden kann. Ein generelles Nicht-Auffinden von Geruchseindrücken in der rein humansensorischen Bewertung oder einzelner Substanzen in der instrumentellen Analytik lässt hingegen keine Rückschlüsse auf die Anwendbarkeit des Geruchsrads zu. Dies legt lediglich den Schluss nahe, dass entsprechende Geruchseindrücke oder Substanzen in den gewählten Innenräumen nicht vorhanden waren.

In der folgenden Tabelle 14 findet sich eine Zusammenstellung der Übereinstimmung zwischen den zugrunde gelegten rein analytischen bzw. sensorisch-analytischen und den rein humansensorischen Daten entsprechend der jeweiligen Ebene.

Für diese Betrachtung gab es mit 64 berücksichtigten Einzelsubstanzen maximal 64 mögliche Übereinstimmungen zwischen der sensorischen Bewertung durch die Prüfer:innen unter Verwendung des Geruchsrads und den chemisch-analytischen oder sensorisch-analytischen Daten. Da das Geruchsrads auch dazu dient, relevante Geruchsstoffe oder Stoffgruppen einzugrenzen, werden Einzelstoffe beim Vergleich von sensorischer Bewertung und Analytik jeweils nur einmal gezählt, auch wenn sie in Kombination mit mehreren Geruchsnoten, Deskriptoren und/oder Kategorien gefunden wurden. Die Anzahl aller Einzelsubstanzen, die durch HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing nachgewiesen wurden, wird als Vergleichswert für die sensorische Verwendung des Geruchsrads in allen 21 Innenräumen herangezogen. Dieser Vergleich zeigt vielversprechende Ergebnisse. Werden die, durch die Prüfer:innen in der zentralen Ebene des Geruchsrads ausgewählten Geruchskategorien betrachtet, so ergibt sich im Mittel eine Übereinstimmung von etwa 97 % mit den zugrunde liegenden Einzelstoffen. Unter Berücksichtigung der Geruchsdeskriptoren der zweiten Ebene des Geruchsrads konnten durchschnittlich 91 % Überschneidungen festgestellt werden. Für die Betrachtung der detailliertesten dritten Ebene mit Geruchsnoten, konnten für 66 % der Einzelsubstanzen Überschneidungen ermittelt werden und die sensorische Bewertung damit erfolgreich auf die hinterlegten Einzelsubstanzen zurückgeführt werden.

Tabelle 14: Erfolgsabschätzung der Geruchsradanwendung.

Gegenüberstellung der mittels HPLC, GC-MS und GC-MS-Sniffing gefundenen Daten als Grundgesamtheit und den rein humansensorisch mittels Geruchsrads und Prüfer:innen gefundenen Geruchseindrücken; Übereinstimmung ist folgend mit ÜE abgekürzt.

Raum	Anzahl gefundener Substanzen mittels HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing	Übereinstimmung von Einzelsubstanzen und von Prüfer:innen gewählten Geruchskategorien der 1. Ebene		Übereinstimmung von Einzelsubstanzen und von Prüfer:innen gewählten Geruchsdeskriptoren der 2. Ebene		Übereinstimmung von Einzelsubstanzen und von Prüfer:innen gewählten Geruchsnoten der 3. Ebene	
		Anzahl	ÜE in %	Anzahl	ÜE in %	Anzahl	ÜE in %
	Gesamtanzahl						
1	21	21	100	16	76,2	11	52,4
2	18	18	100	15	83,3	12	66,7
3	18	18	100	16	88,9	14	77,8
4	11	11	100	11	100	9	81,8
5	10	10	100	10	100	8	80,0

Raum	Anzahl gefundener Substanzen mittels HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing	Übereinstimmung von Einzelsubstanzen und von Prüfer:innen gewählten Geruchskategorien der 1. Ebene		Übereinstimmung von Einzelsubstanzen und von Prüfer:innen gewählten Geruchdeskriptoren der 2. Ebene		Übereinstimmung von Einzelsubstanzen und von Prüfer:innen gewählten Geruchsnoten der 3. Ebene	
6	14	14	100	14	100	7	50,0
7	15	13	86,7	10	66,7	4	26,7
8	13	13	100	12	92,3	9	69,2
9	15	12	80,0	12	80,0	9	60,0
10	13	13	100	11	84,6	8	61,5
11	18	18	100	18	100	15	83,3
12	18	18	100	18	100	12	66,7
13	20	18	90,0	17	85,0	13	65,0
14	19	17	89,5	17	89,5	17	89,5
15	15	15	100	15	100	10	66,7
16	19	17	89,5	17	89,5	14	73,7
17	15	15	100	15	100	13	86,7
18	16	15	93,8	14	87,5	9	56,3
19	14	14	100	14	100	6	42,9
20	24	24	100	23	95,8	14	58,3
21	20	20	100	20	100	16	80,0
Ø	17		96,6		91,4		66,4

Eine Visualisierung als Balkendiagramm findet sich in der folgenden Abbildung 37.

Der visualisierte Abgleich von Analytik (folgend für das GC-MS-Sniffing als rote Zahlen und für die reine HPLC oder GC-MS-Detektion als blaue Zahlen dargestellt) und rein humansensorischer Bewertung mittels Geruchsrads findet sich in den darauffolgenden Abbildungen und Tabellen.



Abbildung 38: Geruchsradanwendung (Version 1) Raum 1: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgetheilten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Tabelle 15: Geruchsradanwendung (Version 1) Raum 1: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnoten Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	muffig	<i>Naphthalin</i> Pentanal	↓ ↑ ~
2	modrig	<i>2-Methylnaphthalin</i>	≠
3	Kork	<i>m-Kresol</i>	↑
4	feuchte Kartonage	<i>(E)-2-Nonenal/ (E)-2-Decenal</i>	↑ ~
5	feuchte mineralhaltige Bauprodukte	2-Methyl-1-Propanol	↓↓
6	Mottenkugel, alt, Altbau	<i>Naphthalin</i>	↓
7	Nadelholz, harzig	alpha-Pinen (Dimer)	↓↓
8	holzig, Kork	<i>m-Kresol</i>	↑
9	grasig, krautig	<i>Hexanal</i> Nonanal Decanal	↑ ~ ↑ ~ ↓ ~
10	blumig, floral	Acetaldehyd	↑ ~
11	Zitrus	<i>Heptanal</i> Nonanal <i>Octanal</i> Decanal	↑ ~ ↑ ~ ↑↑ ↓ ~
12	fruchtig → süß	<i>2-Butanon</i>	↓↓↓
13	fruchtig	<i>1-Butoxy-2-propanol</i> Pentanal	↓↓↓ ↑ ~
14	stechend	<i>Acetaldehyd</i> Propanal <i>Butanal</i> 1-Butanol	↑ ~ ↓ ~ ↑ ~ ↓ ~
15	Essig	<i>Essigsäure</i>	↓ ~
16	sonstige Reinigungsmittel	<i>Trichloromonoflouromethan</i>	↓↓↓
17	stechend, beißend, scharf	1-Butanol	↓ ~
18	PVC	2-Ethylhexanol	↓
19	Teer	<i>Naphthalin</i>	↓
20	Benzin	Ethylbenzol	↓↓↓
21	chemisch → süß	1-Butanol <i>2-Butanon</i> Acetophenon Acrolein	↓ ~ ↓↓↓ ↓ ~ ↓
22	Pferdestall	<i>m-Kresol</i>	↑
23	milchig	<i>Butansäure</i>	↓ ~
24	ranzig	<i>Hexanal</i>	↑ ~
25	fettig	<i>Octanal</i>	↑↑
26	rauchig, röstig → süß	<i>3-Methyl-Butanal</i> <i>2-Methyl-Propanal</i> Acrolein	↓ ~ ↓↓ ↓

Nr.	Geruchsnoten Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
27	verbrannt	Acrolein	↓

Diese Seite ist aus Gründen des Layouts eine Leerseite

Abbildung 39: Geruchsradanwendung (Version 1) Raum 2: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgehellten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Tabelle 16: Geruchsradanwendung (Version 1) Raum 2: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	muffig	Pentanal	↑ ~
2	mentholig, frisch	2-Ethylhexanol	↓
3	grasig, krautig	<i>Hexanal</i> <i>Nonanal</i> Decanal	↑ ↑ ~ ↓ ~
4	blumig, floral	Acetaldehyd	↓ ~
5	fruchtig → Zitrus	<i>Heptanal</i> <i>Octanal</i> <i>Nonanal</i> Decanal	↑ ~ ↑↑ ↑ ~ ↓ ~
6	fruchtig	<i>1-Butoxy-2-Propanol</i> Pentanal	↓↓↓ ↑ ~
7	stechend	1-Butanol Acetaldehyd <i>Butanal</i> Propanal	↓ ↓ ~ ↑ ~ ↓ ~
8	Essig	<i>Essigsäure</i>	≠
9	stechend, beißend, scharf	1-Butanol	↓
10	Kunststoff, Plastik	<i>1-Pentanol</i>	↓↓↓
11	PVC	Ethylhexanol	↓
12	Teer	<i>Phenol</i>	↓↓
13	chemisch → süß	1-Butanol Acrolein <i>Phenol</i>	↓ ↓ ↓↓
14	ranzig	<i>Hexanal</i>	↑
15	fettig	<i>Octanal</i>	↑↑
16	rauchig, röstig	<i>3-Methyl-Butanal</i> 2-Methyl-Propanal 2-Ethylhexylacetat	↓ ~ ↓ ↓↓↓
17	verbrannt	Acrolein	↓

Abbildung 40: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 3: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgehellten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Tabelle 17: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 3: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	mentholig, frisch	<i>2-Ethylhexanol</i>	↓ ~
2	grasig, krautig	<i>Hexanal</i> <i>Nonanal</i>	↑ ~ ↑ ~
3	blumig, floral	Acetaldehyd	↑ ~
4	fruchtig → Zitrus	Heptanal <i>Octanal</i> <i>Nonanal</i>	↓ ~ ↑ ~ ↑ ~
5	milchig	<i>Butansäure</i>	≠
6	ranzig	<i>Hexanal</i>	↑ ~
7	fettig	<i>Octanal</i>	↑↑
8	Desinfektion	Formaldehyd	↓
9	Kunststoff, Plastik	Styrol	↓
10	PVC	<i>2-Ethylhexanol</i>	↓ ~
11	Gummi	<i>2-Ethylhexanol</i>	↓ ~
12	Teer	Naphthalin	↓ ~
13	Benzin	Ethylbenzol	↓ ~
14	chemisch → süß	1-Butanol <i>Acrolein</i> <i>o-Xylol</i> Styrol	↓ ~ ≠ ↓↓↓ ↓
15	muffig	Naphthalin	↓ ~
16	Mottenkugel, alt, Altbau	Naphthalin	↓ ~
17	rauchig, röstig	2-Methyl-Propanal	↓ ~
18	verbrannt → süß	<i>o-Xylol</i>	↓↓↓
19	verbrannt	<i>Acrolein</i>	≠
20	stechend	1-Butanol Acetaldehyd <i>Butanal</i>	↓ ~ ↑ ~ ↓ ~
21	Essig	<i>Essigsäure</i>	≠
22	stechend, beißend, scharf	1-Butanol Styrol	↓ ~ ↓

Abbildung 41: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 4: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgetrennten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Tabelle 18: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 4: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	grasig, krautig	Hexanal Nonanal <i>Decanal</i>	↓ ~ ↓ ~ ↓ ~
2	blumig, floral	<i>Acetaldehyd</i>	↓ ~
3	fruchtig	<i>1-Butoxy-2-Propanol</i>	↓↓↓
4	organisch → Zitrus	Heptanal <i>Octanal</i> Nonanal <i>Decanal</i>	↓ ~ ↑↑ ↓ ~ ↓ ~
5	ranzig	<i>Hexanal</i>	↓ ~
6	fettig	<i>Octanal</i>	↑↑
7	Gummi	<i>Benzothiazol</i>	≠
8	rauchig, röstig	3-Methyl-Butanal	↓ ~
9	stechend	<i>Butanal</i> <i>Acetaldehyd</i>	↓ ~ ↓ ~
10	Essig	<i>Essigsäure</i>	≠

Abbildung 42: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 5: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgehellten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Tabelle 19: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 5: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	Nadelholz, harzig	<i>alpha-Pinen (Dimer)</i>	≠
2	grasig, krautig	<i>Hexanal</i> <i>Nonanal</i> <i>Decanal</i>	↓~ ↓~ ↓
3	blumig, floral	<i>Acetaldehyd</i>	↓~
4	Zitrus	<i>Heptanal</i> <i>Octanal</i> <i>Nonanal</i> <i>Decanal</i>	↓~ ↑ ↓~ ↓
5	ranzig	<i>Hexanal</i>	↓~
6	fettig	<i>Octanal</i>	↑
7	Teer	<i>Naphthalin</i>	≠
8	chemisch - süß	<i>o-Xylol</i>	↓↓↓
9	muffig	<i>Naphthalin</i>	≠
10	Mottenkugel, alt, Altbau	<i>Naphthalin</i>	≠
11	rauchig, röstig → süß	<i>o-Xylol</i>	↓↓↓
12	stechend	<i>Acetaldehyd</i> <i>Butanal</i>	↓~ ↓

Abbildung 43: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 6: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgetrennten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Tabelle 20: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 6: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	grasig, krautig	<i>Hexanal</i> <i>Nonanal</i> <i>Decanal</i>	↓~ ↓~ ↓~
2	blumig, floral	<i>Acetaldehyd</i>	↓~
3	fruchtig	<i>1-Butoxy-2-Propanol</i>	↓↓
4	Zitrus	<i>Heptanal</i> <i>Octanal</i> <i>Nonanal</i> <i>Decanal</i>	↓~ ↑↑ ↓~ ↓~
5	milchig	<i>Butansäure</i>	≠
6	ranzig	<i>Hexanal</i>	↓~
7	fettig	<i>Octanal</i>	↑↑
8	Gummi	<i>Benzothiazol</i>	≠
9	chemisch – süß	<i>1-Butanol</i>	↓
10	rauchig, röstig	<i>3-Methyl-Butanal</i>	↓~
11	stechend	<i>Acetaldehyd</i> <i>Butanal</i> <i>1-Butanol</i>	↓~ ↓~ ↓
12	Essig	<i>Essigsäure</i>	≠
13	stechend, beißend, scharf	<i>1-Butanol</i>	↓

Abbildung 44: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 7: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgetrennten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Tabelle 21: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 7: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	mentholig, frisch	2-Ethylhexanol	↓
2	grasig, krautig	Hexanal <i>Nonanal</i> Decanal	↑ ~ ↑ ~ ↓ ~
3	blumig, floral	Acetaldehyd	↓
4	fruchtig	Pentanal	↓ ~
5	Zitrus	Heptanal <i>Octanal</i> <i>Nonanal</i> Decanal	↓ ~ ↑↑ ↑ ~ ↓ ~
6	Pferdestall	<i>p-Kresol</i>	≠
7	ranzig	Hexanal	↑ ~
8	fettig	<i>Octanal</i>	↑↑
9	PVC	2-Ethylhexanol	↓
10	Gummi	2-Ethylhexanol	↓
11	Teer	<i>Naphthalin</i>	↓ ~
12	erdig, schimmelig	<i>Geosmin</i>	≠
13	muffig	<i>Naphthalin</i> Pentanal	↓ ↓ ~
14	Mottenkugel, alt, Altbau	<i>Naphthalin</i>	↓
15	rauchig, röstig	3-Methyl-Butanal 2-Methyl-Propanal	↓ ~ ↓
16	stechend	Acetaldehyd <i>Butanal</i>	↓ ↓ ~

Abbildung 45: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 8: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgehellten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Tabelle 22: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 8: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	mentholig, frisch	<i>2-Ethylhexanol</i>	↓ ~
2	grasig, krautig	<i>Hexanal</i> <i>Nonanal</i> <i>Decanal</i>	↑ ~ ↑ ~ ↑ ~
3	blumig, floral	Acetaldehyd	↓ ~
4	fruchtig	Pentanal	↓ ~
5	Zitrus	<i>Heptanal</i> <i>Octanal</i> <i>Nonanal</i> <i>Decanal</i>	↑ ~ ↑↑ ↑ ~ ↑ ~
6	ranzig	<i>Hexanal</i>	↑ ~
7	fettig	<i>Octanal</i>	↑↑
8	PVC	2-Ethylhexanol	↓ ~
9	Gummi	2-Ethylhexanol	↓ ~
10	Teer	<i>Naphthalin</i>	↑ ~
11	Benzin	<i>Ethylbenzol</i>	↓
12	muffig	<i>2-Methylnaphthalin</i> <i>Naphthalin</i> <i>Pentanal</i>	↓ ~ ↑ ~ ↓ ~
13	modrig	Methylnaphthalin	↓ ~
14	Mottenkugel, alt, Altbau	<i>Naphthalin</i> <i>2-Methylnaphthalin</i>	↑ ~ ↓ ~
15	stechend	Butanal Acetaldehyd	↓ ~ ↓ ~
16	Essig	<i>Essigsäure</i>	≠

Abbildung 46: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 9: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgetrennten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Tabelle 23: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 9: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	grasig, krautig	<i>Hexanal</i> <i>Nonanal</i> <i>Decanal</i>	↑ ~ ↓ ~ ↓↓
2	blumig, floral	<i>Acetaldehyd</i>	↑ ~
3	fruchtig	Pentanal	↑ ~
4	Zitrus	<i>Heptanal</i> Octanal <i>Nonanal</i> <i>Decanal</i>	↓ ~ ↑↑ ↓ ~ ↓↓
5	Banane	n-Butylacetat	↓
6	ranzig	<i>Hexanal</i>	↑ ~
7	fettig	Octanal	↑↑
8	Desinfektion	Formaldehyd	↓
9	Kunststoff, Plastik	<i>1-Pentanol</i>	↓↓↓
10	Gummi	<i>Benzothiazol</i>	≠
11	Nagellack	<i>Aceton</i>	↓↓↓
12	Farbe, Kleber, Lack	n-Butylacetat	↓
13	chemisch - süß	<i>Acetophenon</i>	↑ ~
14	muffig	Pentanal	↑ ~
15	rauchig, röstig	2-Methyl-Propanal	↓
16	stechend	<i>Butanal</i> <i>Acetaldehyd</i>	↓ ~ ↑ ~
17	Essig	Essigsäure	↓

Abbildung 47: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 10: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgehellten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

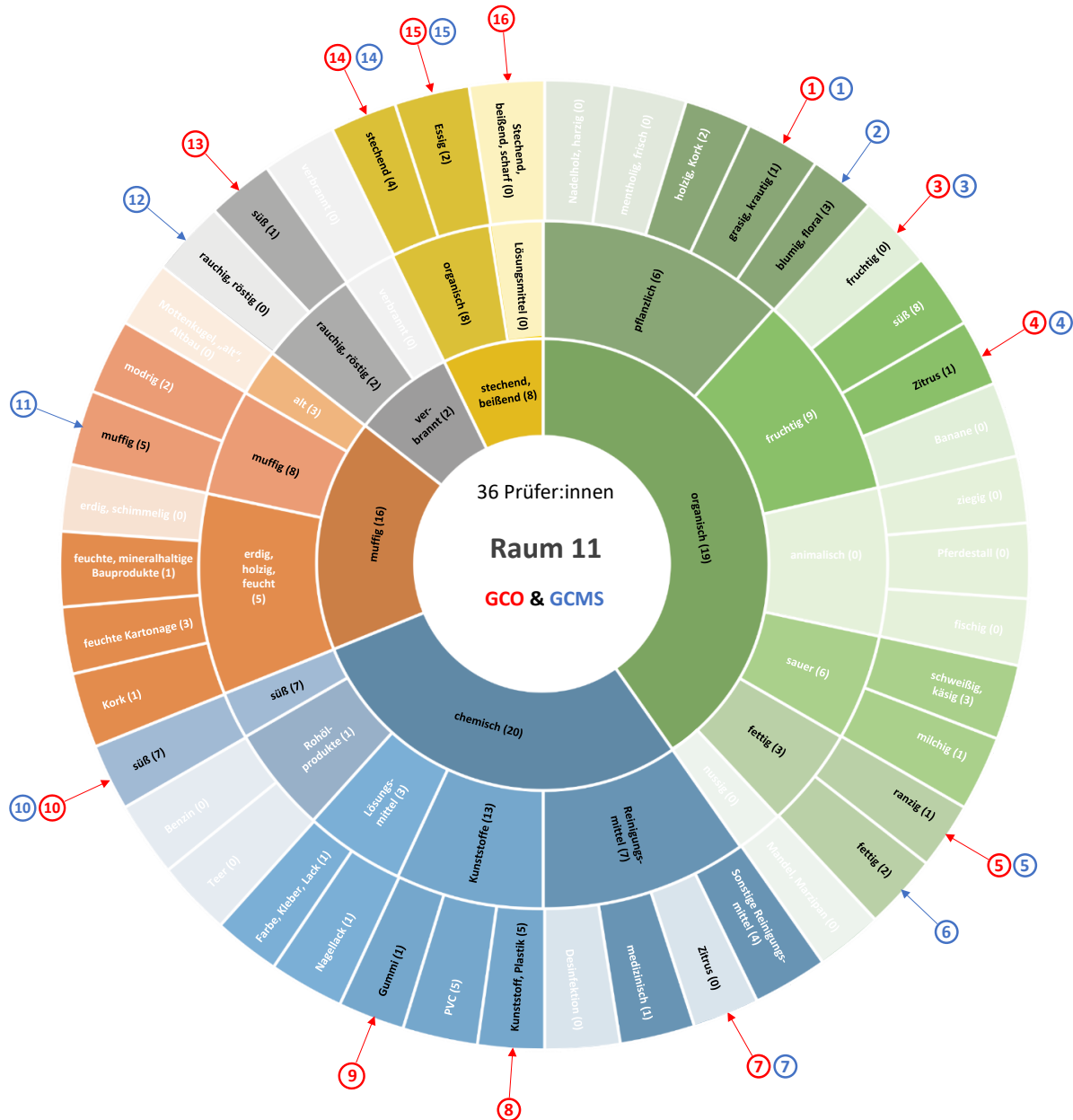
Tabelle 24: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 10: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	grasig, krautig	<i>Hexanal</i> Nonanal Decanal	↑ ~ ↓ ~ ↓
2	blumig, floral	Acetaldehyd	↑ ~
3	fruchtig	<i>Pentanal</i>	↓
4	Zitrus	Heptanal Octanal Nonanal Decanal	↓ ~ ↑↑ ↓ ~ ↓
5	Banane	n-Butylacetat	↓
6	ranzig	<i>Hexanal</i>	↑ ~
7	fettig	Octanal	↑↑
8	Kunststoff, Plastik	<i>1-Pentanol</i>	↓↓↓
9	Gummi	<i>1,2,3-Trimethylbenzol</i>	≠
10	Farbe, Kleber, Lack	n-Butylacetat	↓
11	chemisch - süß	Acetophenon	↑
12	muffig	<i>Pentanal</i>	↓
13	rauchig, röstig	3-Methyl-Butanal 2-Methyl-Propanal	↓ ~ ↓
14	stechend	Acetaldehyd <i>Butanal</i>	↑ ~ ↓ ~

Abbildung 48: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 11: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgehellten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

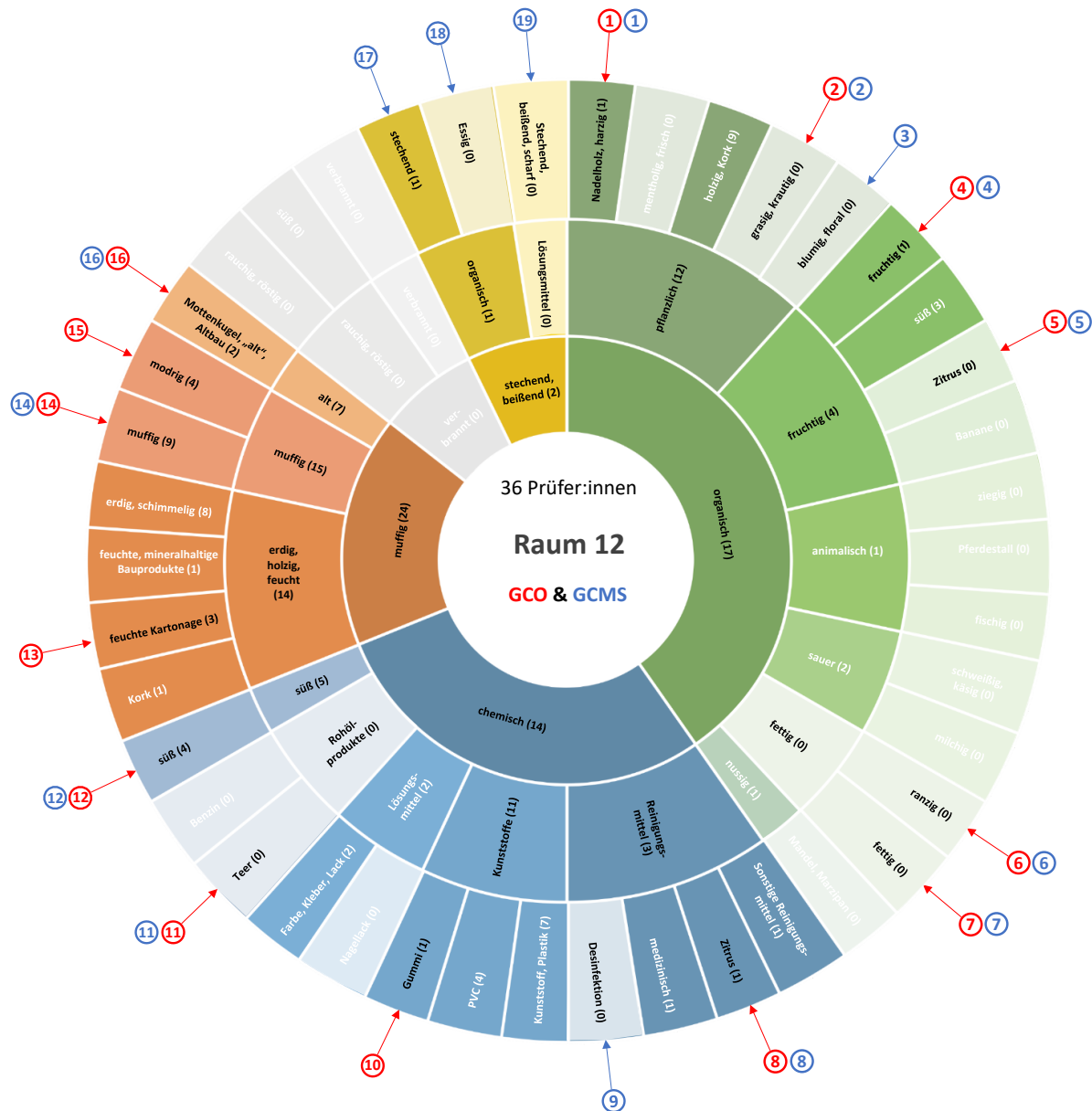
Tabelle 25: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 11: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	grasig, krautig	<i>Hexanal</i> <i>Nonanal</i> <i>Decanal</i>	↑ ~ ↓ ~ ↓ ~
2	blumig, floral	<i>Acetaldehyd</i>	↑ ~
3	fruchtig	<i>1-Butoxy-2-propanol</i> <i>Pentanal</i>	↓↓ ↑ ~
4	Zitrus	<i>Heptanal</i> <i>Octanal</i> <i>Nonanal</i> <i>Decanal</i> <i>R-Limonen</i>	↓ ~ ↑ ↓ ~ ↓ ~ ↓
5	ranzig	<i>Hexanal</i>	↑ ~
6	fettig	<i>Octanal</i>	↑↑
7	chemisch - Zitrus	<i>R-Limonen</i>	↓
8	Kunststoff, Plastik	<i>1-Pentanol</i> <i>Styrol</i>	↓↓↓ ↓↓↓
9	Gummi	<i>1,2,3-Trimethylbenzol</i>	↓↓↓
10	chemisch - süß	<i>Acetophenon</i> <i>Styrol</i> <i>o-Xylol</i>	↑↑ ↓↓↓ ↓↓↓
11	muffig	<i>Pentanal</i>	↑ ~
12	rauchig, röstig	<i>3-Methyl-Butanal</i>	↓ ~
13	verbrannt → süß	<i>o-Xylol</i>	↓↓↓
14	stechend	<i>Acetaldehyd</i> <i>Butanal</i>	↑ ~ ↓ ~
15	Essig	<i>Essigsäure</i>	↓ ~
16	stechend, beißend, scharf	<i>Styrol</i>	↓↓↓

Abbildung 49: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 12: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgehellten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

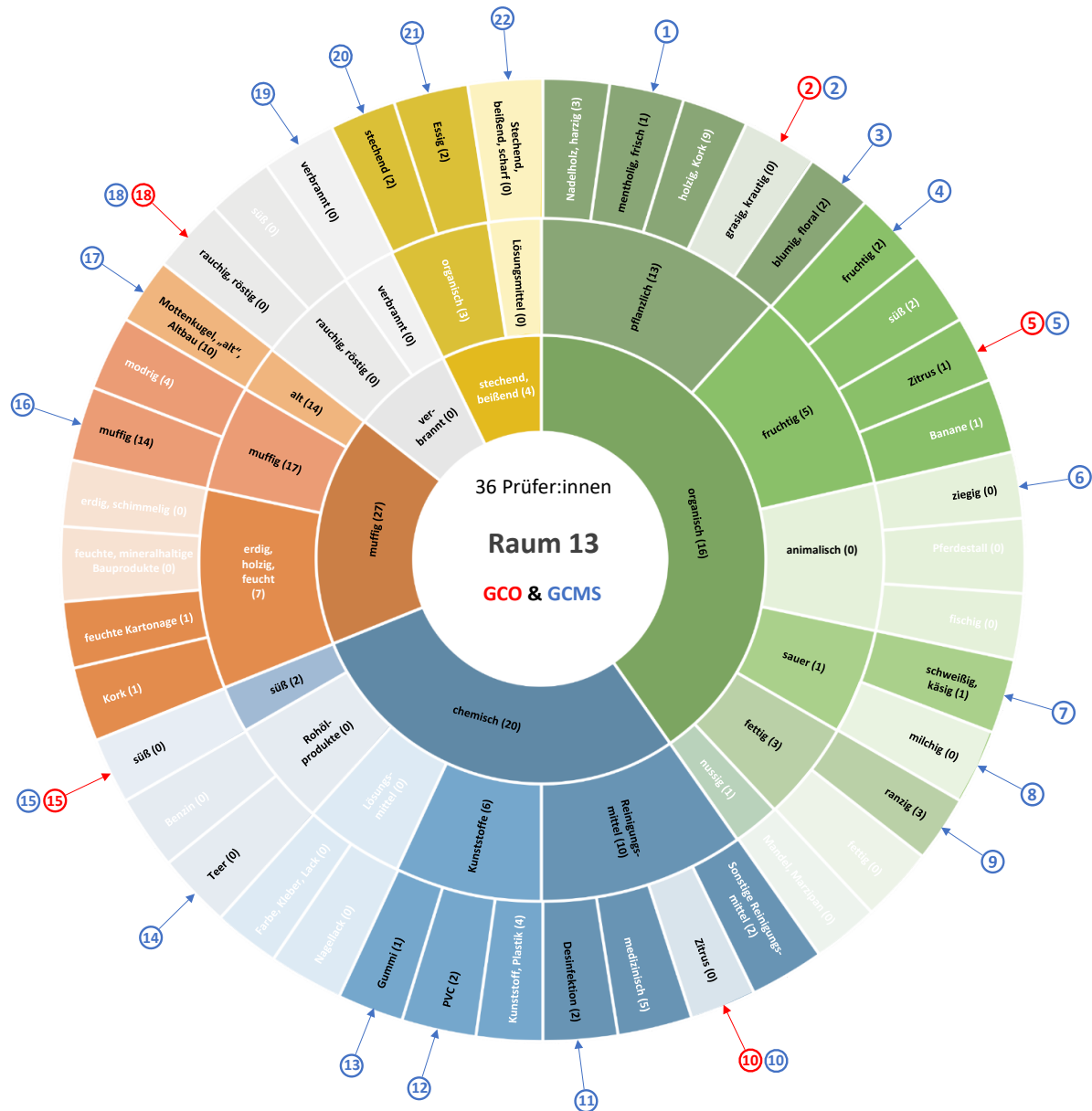
Tabelle 26: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 12: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	Nadelholz, harzig	<i>alpha-Pinen (Dimer)</i>	↓ ~
2	grasig, krautig	<i>Hexanal</i> <i>Decanal</i>	↑↑ ↑ ~
3	blumig, floral	<i>Acetaldehyd</i>	↑↑
4	fruchtig	<i>Pentanal</i>	↑
5	organisch → Zitrus	<i>Heptanal</i> <i>Octanal</i> <i>Decanal</i> <i>R-Limonen</i>	↑ ~ ↑↑ ↑ ~ ↓↓
6	ranzig	<i>Hexanal</i>	↑↑
7	fettig	<i>Octanal</i>	↑↑
8	chemisch - Zitrus	<i>R-Limonen</i>	↓↓
9	Desinfektion	<i>Formaldehyd</i>	↓ ~
10	Gummi	<i>Benzothiazol</i>	↓↓
11	Teer	<i>Naphthalin</i>	↓ ~
12	chemisch → süß	<i>1-Butanol</i> <i>Acetophenon</i>	↓ ↑↑
13	feuchte Kartonage	<i>(E)-2-Nonenal / (E)-2-Decenal</i>	≠
14	muffig	<i>Naphthalin</i> <i>Pentanal</i>	↓ ~ ↑
15	modrig	<i>1-Methylnaphthalin</i>	≠
16	Mottenkugel, alt, Altbau	<i>1-Methylnaphthalin</i> <i>Naphthalin</i>	≠ ↓ ~
17	stechend	<i>1-Butanol</i> <i>Acetaldehyd</i> <i>Butanal</i> <i>Propanal</i>	↓ ↑↑ ↓ ~ ↑ ~
18	Essig	<i>Essigsäure</i>	↓ ~
19	stechend, beißend, scharf	<i>1-Butanol</i>	↓

Abbildung 50: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 13: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgehellten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

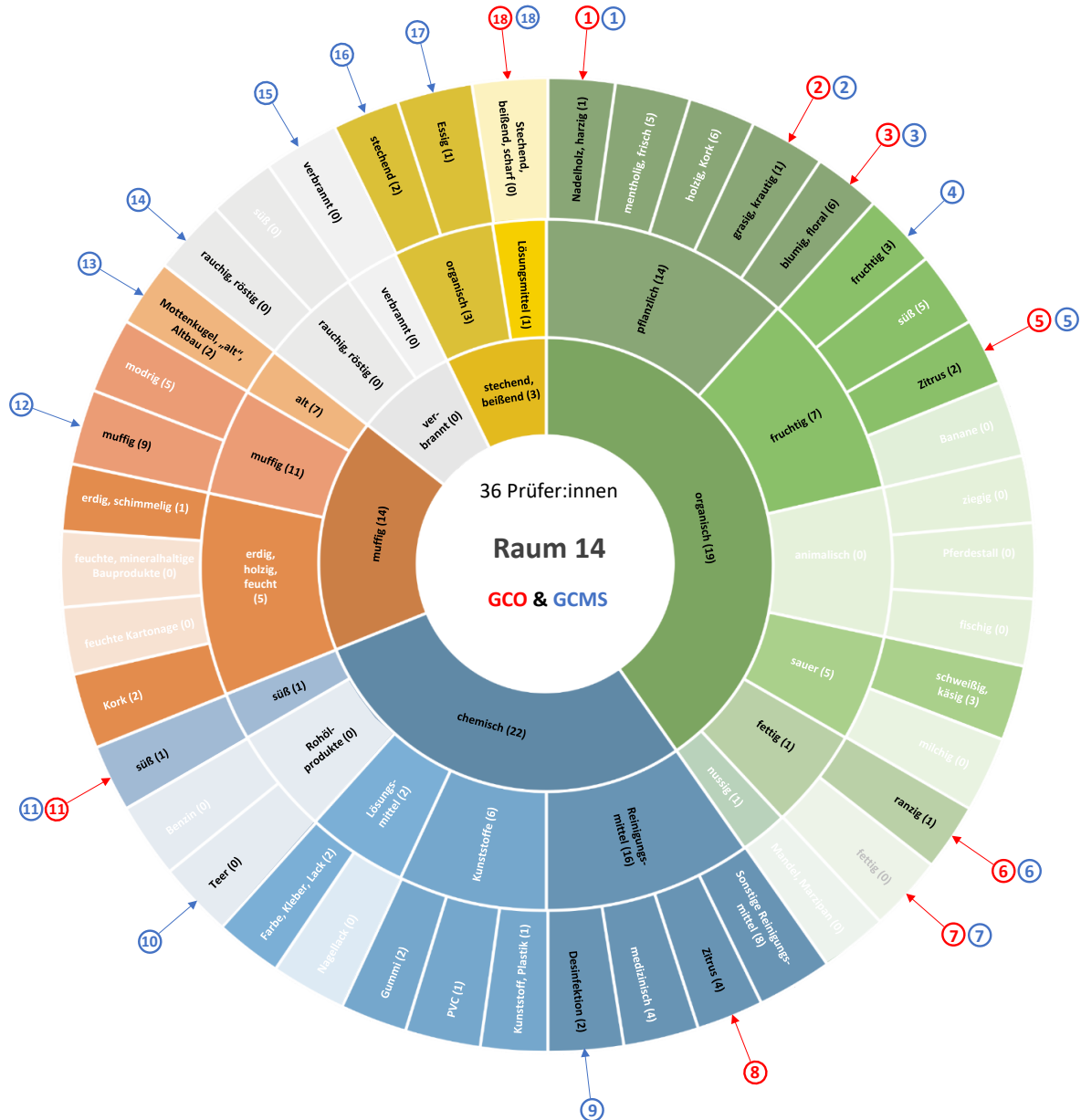
Tabelle 27: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 13: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	mentholig, frisch	2-Ethylhexanol	↓
2	grasig, krautig	Hexanal	↑ ~
		<i>Nonanal</i>	↑ ~
		Decanal	↓ ~
3	blumig, floral	Acetaldehyd	↑
4	fruchtig	Pentanal	↑ ~
5	organisch → Zitrus	Heptanal	↑ ~
		<i>Nonanal</i>	↑ ~
		Decanal	↓ ~
		<i>R-Limonen</i>	↓
6	ziegig	Capronsäure	↑ ~
7	schweißig, käsig	Capronsäure	↑ ~
8	milchig	Butansäure	↓ ~
9	ranzig	Hexanal	↑ ~
10	chemisch → Zitrus	<i>R-Limonen</i>	↓
11	Desinfektion	Formaldehyd	↓ ~
12	PVC	2-Ethylhexanol	↓
13	Gummi	2-Ethylhexanol	↓
14	Teer	Naphthalin	↓
15	chemisch → süß	1-Butanol	↓ ~
		<i>Acetophenon</i>	↑ ~
		Acrolein	↓
16	muffig	Naphthalin	↓
		Pentanal	↑ ~
17	Mottenkugel, alt, Altbau	Naphthalin	↓
18	rauchig, röstig	<i>2-Ethylhexylacetat</i>	≠
		3-Methyl-Butanal	↓ ~
		2-Methyl-Propanal	↓
19	verbrannt	Acrolein	↓
20	stechend	1-Butanol	↓ ~
		Acetaldehyd	↑ ~
		Butanal	↑ ~
21	Essig	Essigsäure	↓ ~
22	stechend, beißend, scharf	1-Butanol	↓ ~

Abbildung 51: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 14: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgetrennten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

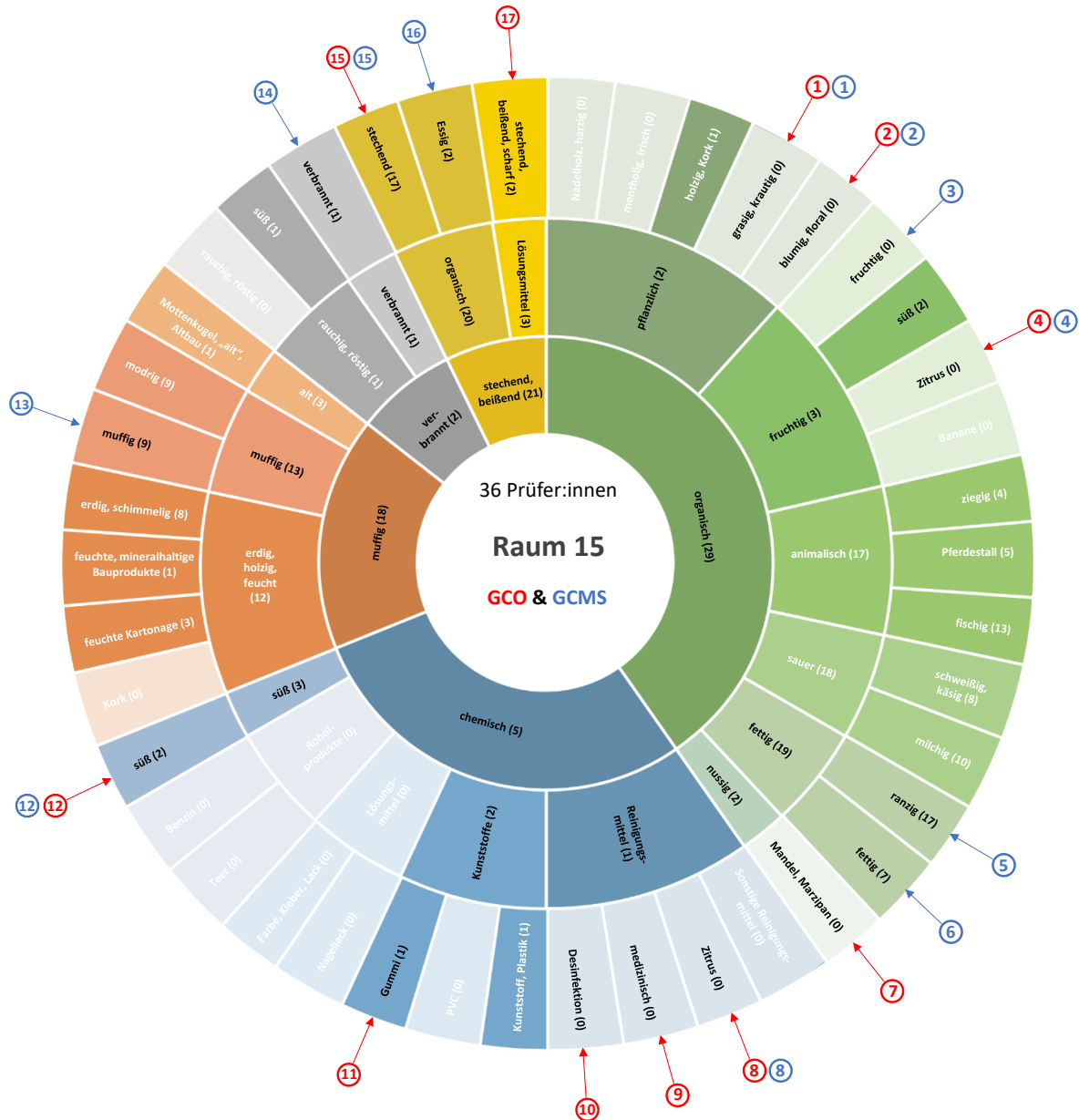
Tabelle 28: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 14: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	Nadelholz, harzig	<i>alpha-Pinen (Dimer)</i>	↓
2	grasig, krautig	<i>Hexanal</i> <i>Nonanal</i> <i>Decanal</i>	↑ ~ ↑ ~ ↑ ~
3	blumig, floral	Acetaldehyd	↑
4	fruchtig	Pentanal	↑ ~
5	organisch → Zitrus	Heptanal <i>Octanal</i> <i>Nonanal</i> <i>Decanal</i> <i>Limonen</i>	↓ ~ ↑↑ ↑ ~ ↑ ~ ↓↓
6	ranzig	<i>Hexanal</i>	↑ ~
7	fettig	<i>Octanal</i>	↑↑
8	chemisch → Zitrus	<i>Limonen</i>	↓↓
9	Desinfektion	Formaldehyd	↓ ~
10	Teer	Naphthalin	↓ ~
11	chemisch → süß	1-Butanol Acetophenon Acrolein <i>Toluol</i>	↓ ↓ ~ ↓ ↓↓
12	muffig	Naphthalin Pentanal	↓ ~ ↑ ~
13	Mottenkugel, alt, Altbau	Naphthalin	↓ ~
14	rauchig, röstig	3-Methyl-Butanal 2-Methyl-Propanal	↓ ~ ↓
15	verbrannt	Acrolein	↓
16	stechend	Butanal 1-Butanol Acetaldehyd	↑ ~ ↓ ↑
17	Essig	Essigsäure	↑ ~
18	stechend, scharf, beißend	1-Butanol <i>Toluol</i>	↓ ↓↓

Abbildung 52: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 15: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgehellten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

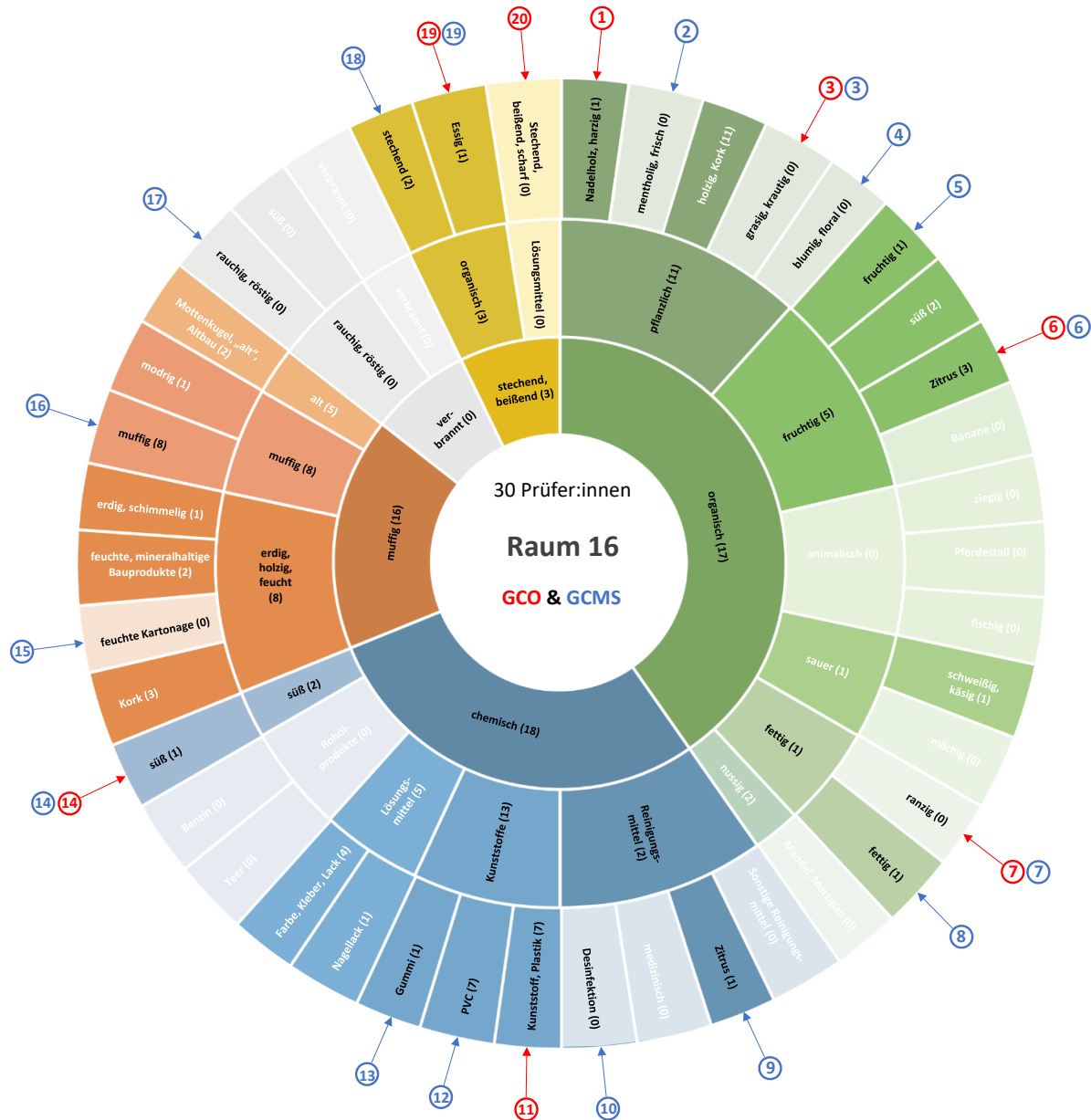
Tabelle 29: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 15: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	grasig, krautig	Hexanal <i>Nonanal</i> <i>Decanal</i>	↑ ~ ↑ ~ ↓↓
2	blumig, floral	<i>Acetaldehyd</i>	↑ ~
3	fruchtig	Pentanal	↓ ~
4	organisch → Zitrus	Octanal <i>Nonanal</i> <i>Decanal</i> <i>Limonen</i>	↑↑ ↑ ~ ↓↓ ↓ ~
5	ranzig	Hexanal	↑ ~
6	fettig	Octanal	↑↑
7	Mandel, Marzipan	<i>Benzaldehyd</i>	↓↓
8	chemisch → Zitrus	<i>Limonen</i>	↓ ~
9	medizinisch	<i>2-Propanol</i>	↓↓↓
10	Desinfektion	<i>2-Propanol</i>	↓↓↓
11	Gummi	<i>Benzothiazol</i>	↓↓
12	chemisch → süß	<i>1-Butanol</i> Acetophenon Acrolein	↓↓↓ ↓ ~ ↓
13	muffig	Pentanal	↓
14	verbrannt	Acrolein	↓
15	stechend	<i>1-Butanol</i> <i>Acetaldehyd</i>	↓↓↓ ↑ ~
15	stechend	Propanal	↓ ~
16	Essig	Essigsäure	↓ ~
17	stechend, scharf, beißend	<i>1-Butanol</i>	↓↓↓

Abbildung 53: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 16: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgehellten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

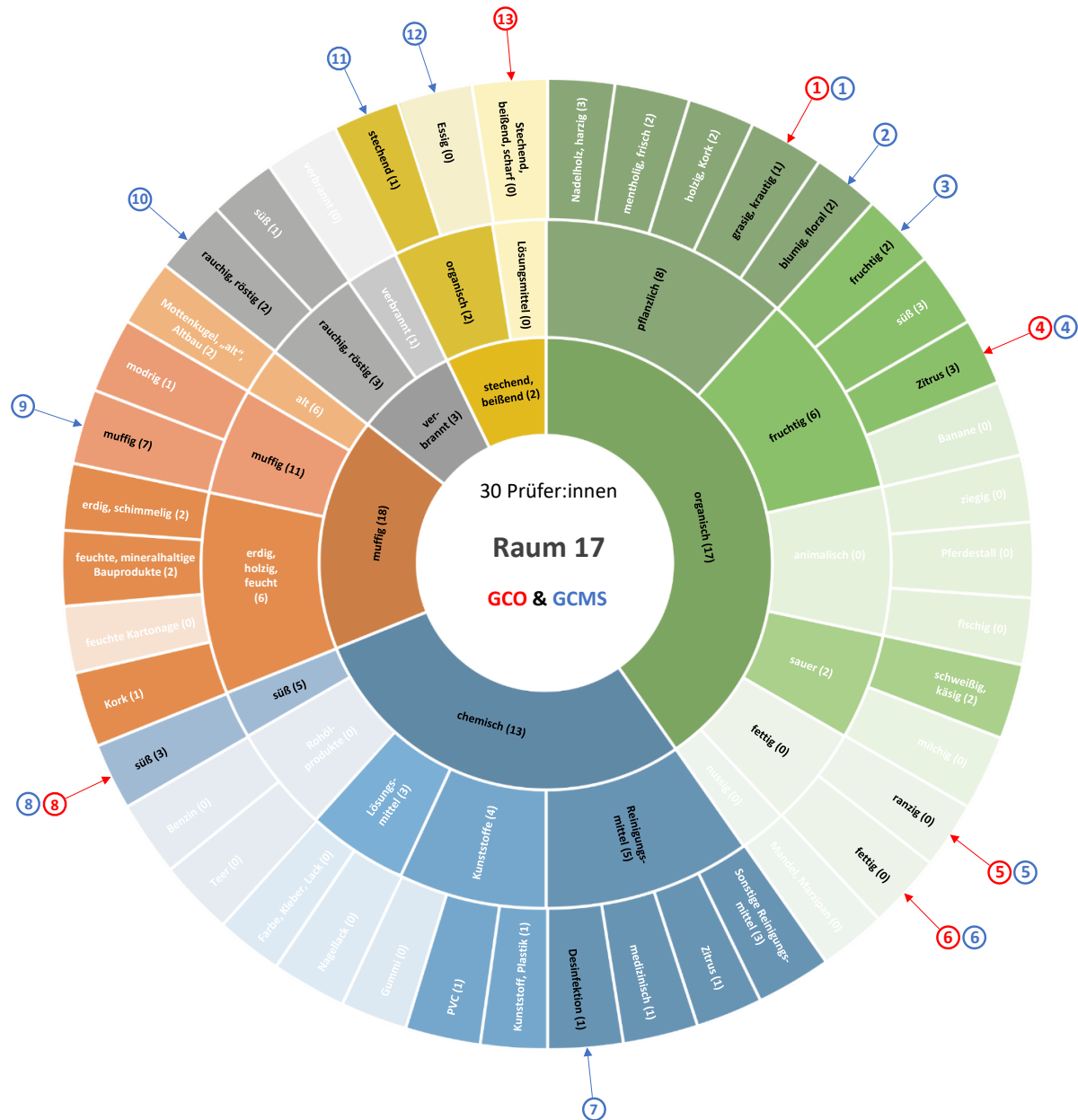
Tabelle 30: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 16: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	Nadelholz, harzig	<i>alpha-Pinen (Dimer)</i>	↓↓
2	mentholig, frisch	2-Ethylhexanol	↓
3	grasig, krautig	<i>Hexanal</i> <i>Nonanal</i>	↑ ↑ ~
4	blumig, floral	Acetaldehyd	↑
5	fruchtig	Pentanal	↑ ~
6	organisch → Zitrus	Heptanal Octanal <i>Nonanal</i> Decanal R-Limonen	↑ ~ ↑↑ ↑ ~ ↓ ~ ↓
7	ranzig	<i>Hexanal</i>	↑↑
8	fettig	Octanal	↑↑
9	chemisch → Zitrus	R-Limonen	↓
10	Desinfektion	Formaldehyd	↓
11	Kunststoff, Plastik	<i>1-Pentanol</i> <i>Styrol</i>	↓↓↓ ↓↓↓
12	PVC	2-Ethylhexanol	↓
13	Gummi	2-Ethylhexanol	↓
14	chemisch → süß	Acetophenon <i>Styrol</i>	↓ ~ ↓↓↓
15	feuchte Kartonage	(E)-2-Nonenal/ (E)-2-Decenal	↑ ~
16	muffig	Pentanal	↑ ~
17	rauchig, röstig	2-Methyl-Propanal 3-Methyl-Butanal	↓ ↓ ~
18	stechend	Butanal Acetaldehyd	↓ ~ ↑
19	Essig	<i>Essigsäure</i>	↓ ~
20	stechend, scharf, beißend	<i>Styrol</i>	↓↓↓

Abbildung 54: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 17: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgehellten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Tabelle 31: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 17: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	grasig, krautig	<i>Hexanal</i> <i>Nonanal</i> Decanal	↑ ~ ↑ ~ ↓ ~
2	blumig, floral	Acetaldehyd	↑ ~
3	fruchtig	Pentanal	↓ ~
4	organisch → Zitrus	Heptanal <i>Octanal</i> <i>Nonanal</i> Decanal	↓ ~ ↑↑ ↑ ~ ↓ ~
5	ranzig	<i>Hexanal</i>	↑ ~
6	fettig	<i>Octanal</i>	↑↑
7	Desinfektion	Formaldehyd	↓
8	chemisch → süß	Acetophenon <i>Toluol</i>	↓ ~ ↓↓↓
9	muffig	Pentanal	↓ ~
10	rauchig, röstig	3-Methyl-Butanal	↓ ~
11	stechend	Acetaldehyd Propanal Butanal	↑ ~ ↓ ~ ↓ ~
12	Essig	Essigsäure	↓
13	stechend, beißend, scharf	<i>Toluol</i>	↓↓↓

Abbildung 55: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 18: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgetrennten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Tabelle 32: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 18: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	mentholig, frisch	2-Ethylhexanol	↓
2	grasig, krautig	<i>Hexanal</i> <i>Nonanal</i> Decanal	↑ ~ ↑ ~ ↓ ~
3	blumig, floral	Acetaldehyd	↑ ~
4	fruchtig	Pentanal	↓ ~
5	organisch → Zitrus	<i>Heptanal</i> Octanal <i>Nonanal</i> Decanal	↓ ~ ↑↑ ↑ ~ ↓ ~
6	Banane	n-Butylacetat	↓
7	milchig	Butansäure	↓ ~
8	ranzig	<i>Hexanal</i>	↑ ~
9	fettig	Octanal	↑↑
10	Kunststoff, Plastik	<i>1-Pentanol</i>	↓↓↓
11	PVC	2-Ethylhexanol	↓
12	Gummi	2-Ethylhexanol	↓
13	Farbe, Kleber, Lack	n-Butylacetat	↓
14	chemisch → süß	Acetophenon <i>o-Xylol</i>	↓ ~ ↓↓↓
15	muffig	Pentanal	↓ ~
16	verbrannt → süß	<i>o-Xylol</i>	↓↓↓
17	stechend	Acetaldehyd <i>Butanal</i>	↑ ~ ↓ ~
18	Essig	<i>Essigsäure</i>	↑ ~

Abbildung 56: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 19: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgehellten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).

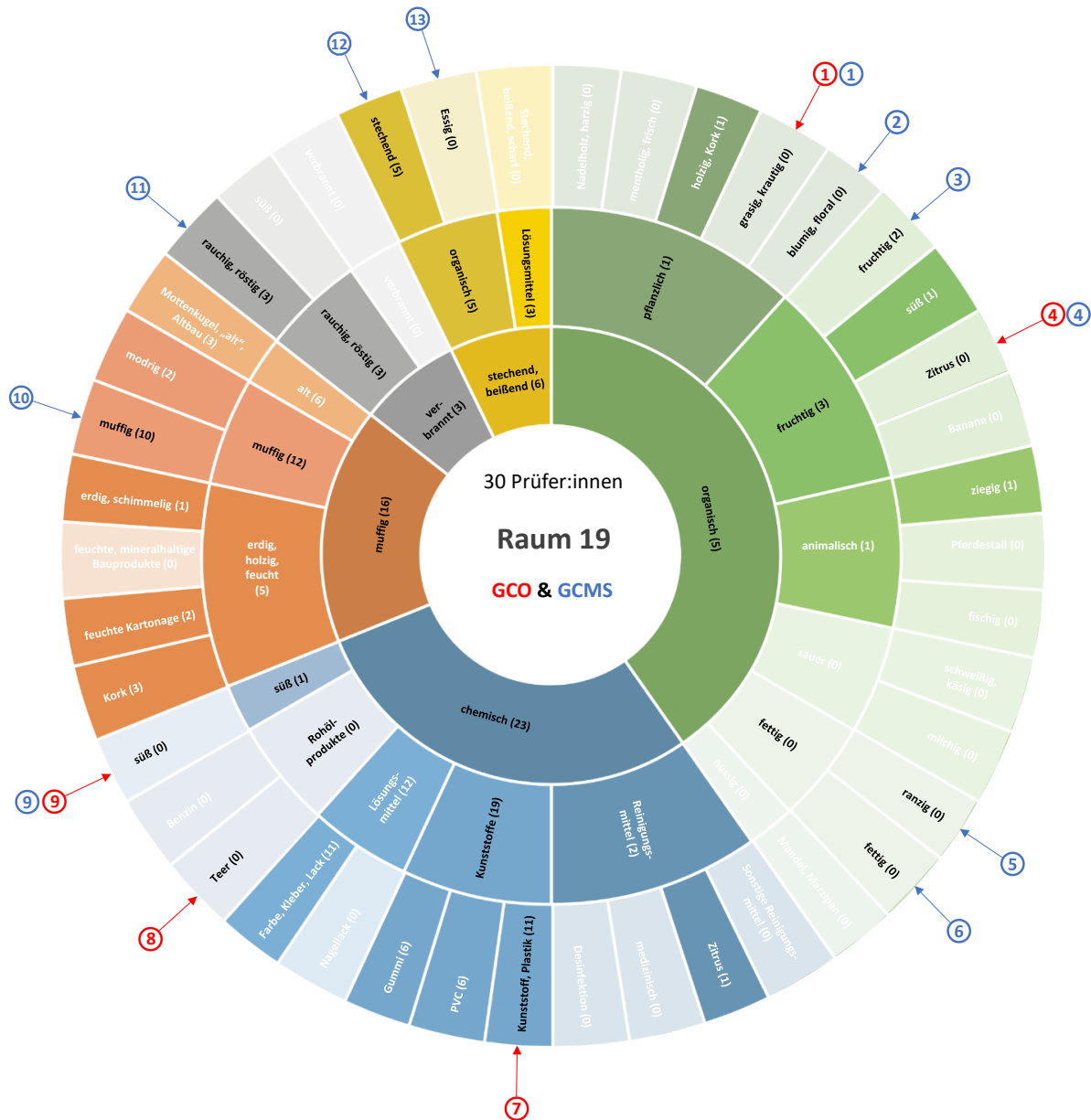


Tabelle 33: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 19: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	grasig, krautig	Hexanal <i>Nonanal</i> Decanal	↓ ~ ↓ ~ ↓ ~
2	blumig, floral	Acetaldehyd	↑ ~
3	fruchtig	Pentanal	↓
4	organisch → Zitrus	Heptanal Octanal <i>Nonanal</i> Decanal	↓ ~ ↑↑ ↓ ~ ↓
5	ranzig	Hexanal	↓ ~
6	fettig	Octanal	↑↑
7	Kunststoff, Plastik	<i>1-Pentanol</i>	≠
8	Teer	<i>Phenol</i>	↓↓
9	chemisch → süß	Acetophenon <i>Phenol</i>	↓ ~ ↓↓
10	muffig	Pentanal	↓
11	rauchig, röstig	3-Methyl-Butanal	↓ ~
12	stechend	Acetaldehyd Propanal Butanal	↑ ~ ↓ ~ ↓ ~
13	Essig	Essigsäure	↓

Abbildung 57: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 20: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgehellten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Tabelle 34: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 20: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	Nadelholz, harzig	<i>delta-3-Caren</i> <i>alpha-Pinen (Dimer)</i> <i>beta-Pinen</i>	↓↓↓ ↓ ↓↓↓
2	mentholig	2-Ethylhexanol	↓ ~
3	holzige, Kork	m-Kresol	↑ ~
4	grasig, krautig	<i>Hexanal</i> Nonanal Decanal	↑ ~ ↓ ~ ↓ ~
5	blumig, floral	Acetaldehyd	↑
6	fruchtig	Pentanal	↑ ~
7	organisch → Zitrus	Heptanal <i>Octanal</i> Nonanal Decanal	↑ ~ ↑↑ ↓ ~ ↓ ~
8	Pferdestall	m-Kresol	↑ ~
9	milchig	Butansäure	↑ ~
10	ranzig	<i>Hexanal</i>	↑ ~
11	fettig	<i>Octanal</i>	↑↑
12	Desinfektion	Formaldehyd	↓
13	PVC	2-Ethylhexanol	↓ ~
14	Gummi	2-Ethylhexanol	↓ ~
15	Teer	Phenol	↓
16	chemisch → süß	1-Butanol Acetophenon Acrolein <i>delta-3-Caren</i> Phenol	↓ ~ ↑ ~ ↓ ~ ↓↓↓ ↓
17	Kork	m-Kresol	↑ ~
18	muffig	<i>2-Methylnaphthalin</i> Pentanal	↓ ~ ↑ ~
19	modrig	1-Methylnaphthalin <i>2-Methylnaphthalin</i>	↓ ↓ ~
20	Mottenkugel, alt, Altbau	1-Methylnaphthalin <i>2-Methylnaphthalin</i>	↓ ↓ ~
21	rauchig, röstig	2-Methyl-Propanal	↓ ~
22	verbrannt	Acrolein	↓ ~
23	stechend	Acetaldehyd Propanal Butanal	↑ ~ ↑ ~ ↑ ~
24	Essig	<i>Essigsäure</i>	↑ ~
25	stechend, scharf, beißend	1-Butanol	↓ ~

Abbildung 58: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 21: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgetrennten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt sensorisch (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) und analytisch über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Tabelle 35: Geruchsradanwendung (Version 2) Raum 21: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	Nadelholz, harzig	<i>alpha-Pinen(Dimer)</i>	↓
2	mentholig, frisch	2-Ethylhexanol	↓
3	holzige, Kork	<i>m-Kresol</i>	↑ ~
4	grasig, krautig	<i>Hexanal</i> <i>Nonanal</i> <i>Decanal</i>	↑ ↑ ~ ↓ ~
5	blumig, floral	Acetaldehyd	↑↑
6	fruchtig	Pentanal	↑ ~
7	organisch → Zitrus	Heptanal <i>Octanal</i> <i>Nonanal</i> <i>Decanal</i>	↑ ~ ↑↑ ↑ ~ ↓ ~
8	Pferdestall	<i>m-Kresol</i>	↑ ~
9	ranzig	<i>Hexanal</i>	↑
10	fettig	<i>Octanal</i>	↑↑
11	Desinfektion	Formaldehyd	↓
12	PVC	2-Ethylhexanol	↓
13	Gummi	2-Ethylhexanol	↓
14	chemisch → süß	<i>Acetophenon</i> Acrolein 1-Butanol	↓ ~ ↓ ↓ ~
15	Kork	<i>m-Kresol</i>	↑ ~
16	muffig	Pentanal	↑ ~
17	modrig	1-Methylnaphthalin	↓
18	Mottenkugel, alt, Altbau	1-Methylnaphthalin	↓
19	rauchig, röstig	2-Methyl-Propanal <i>3-Methyl-Butanal</i>	↓ ↓ ~
20	verbrannt	Acrolein	↓
21	stechend	Acetaldehyd 1-Butanol Propanal Butanal	↑↑ ↓ ~ ↑ ~ ↑ ~
22	Essig	<i>Essigsäure</i>	↑ ~
23	stechend, scharf, beißend	1-Butanol	↓ ~

Ein weiterer Ansatz zur Einschätzung, wie gut das Geruchsrads zur Identifizierung von Geruchsstoffen geeignet ist, ist es, die von Prüfer:innen gewählten Geruchsnoten für die Betrachtung zugrunde zu legen. Hierbei werden solche Substanzen betrachtet, die den gewählten Geruchsnoten zugeordnet sind. Beispielsweise für die Geruchsnote „muffig“ sind drei Substanzen hinterlegt, sodass die Wahl von nur einer Geruchsnote zu mehreren möglichen Einzelsubstanzen führen kann. Diese Betrachtung (siehe Tabelle 36) bezieht ausschließlich die dritte, detaillierteste Ebene des Geruchsrads ein.

Tabelle 36: Vergleich von mit Geruchsnoten assoziierten Einzelsubstanzen und chemisch- sowie sensorisch-analytischen Detektionen.

Gegenüberstellung der mittels gewählter Geruchsnoten identifizierten Einzelsubstanzen mit Daten aus HPLC, GC-MS und GC-MS-Sniffing. Unterteilung der Daten in Ergebnisse von trainierten, untrainierten und allen Prüfer:innen.

Raum	Anzahl gefundener Substanzen*	Untrainierte Prüfer:innen (n=20)		Trainierte Prüfer:innen (n = 10)		Alle Prüfer:innen (n=30)	
		Anzahl assoziierter Einzel- substanzen**	Anzahl analytisch bestätigt (%)***	Anzahl assoziierter Einzel- substanzen	Anzahl analytisch bestätigt (%)*	Anzahl assoziierter Einzel- substanzen**	Anzahl analytisch bestätigt (%)***
1	21	33	11 (33 %)	37	10 (27 %)	41	11 (27 %)
2	18	37	11 (30 %)	26	7 (27 %)	40	12 (30 %)
3	18	44	10 (23 %)	42	12 (29 %)	56	14 (25 %)
4	11	41	6 (15 %)	36	4 (11 %)	54	9 (17 %)
5	10	45	5 (11 %)	45	8 (18 %)	54	8 (15 %)
6	14	25	3 (12 %)	33	6 (18 %)	37	7 (19 %)
7	15	32	4 (13 %)	8	1 (13 %)	35	4 (11 %)
8	13	46	9 (20 %)	38	6 (16 %)	48	9 (19 %)
9	15	34	9 (26 %)	38	6 (16 %)	43	9 (21 %)
10	13	26	5 (19 %)	39	8 (21 %)	40	8 (20 %)
11	18	34	13 (38 %)	40	12 (30 %)	46	15 (33 %)
12	18	36	8 (22 %)	39	10 (26 %)	45	12 (27 %)
13	20	37	13 (35 %)	28	10 (36 %)	40	14 (35 %)
14	19	33	12 (36 %)	41	12 (29 %)	52	17 (33 %)
15	15	37	9 (24 %)	36	8 (22 %)	42	10 (24 %)
16	19	25	9 (36 %)	40	10 (25 %)	50	14 (28 %)
17	15	40	7 (18 %)	37	13 (35 %)	50	13 (26 %)
18	16	37	8 (22 %)	19	3 (16 %)	38	9 (24 %)
19	14	30	6 (20 %)	28	6 (21 %)	35	6 (17 %)

Raum	Anzahl gefundener Substanzen*	Untrainierte Prüfer:innen (n=20)		Trainierte Prüfer:innen (n = 10)		Alle Prüfer:innen (n=30)	
20	24	37	14 (38 %)	34	11 (32 %)	39	14 (36 %)
21	20	44	16 (36 %)	39	11 (28 %)	46	16 (35 %)
Ø	17		(25 %)		(24 %)		(25 %)

* Einzelsubstanzen detektiert mittels HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing.

** Einzelsubstanzen, die über die von Prüfer:innen gewählten Geruchsnoten abgeleitet werden können.

*** Anzahl analytisch mittels GC-MS, GC-MS-Sniffing oder HPLC bestätigter Einzelsubstanzen. Es wurden nur Stoffe berücksichtigt, deren Expositionskonzentration nicht mehr als das Zehnfache unterhalb der Geruchsschwelle lag. Der Grund dafür ist, dass die Wahrscheinlichkeit, dass die Testpersonen diese Stoffe in der Raumluft unterhalb dieser Schwelle wahrnehmen, praktisch null ist.

3.7 Validierung mittels Twinrooms

Insgesamt wurden 4 sogenannte Twinrooms mit jeweils einem individuellen Substanzmix beduftet (vgl. Kapitel 2.5). In den folgenden Kapiteln finden sich die zugesetzten Substanzen zusammen mit den dosierten Mengen, rechnerisch erwarteten Konzentrationen im jeweiligen Raum sowie mittels GC-MS und HPLC gefundenen Konzentrationen, zugrunde gelegte Geruchsschwellen und Wiederfindung sowohl im GC-MS-Sniffing als auch in der Geruchsradanwendung durch Prüfer:innen.

3.7.1 Twinroom 1

In dem ersten Twinroom wurden insgesamt vier Substanzen verdampft. Diese waren 1-Butanol, Hexanal, alpha-Pinen (Dimer) und 2-Phenoxyethanol (siehe Tabelle 37).

Für 2-Phenoxyethanol wurde von einer Geruchsschwelle von $4,2 \text{ mg/m}^3$ ausgegangen, während der Arbeitsplatzgrenzwert bei $5,7 \text{ mg/m}^3$ [36] liegt. Aus diesem Grunde wurden etwa $5,3 \text{ mg/m}^3$ dosiert. Letztendlich konnten mittels GC-MS lediglich $53,6 \text{ µg/m}^3$ wiedergefunden werden. Ebenso konnte 2-Phenoxyethanol nicht mittels GC-MS-Sniffing gefunden werden. Auch 1-Butanol konnte im GC-MS-Sniffing nicht wiedergefunden werden, obwohl es über Faktor 10 oberhalb der Geruchsschwelle mittels GC-MS gefunden wurde. Neben 1-Butanol und 2-Phenoxyethanol wurde ebenso Butanal, unterhalb der angenommenen Geruchsschwelle, gefunden. Butanal kann ebenfalls ursächlich für einen als stechend wahrgenommenen Geruch sein. Aufgrund der hohen Konzentration von 1915 µg/m^3 war die Wahrscheinlichkeit, dass 1-Butanol maßgeblich zum stechenden Geruchscharakter des Raumes beiträgt, sehr hoch.

Hexanal findet sich ebenfalls durch die Bewertung von Prüfer:innen im Geruchsrad wieder.

Tabelle 37: Parameter Substanzen zur Beduftung von Twinroom 1.

Raum 1 – Substanzen / CAS-Nr.	dosierte Menge in µL	Reinheit Substanz in %	erwartete Konzentration in µg/m^3	mittels GC-MS gefundene Konzentration in µg/m^3	ODT in µg/m^3	gefunden im GC-MS-Sniffing	gefunden im Geruchsrad
1-Butanol / 71-36-3	300	100	9000	1915	123	nein	ja*
Hexanal / 66-25-1	0,2	98	8,6	4,5	1,4	ja	ja**
alpha-Pinen (Dimer) / 80-56-8	5	97	150	141,6	100	ja	nein
2-Phenoxyethanol / 122-99-6	130	100	5344	53,6	4200	nein	ja***

* gefunden über Geruchsnote „organisch – stechend (3)“ und „Lösungsmittel – stechend, beißend (3)“

** gefunden über Geruchsnoten „grasig, krautig (1)“ und „ranzig (3)“

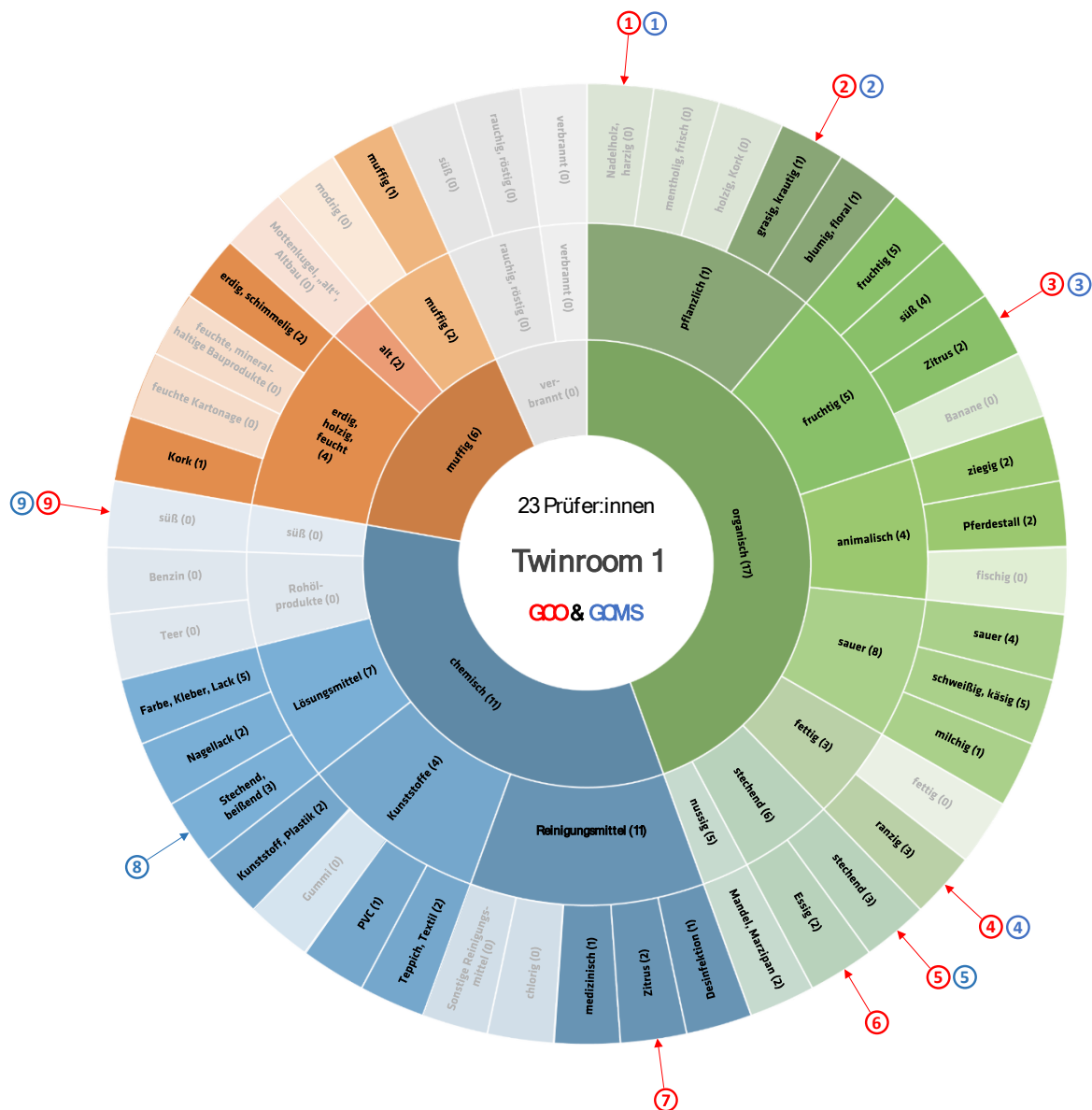
*** gefunden über Geruchsnoten „organisch – stechend (3)“ und „Lösungsmittel – stechend, beißend (3)“

Im Vergleich der Daten, die aus der chemisch-analytischen und der sensorisch-analytischen Bewertung gewonnen werden konnten zu den Bewertungen durch Prüfer:innen in der dritten Ebene des Geruchsrads, konnten sieben Überschneidungen festgestellt werden (vgl. Abbildung 59 und Tabelle 38). Für zwei in der Analytik gefundene Substanzen (alpha-Pinen mit

Geruchsnote „Nadelholz, harzig“ und 1-Butanol mit Geruchsnote „chemisch – süß“) konnte keine Übereinstimmung mit den Prüfer:innen-Bewertungen der dritten Ebene im Geruchsrads gefunden werden. Damit finden sich für 78 % der gewonnenen Daten Übereinstimmungen. Bezogen auf Bewertungen durch Prüfer:innen in der zweiten Ebene des Geruchsrads ergeben sich acht von neun möglichen Überschneidungen (89 %).

Abbildung 59: Geruchsradanwendung (finale Version) Twinroom 1: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgehellten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Der Vergleich rein humansensorischer Bewertungen mit Ergebnissen aus der chemisch-analytischen und sensorisch-analytischen Bewertung sind in der folgenden Tabelle 38 zusammengestellt.

Tabelle 38: Geruchsradanwendung (finale Version) Twinroom 1: Vergleich rein humansensorischer, chemisch-analytischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	Nadelholz, harzig	<i>alpha-Pinen (Dimer)</i>	↑ ~
2	grasig, krautig	<i>Hexanal</i> <i>Nonanal</i> <i>Decanal</i>	↑ ~ ↓ ~ ↓ ~
3	organisch → Zitrus	<i>Nonanal</i> <i>Decanal</i>	↓ ~ ↓ ~
4	ranzig	<i>Hexanal</i>	↑ ~
5	stechend	1-Butanol <i>Butanal</i>	↑↑
6	Essig	<i>Essigsäure</i>	≠
7	chemisch → Zitrus	<i>Limonen</i>	↓↓
8	stechend, beißend	1-Butanol	↑↑
9	chemisch → süß	1-Butanol <i>2-Butoxyethanol</i> <i>Acetophenon</i>	↑↑ ↓↓↓ ↓ ~

3.7.2 Twinroom 2

Im zweiten Twinroom wurden insgesamt vier Substanzen verdampft. Diese waren Pentanal, Hexanal, Limonen und Acetophenon (siehe Tabelle 39).

Während Limonen knapp um Faktor 3 oberhalb der Geruchsschwelle dosiert wurde, aber lediglich 10 % bezogen auf die Geruchsschwelle wiedergefunden werden konnte, wurden für alle anderen Substanzen Konzentrationen oberhalb der Geruchsschwelle mittels GC-MS wiedergefunden. Trotz der verhältnismäßig geringen Dosierung von Limonen, scheint es über die Bewertung durch Prüfer:innen im Geruchsrads wiedergefunden zu werden. Für den zitrusartigen Geruch können allerdings ebenfalls Nonanal und Decanal ursächlich sein, die beide Faktor 2 bis 3 unterhalb der Geruchsschwelle mittels GC-MS detektiert werden konnten.

Alle in diesen Raum verdampften Substanzen lassen sich über die Bewertung mit Prüfer:innen im Geruchsrads wiederfinden.

Tabelle 39: Parameter Substanzen zur Beduftung von Twinroom 2.

Raum 2 – Substanzen / CAS-Nr.	dosierte Menge in µL	Reinheit Substanz in %	erwartete Konzentration in µg/m ³	mittels GC-MS gefundene Konzentration in µg/m ³	ODT in µg/m ³	gefunden im GC-MS-Sniffing	gefunden im Geruchsrads
Pentanal / 110-62-3	0,5	97	10	4,5	1,5	nein	ja*
Hexanal / 66-25-1	0,2	98	8,6	3,3	1,4	ja	ja**
Limonen / 138-86-3	20	95	590	20,5	210	ja	ja***
Acetophenon / 98-86-2	5	100	190	44,5	1,2	ja	ja****

* gefunden über Geruchsnoten „fruchtig (6)“ und „muffig (1)“

** gefunden über Geruchsnoten „grasig, krautig (1)“ und „ranzig (2)“

*** gefunden über Geruchsnoten „fruchtig - Zitrus (3)“ und „chemisch - Zitrus (3)“

**** gefunden über Geruchsnote „chemisch - süß (7)“

Im Vergleich der Daten, die aus der chemisch-analytischen und der sensorisch-analytischen Bewertung gewonnen wurden, konnten mit den Bewertungen durch Prüfer:innen in der dritten Ebene des Geruchsrads sieben Überschneidungen festgestellt werden (vgl. Abbildung 60 und Tabelle 40). Damit konnten 100 % der in den Twinroom eingebrachten Substanzen nachgewiesen werden.

Abbildung 60: Geruchsradanwendung (finale Version) Twinroom 2: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgehellten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Der Vergleich rein humansensorischer Bewertungen mit Ergebnissen aus der chemisch-analytischen und sensorisch-analytischen Bewertung sind in der folgenden Tabelle 40 zusammengestellt.

Tabelle 40: Geruchsradanwendung (finale Version) Twinroom 2: Vergleich rein humansensorischer, chemisch-analytischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	grasig, krautig	<i>Hexanal</i> <i>Nonanal</i> <i>Decanal</i>	↑ ~ ↓ ~ ↓ ~
2	fruchtig	Pentanal	↑ ~
3	organisch → Zitrus	<i>Nonanal</i> <i>Decanal</i> <i>Limonen</i>	↓ ~ ↓ ~ ↓↓
4	ranzig	<i>Hexanal</i>	↑ ~
5	Sonstige Reinigungsmittel	<i>Trichloromonofluoromethan</i>	↓↓↓
6	chemisch → süß	<i>Acetophenon</i>	↑↑
7	muffig	Pentanal	↑ ~

3.7.3 Twinroom 3

Im dritten Twinroom wurden insgesamt drei Substanzen verdampft. Diese waren Ethylacetat, Benzaldehyd und p-Kresol (siehe Tabelle 41).

Alle Substanzen erzielten in der Überprüfung mittel GC-MS-Analytik mindestens Konzentrationen, um Faktor 2 oberhalb der Geruchsschwelle. Während Ethylacetat und p-Kresol in der Bewertung durch Prüfer:innen unter Anwendung des Geruchsrads wiedergefunden werden konnten, konnte Benzaldehyd nicht von Prüfer:innen herausgerochen werden.

Tabelle 41: Parameter Substanzen zur Beduftung von Twinroom 3.

Raum 3 – Substanzen / CAS-Nr.	dosierte Menge in µL	Reinheit Substanz in %	erwartete Konzentration in µg/m³	mittels GC-MS gefundene Konzentration in µg/m³	ODT in µg/m³	gefunden im GC-MS-Sniffing	gefunden im Geruchsrads
Ethylacetat / 141-78-6	500	100	16560	1242,6	880	ja	ja**
Benzaldehyd / 100-52-7	15	100	600	159,1	85	ja	nein
p-Kresol* / 106-44-5	20	-	0,86	0,6	0,24	ja	ja***

* Ansatz aus Feststoff mit 11,6 mg auf 10 mL ISO-Propanol und einer resultierenden Konzentration von 1,16 mg/mL.

** gefunden über Geruchsnote „Nagellack (4)“

*** gefunden über Geruchsnote „Pferdestall (2)“

Im Vergleich der Daten, die aus der chemisch-analytischen und der sensorisch-analytischen Bewertung gewonnen wurden, konnten mit den Bewertungen durch Prüfer:innen in der dritten Ebene des Geruchsrads in sieben von 11 Fällen Überschneidungen festgestellt werden (vgl.

Abbildung 61 und Tabelle 42). Damit können 64 % der analytisch nachgewiesenen Substanzen mit Bewertungen durch Prüfer:innen unter Anwendung des Geruchsrads in der dritten Ebene bestätigt werden. Werden Bewertungen der zweiten Ebene in Betracht gezogen, ergeben sich 82 % Übereinstimmung.

Abbildung 61: Geruchsradanwendung (finale Version) Twinroom 3: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgehellten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Der Vergleich rein humansensorischer Bewertungen mit Ergebnissen aus der chemisch-analytischen und sensorisch-analytischen Bewertung sind in der folgenden Tabelle 42 zusammengestellt.

Tabelle 42: Geruchsradanwendung (finale Version) Twinroom 3: Vergleich rein humansensorischer, chemisch-analytischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	Nadelholz, harzig	<i>alpha-Pinen (Dimer)</i>	↓↓
2	grasig, krautig	Hexanal	↑ ~
		<i>Nonanal</i>	↓ ~
		<i>Decanal</i>	↓ ~
3	Zitrus	<i>Nonanal</i>	↓ ~
		<i>Decanal</i>	↓ ~
		<i>Limonen</i>	↓↓
4	Pferdestall	<i>p-Kresol</i>	↑ ~
5	ranzig	Hexanal	↑ ~
6	Essig	<i>Essigsäure</i>	↓ ~
7	Mandel, Marzipan	<i>Benzaldehyd</i>	↑ ~
8	Nagellack	<i>Ethylacetat</i>	↑ ~
9	Benzin	<i>Ethylbenzol</i>	↓↓
10	süß	<i>Acetophenon</i>	↑ ~
11	rauchig, röstig	<i>3-Methyl-Butanal</i>	↑

3.7.4 Twinroom 4

Im vierten Twinroom wurden insgesamt vier Substanzen verdampft. Diese waren Capronsäure, 2-Ethylhexanol, 2-Methylnaphthalin und Acetophenon (siehe Tabelle 43).

Capronsäure konnte trotz einer Dosierung um Faktor 10 oberhalb der Geruchsschwelle weder mittels GC-MS noch mittel GC-MS-Sniffing oder Bewertungen durch Prüfer:innen mittels Geruchsrads wiedergefunden werden. Denkbar wären Senkeneffekte im Innenraum, die dazu führten, dass Capronsäure nicht mehr im mess- oder riechbaren Bereich in der Gasphase vorhanden waren.

Alle weiteren Substanzen erzielten in der Überprüfung mittel GC-MS-Analytik mindestens Konzentrationen, um Faktor 4 bis 38 oberhalb der Geruchsschwelle und konnten mittels Geruchsrads wiedergefunden werden. 2-Ethylhexanol konnte im GC-MS-Sniffing nicht gefunden werden.

Tabelle 43: Parameter zur Beduftung von Twinroom 4.

Raum 4 – Substanzen / CAS-Nr.	dosierte Menge in µL	Reinheit Substanz in %	erwartete Konzentration in µg/m ³	mittels GC-MS gefundene Konzentration in µg/m ³	ODT in µg/m ³	gefunden im GC-MS-Sniffing	gefunden im Geruchsrads
Capronsäure / 142-62-1	1	98	30	-	2,9	nein	nein
2-Ethylhexanol / 104-76-7	30	100	900	230,2	50	nein	ja**
2-Methylnaphthalin* / 91-57-6	90	-	20,7	9,0	1,6	ja	ja***
Acetophenon / 98-86-2	5	100	190	46,0	1,2	ja	ja****

* Ansatz aus Feststoff mit 62 mg auf 10 mL ISO-Propanol und einer resultierenden Konzentration von 6,2 mg/mL.

** gefunden über Geruchsnote „mentholig, frisch (1)“

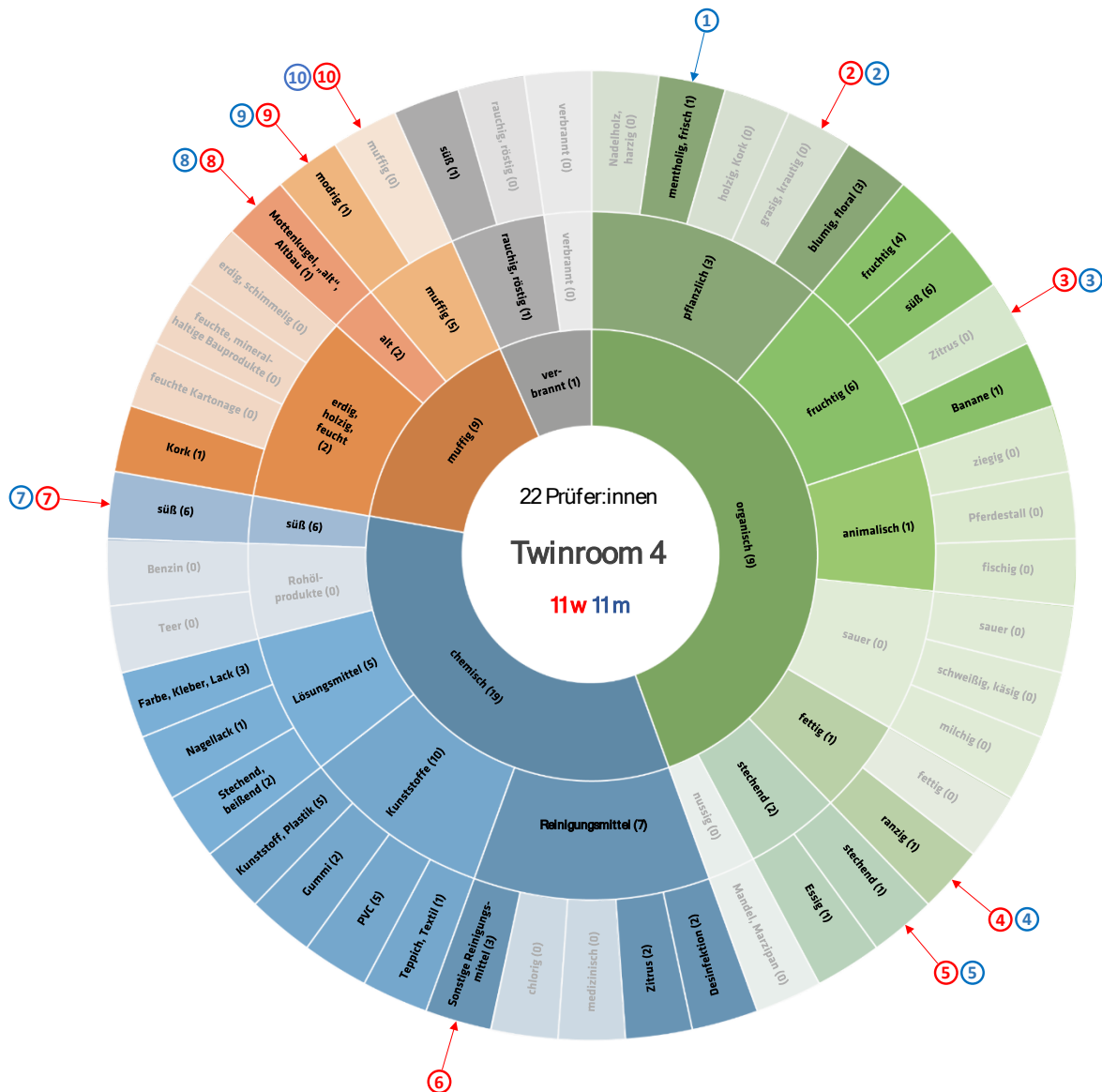
*** gefunden über Geruchsnoten „Mottenkugel, alt, Altbau (1)“, „modrig (1)“

**** gefunden über Geruchsnote „chemisch - süß (6)“

Im Vergleich der Daten, die aus der chemisch-analytischen und der sensorisch-analytischen Bewertung gewonnen wurden, konnten mit den Bewertungen durch Prüfer:innen in der dritten Ebene des Geruchsrads in sieben von 10 Fällen Überschneidungen festgestellt werden (vgl. Abbildung 62 und Tabelle 44). Damit können 70 % der gefundenen Substanzen durch die Bewertungen von Prüfer:innen in der dritten Ebene, bestätigt werden. Wurden Bewertungen der zweiten Ebene mit betrachtet, konnte eine 100%ige Wiederfindung erzielt werden.

Abbildung 62: Geruchsradanwendung (finale Version) Twinroom 4: Vergleich rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten.

Zusammenfassung der Nennungen bei der Raumbewertung durch Prüfer:innen. Zahlen in Klammern () geben die Gesamtzahl an Nennungen durch Prüfer:innen an. Geruchscharaktere in aufgehellten Feldern wurden durch Prüfer:innen nicht markiert und konnten damit rein humansensorisch nicht wiedergefunden werden. Fett gedruckte Charaktere wurden direkt oder indirekt (direkt in der dritten Ebene oder indirekt mittels erster oder zweiter Ebene) über HPLC, GC-MS oder GC-MS-Sniffing gefunden. Abbildungshinweise und eine Legende zur Symbolik finden sich in Tabelle 13 auf Seite 7).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Der Vergleich rein humansensorischer Bewertungen mit Ergebnissen aus der chemisch-analytischen und sensorisch-analytischen Bewertung sind in der folgenden Tabelle 44 zusammengestellt.

Tabelle 44: Geruchsradanwendung (finale Version) Twinroom 4: Vergleich rein humansensorischer, chemisch-analytischer und sensorisch-analytischer Daten.

Übersicht zur Wiederfindung humansensorischer und (sensorisch-) analytischer Ergebnisse. *Kursiv* dargestellte Substanzen wurden mittels GC-MS-Sniffing detektiert. Die Relation der Konzentration zur Geruchsschwelle gibt Aufschluss über die Detektion mittels GC-MS / HPLC. Mittels ≠ markierte Substanzen konnten analytisch nicht nachgewiesen werden.

Nr.	Geruchsnote Ebene 3	Substanz(en)	Relation Konzentration zur Geruchsschwelle
1	mentholig, frisch	2-Ethylhexanol	↑
2	grasig, krautig	<i>Hexanal</i> <i>Decanal</i>	↑ ~ ↓ ~
3	Zitrus	<i>Decanal</i>	↓ ~
4	ranzig	<i>Hexanal</i>	↑ ~
5	stechend	<i>Butanal</i> <i>Essigsäure</i>	↓ ~ ↓↓
6	Sonstige Reinigungsmittel	<i>Trichloromonofluoromethan</i>	↓↓↓
7	süß	<i>2-Butoxyethanol</i> <i>Acetophenon</i> <i>delta-3-Caren</i>	↓↓↓ ↑↑ ↓↓↓
8	Mottenkugel, alt, Altbau	<i>2-Methylnaphthalin</i>	↑
9	modrig	<i>2-Methylnaphthalin</i>	↑
10	muffig	<i>2-Methylnaphthalin</i>	↑

3.8 Diskussion der Ergebnisse

Das Geruchsrads für Innenräume wurde entwickelt, um die Kommunikation zwischen Raumnutzenden und Sachverständigen zu erleichtern, die Auswahl geeigneter Messtechniken zu unterstützen und die Ursachenfindung von Geruchsbeschwerden zu begleiten. Basierend auf Literaturrecherchen und Expert:inneninterviews wurde eine ursprüngliche Liste von über 200 Einzelsubstanzen auf die 64 geruchsrelevantesten Substanzen reduziert. Im Rahmen des Projektes wurden letztendlich 66 Einzelsubstanzen den insgesamt 45 Geruchsnoten auf dem Geruchsrads zugeordnet.

Aus der praktischen Überprüfung der Anwendbarkeit des Geruchsrads (vgl. Kapitel 3.5.2), das im A4-Format zur Verfügung gestellt wurde, wurde von den Prüfer:innen vermehrt die Lesbarkeit des Geruchsrads kritisch angemerkt. Diese Anmerkungen bezogen sich dabei insbesondere auf Schriftgröße und Ausrichtung der Geruchscharaktere im Geruchsrads. Ersteres ließ sich aus Platzgründen nur schwer verändern – die Bereitstellung des Geruchsrads im A3-, anstatt im A4-Format wurde hierfür als praktikable Lösung gesehen. Das finale Geruchsrads in der Handlungshilfe zu diesem Bericht kann in der jeweils bevorzugten Größe ausgedruckt werden. Bezüglich der Ausrichtung fiel auf, dass das Geruchsrads für die Anwendung im Hochformat gedruckt, allerdings von den Prüfer:innen im Querformat verwendet wurde, sodass die eigentlich vorgesehene Lesrichtung der Beschriftungen für die Prüfer:innen nicht ersichtlich war. Hier wurde die Ausrichtung des Geruchsrads für künftige Messungen deutlicher markiert, sodass bei der Anwendung eine korrekte Ausrichtung und Lesbarkeit sichergestellt waren. Weiterhin wurde für die finale Version des Geruchsrads die Schriftfarbe in schwarz geändert, um einen höheren Kontrast und eine insgesamt bessere Lesbarkeit zu gewährleisten.

Die Bildwelten wurden als unterschiedlich hilfreich wahrgenommen. Einigkeit bestand darüber, dass einige Bilder schlecht zu erkennen waren. Dies wurde über Bildbearbeitung oder eine Auswahl anderer Bilder, behoben. Weiterhin wurden Ausdrücke im A3-Format empfohlen, auf denen die Bilder grundsätzlich besser erkannt werden können.

Für die Bewertung der Innenräume und die Anwendung des Geruchsrads sollten gleiche Geschlechterverhältnisse zwischen Männern und Frauen (je fünf trainierte Frauen und Männer und je 10 untrainierte Frauen und Männer) sichergestellt werden. Insgesamt war der Frauenanteil, insbesondere durch Überrekrutierung, im Rahmen der Raumbewertungen etwas höher, als der Anteil an Männern. In der Mehrheit der Räume (mit Ausnahmen der Räume 1, 2, 3 und 7) wurde das Geschlechterverhältnis zwischen Männern und Frauen eingehalten (vgl. Kapitel 3.5.1).

Insgesamt zeigte sich ein Trend, nach dem insbesondere trainierten Frauen, entsprechend ihrer Selbsteinschätzung, die Anwendung des Geruchsrads leichter fiel. Ebenso empfanden Frauen das Geruchsrads insgesamt als optisch am ansprechendsten (vgl. Kapitel 3.5.2). Weiterhin fanden trainierte Frauen eher auch eigene geruchsbeschreibende Worte, wenn diese nicht im Geruchsrads abgebildet waren. Der Vergleich von Männern und Frauen ließ dennoch insgesamt kaum Unterschiede in der Bewertung des Geruchsrads erkennen (vgl. Kapitel 3.5.3). Ebenso zeigt der Vergleich von trainierten und untrainierten Prüfer:innen (vgl. Tabelle 36, Kapitel 3.6) keine signifikanten Unterschiede.

Vielfach wurden zusätzliche Begriffe wie „Teppich, textil“, „abgestanden“, „trocken“, „staubig“ und „Urin“ genannt, aber auch Assoziationen wie „Schule“ oder „Bibliothek“. Insbesondere

Geruchsscharaktere wie „abgestanden“ oder „trocken“ beziehen sich aber eher auf Raumluftparameter wie Luftfeuchtigkeit und dürften sich damit schwerlich über Einzelsubstanzen darstellen lassen. Die Geruchsnote „Teppich, textil“ lässt sich hingegen mit passenden Substanzen korrelieren und wurde ins Geruchsrads aufgenommen (vgl. Kapitel 3.3.4). Eine Aufnahme von Geruchsnoten wie „Urin“ erscheint hingegen nicht sinnvoll, da die Quellen hierfür meist offensichtlich sind und das Geruchsrads nicht für die Bewertung offensichtlicher Quellen von Geruch vorgesehen ist. Aus denselben Gründen wurden Geruchsscharaktere wie „Zigarettenrauch“ nicht im Rad berücksichtigt.

Neben der rein humansensorischen Anwendung des Geruchsrads, ergaben sich auch aus den rein analytischen (GC-MS) sowie aus der sensorisch-analytischen (GC-MS-Sniffing) Untersuchungen wichtige Erkenntnisse für die Anwendbarkeit und eine mögliche Weiterentwicklung des Geruchsrads. Auf der einen Seite konnte eine Vielzahl an Substanzen sowohl in der Anwendung des Geruchsrads durch Prüfer:innen als auch bei der sensorisch-analytischen Datenerfassung (vgl. Kapitel 3.6) bestätigt werden. Auf der anderen Seite wurde deutlich, dass je nach Innenraum, nicht für alle Substanzen die Wiederfindung von GC-MS und GC-MS-Sniffing Daten und den Bewertungen von Prüfer:innen mit Hilfe des Geruchsrads möglich war. Für insgesamt 8 der 21 Räume ergab sich eine Übereinstimmung zwischen Analytik und der Auswahl von Geruchsnoten in der dritten Ebene von über 70 %, während in weiteren 2 Innenräumen (Raum 7 und 19) nur weniger als 50 % Übereinstimmungen zu finden waren. Hierfür können zum einen die generelle Geruchsintensität im jeweiligen Raum, aber auch die Zusammensetzung von einzelnen Substanzen, deren gemeinsames Vorkommen im Innenraum einen „Mischgeruch“ hervorruft, ursächlich sein. Weiterhin konnten für die Bewertung von Raum 7 lediglich 20 Prüfer:innen akquiriert werden, von denen nur 3 Prüfer:innen für Geruchsbewertungen trainiert waren. Insgesamt konnte, über alle 21 Raumbewertungen hinweg, eine durchschnittliche Übereinstimmung von Analytik und Sensorik in der dritten Ebene von 66 % gefunden werden. Werden Rückschlüsse über die zweite Ebene gezogen, ergeben sich im Mittel über 91 % an Übereinstimmung zwischen Analytik und Sensorik.

Wurde über die durch Prüfer:innen gewählten Geruchsnoten, auf die potentiell ursächlichen Einzelsubstanzen rückgeschlossen, so konnten durchschnittlich 25 % dieser Substanzen analytisch bestätigt werden.

Insgesamt finden sich in 19 Innenräumen Überschneidungen von Acetaldehyd aus der Analytik mit der Geruchsnote „stechend“ aus der humansensorischen Geruchsradanwendung. Für die Geruchsnote „blumig“ ergeben sich 12 Überschneidungen. Weitere 18 bzw. 17 Überschneidungen ergeben sich für Butyraldehyd und Valeraldehyd für die Geruchsnoten „stechend“ und „muffig“. Ebenso finden sich für Hexanal mittels „ranzig“, Hexanal, Nonanal und Decanal mittels „krautig“ jeweils 8 und für Propanal mittels „stechend“ 11 Innenräume mit Überschneidungen. Für die Geruchsnote „Zitrus“ ergeben sich für die Aldehyde weitere 6 bis 7 Übereinstimmungen zwischen Analytik und Humansensorik. Die Gruppe der Aldehyde wird damit analytisch verhältnismäßig oft gefunden und kann gut über Bewertungen mittels Geruchsrads bestätigt werden. Weiterhin werden Acetophenon und 1-Butanol häufig mittels „chemisch süß“ gefunden und 2-Ethylhexanal für „PVC“ und „Gummi“. Naphthalin konnte in 7 Fällen mit einem „muffigen“ Geruch im Raum in Übereinstimmung gebracht werden. In diesen Räumen finden sich auch Überschneidungen mit weiteren naphthalinähnlichen Verbindungen.

Die Validierungsmessungen in 4 Twinrooms wurden mit jeweils 11 Männern (6 trainierte und 5 untrainierte) und mit 12 bzw. 11 Frauen (je 6 trainierte für alle Twinrooms sowie 6 untrainierte für die Twinrooms 1&2 und 5 untrainierte für die Twinrooms 3&4) und damit in einem fast ausgeglichenen Geschlechterverhältnis bewertet. Auf die Räume verteilt wurden insgesamt 15 Einzelsubstanzen für die Geruchsbewertung eingesetzt und verdampft. Insgesamt 12 dieser Stoffe konnten durch Prüfer:innen mittels Geruchsradanwendung im Raum und der Auswahl zutreffender Geruchsnoten der dritten Ebene wiedergefunden werden. Das entspricht einer Wiederfindung von 80 %. Dies bestätigt, dass die Anwendung des Geruchsrads mittels Prüfer:innen durchaus Hinweise auf Substanzen liefern kann, die im Innenraum vorhanden sind und damit eine Hilfestellung bei der Ursachenfindung darstellt.

Insbesondere p-Kresol, das eine sehr charakteristische Geruchsnote aufweist, konnte mittels Prüfer:innen und Geruchsrads über die Geruchsnote „Pferdestall“, ebenso wie über die GC-MS-Analytik oberhalb der Geruchsschwelle wiedergefunden werden. Über die Geruchsradanwendung und das Ankreuzen der Geruchsnote „chemisch → süß“ konnte beispielsweise in den Twinrooms 2, 3 und 4 auf Acetophenon rückgeschlossen werden. Obwohl Acetophenon im Raum 3 nicht gezielt verdampft wurde, konnte es sowohl in der GC-MS analytisch und mittels Geruchsrads humansensorisch bestätigt werden.

Neben den guten Übereinstimmungen zwischen Substanzdosierung in den Innenraum, Analytik und Humansensorik, konnten aber auch Beispiele gefunden werden, die nahelegen, dass im Raum erreichte Konzentrationen oberhalb der Geruchsschwelle nicht zwangsläufig in einer Nennung der zugeordneten Geruchsnote im Geruchsrads resultieren. Zu nennen sind hier alpha-Pinen im Twinroom 1 oder Benzaldehyd im Twinroom 3. Für alpha-Pinen wäre ein Geruch nach Nadelholz oder Harz zu erwarten gewesen, der im Raum jedoch nicht detektiert wurde. Nach der Dosierung von Benzaldehyd hätte ein nussiger Geruch mit spezifischer Geruchsnote „Mandel, Marzipan“ im Raum entstehen sollen, der über Prüfer:innen allerdings nicht wiedergefunden werden konnte, obwohl die analytisch gefundene Konzentration Faktor 2 oberhalb der Geruchsschwelle lag und auch eine Detektion im GC-MS-Sniffing möglich war. Möglicherweise fiel den Prüfer:innen die Auswahl dieses Geruchscharakters aufgrund der hohen Spezifität schwerer bzw. dieser sehr spezifische Geruch war im Mischgeruch nicht eindeutig herauszuriechen. In Mischgerüchen können komplexe Wahrnehmungseffekte, wie Verstärkung, Abschwächung oder vollständige Maskierung von Einzelgerüchen vorliegen [10; 37]. Weiterhin kann der wahrgenommene Geruch sich mit der Konzentration der Einzelsubstanzen verändern. So weisen klassischerweise Substanzen wie Skatol und Indol bei hohen Konzentrationen einen fäkalen Geruch auf. Jedoch tragen sie in sehr geringen Konzentrationen zu einer blumigen Note bei [38; 39]. Weiterhin lagen viele der gemessenen Einzelsubstanzkonzentrationen nur knapp über oder sogar unter den angenommenen Geruchsschwellenwerten. Erschwerend kommt hinzu, dass Literaturwerte für Geruchsschwellen teilweise um mehrere Größenordnungen abweichen und nicht immer zuverlässig sind [7; 40; 41; 42].

Allerdings war auch eine Wiederfindung einzelner Substanzen oberhalb der Geruchsschwelle im GC-MS-Sniffing nicht immer erfolgreich. 1-Butanol im Twinroom 1 sowie Pentanal im Twinroom 2 und 2-Ethylhexanol im Twinroom 4 konnten trotz Konzentrationen um Faktor 3 bis 10 oberhalb der Geruchsschwelle nicht im GC-MS-Sniffing gefunden werden. Hierfür können verschiedene Ursachen in Frage kommen. Zum einen ist die Wahrnehmung am GC-MS-Sniffing-Riechtrichter von Subanzeigenschaften wie der Flüchtigkeit abhängig. Um Kondensation in den Zuleitungen zum Riechtrichter oder auch im Riechtrichter selbst zu vermeiden, wird die Zuleitung beheizt, was mögliche Kondensation minimieren soll. Zum anderen beträgt der Probenfluss am Riechtrichter nur wenige Milliliter je Minute. Bei einem durchschnittlichen Atemzug werden allerdings gut 500mL eingeatmet und das mehrfach je Minute. Es muss also

auch von erheblichen Verdünnungseffekten der Probe beim Riechen ausgegangen werden, die sich entsprechend auf die Wahrnehmung auswirken können. Ebenso können sich die Atemintervalle der GC-Sniffer:innen auf die Wahrnehmung auswirken. Insbesondere während der Ausatmungsphase können keine Gerüche wahrgenommen werden [43]. Daher erfolgt das Einatmen sehr bewusst, und die Ausatmungsphase sollte so kurz wie möglich gehalten werden. Um diesen Einfluss so gering wie möglich zu halten und auch, um die Ermüdung von GC-Sniffen zu verringern [44], werden pro GC-Sniffing-Analyse mindestens drei Durchgänge durchgeführt. Dabei wechseln sich GC-Sniffer:innen alle 15 Minuten ab und rotieren die Reihenfolge bei jedem Durchgang. Durch dieses Vorgehen kann auch der Einfluss möglicher partieller Anosmien der GC-Sniffer auf Einzelsubstanzen reduziert werden [45; 46; 47].

Ebenso können die angenommenen Geruchsschwellen sich von tatsächlichen Geruchsschwellen unterscheiden. Insgesamt muss also ein Zusammenspiel mehrerer Faktoren für die Wahrnehmbarkeit von Substanzen im GC-MS-Sniffing mit verantwortlich sein. Diese und weitere Untersuchungen zeigen, dass die Geruchswahrnehmung ebenfalls stark von individuellen Faktoren, individuellen Empfindlichkeiten/Dispositionen, früheren Erfahrungen und assoziativem Gedächtnis abhängt [48].

Einzig Capronsäure konnte weder rein analytisch, analytisch-sensorisch, noch rein human-sensorisch im Raum wiedergefunden werden. Denkbar wären Senkeneffekte im Innenraum, die dazu führten, dass Capronsäure nicht mehr im mess- oder riechbaren Bereich in der Gasphase vorhanden war.

Es zeigte sich insgesamt, dass ein Rückschluss auf im Innenraum enthaltene Substanzen in 80 % der Fälle erfolgreich war. Damit zeichnet sich ab, dass das Geruchsrads als Richtungsweiser für vorhandene Substanzen und Substanzgruppen anwendbar ist und somit als Unterstützung für eine Raumbewertung herangezogen werden kann.

Das finale Geruchsrads ist zusätzlich mit Anwendungshinweisen in der Handlungshilfe zu diesem Bericht abgedruckt und steht dort in hoher Auflösung (geeignet für den Ausdruck auch im A3-Format) für die Anwendung durch alle möglichen Anwender:innen-Gruppen zur Verfügung. Der praktische Nutzen des Geruchsrads muss sich im langfristigen Einsatz zeigen. Wichtige Anwender:innen-Gruppen für das Geruchsrads können Sachverständige, Gesundheitsbehörden, Fachberater:innen, Privatpersonen und Analyselabore sein, die sich mit Raumluft und Raumhygiene befassen oder ein Geruchsproblem in ihrem häuslichen oder beruflichen Umfeld feststellen. Es ist zu beachten, dass die Geruchswahrnehmung sehr individuell ist und von Faktoren wie persönlicher Empfindlichkeit, früheren Erfahrungen und assoziativem Gedächtnis beeinflusst wird [49]. Diese Individualität sollte bei der Interpretation von Ergebnissen auf der Grundlage eines Geruchsrads berücksichtigt werden, da sich die Nutzer:innen in ihrer persönlichen Fähigkeit, bestimmte Geruchscharaktere zuzuordnen, unterscheiden können. Die im Zuge der Raumbewertungen beobachteten, geringfügigen Unterschiede zwischen trainierten und untrainierten sowie zwischen männlichen und weiblichen Prüfer:innen können sowohl auf den Einfluss sensorischer Erfahrung als auch auf den Einfluss des Geschlechts auf die Geruchswahrnehmung und Geruchsbeschreibung hindeuten. Trainierte Prüfer:innen tendierten dazu, ein etwas breiteres Spektrum an Geruchsbeschreibungen zu nutzen, was in Einklang mit einer, durch das Training, verbesserten Unterscheidungsfähigkeit steht. Weibliche Prüferinnen gaben tendenziell mehr Antworten als männliche Prüfer, was frühere Berichte zu geschlechtsspezifischen Unterschieden in der Geruchsempfindlichkeit stützt [50; 51]. Diese Ergebnisse unterstreichen die Zweckhaftigkeit einer ausgewogenen Zusammensetzung einer Prüfer:innen-Gruppe bei Geruchsbewertungen. Sie unterstreichen zudem die Bedeutung einer gezielten Anwendung des Geruchsrads. Daher empfiehlt es sich, das Geruchsrads in Zusammenarbeit mit Sachverständigen für Raumluft einzusetzen. Nichtsdestotrotz ist zu erwarten, dass die

Anwendung des Geruchsrads auch durch ungeschulte und gegebenenfalls direkt von einem Geruch betroffene Personen, wertvolle Hinweise zur Ursache eines Geruches liefern kann.

Ähnlich wie in der Industrie oder Abwasserwirtschaft, wo Geruchsräder bereits erfolgreich zur Quellenidentifikation [10; 52; 53] und zum Geruchsmanagement [53] eingesetzt werden, erweist sich das entwickelte Geruchsrاد auch für Innenräume als wertvolles Werkzeug. Es dient dabei nicht nur der reinen Beschreibung eines störenden Geruchs, sondern kann dabei unterstützen, bereits vor der eigentlichen Luftanalyse, gezielte Messstrategien und passende Analysemethoden festzulegen.

Für zukünftige Anwendungen wäre auch eine Kombination des Geruchsrads mit standardisierten Fragebögen zur Untersuchung von Beschwerden und Nutzerzufriedenheit (z. B. nach VDI 4302-3 [54]) denkbar. Zusammenfassend ist das Geruchsrاد ein effektives Hilfsmittel, um Beschwerden zu evaluieren, die Kommunikation zwischen Raumnutzer:innen und Sachverständigen zu erleichtern und die Quellenidentifikation maßgeblich zu unterstützen.

4 Quellenverzeichnis

- 1 Murnane, S.; Lehocky, A.; Owens, P. (2013): Odor thresholds for chemicals with established health standards. 2. Auflage, American Industrial Hygiene Association (AIHA), Virginia. ISBN: 978-1-935082-38-5
- 2 DIN EN, 13725: Luftbeschaffenheit - Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie. DIN, 13.040.99, Juli 2003
- 3 VDI, 3882-1: Olfactometry - Determination of Odour Intensity. VDI, October 1992
- 4 VDI, 3940-4: Determination of the hedonic odour tone Polarity profiles. VDI, 13.040.20, June 2010
- 5 ISO, 16000-3: Indoor air – Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in indoor air and test chamber air – Active sampling method. ISO, 13.040.20, January 2013
- 6 DIN ISO, 16000-6: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID. DIN, 13.040.20, November 2012
- 7 Cain, W. S.; Schmidt, R. (2009): Can we trust odor databases? Example of t- and n-butyl acetate. In: Atmospheric Environment, 43, 16, S. 2591–2601. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2009.02.024
- 8 Cain, W. S.; Schmidt, R.; Wolkoff, P. (2007): Olfactory detection of ozone and D-limonene: reactants in indoor spaces. In: Indoor air, 17, 5, S. 337–347. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2007.00476.x
- 9 Cometto-Muñiz, J. E.; Cain, W. S.; Abraham, M. H.; Gil-Lostes, J. (2008): Concentration-detection functions for the odor of homologous n-acetate esters. In: Physiology & behavior, 95, 5, S. 658–667. DOI: 10.1016/j.physbeh.2008.09.021
- 10 Cometto-Muñiz, J. E.; Abraham, M. H. (2010): Structure-activity relationships on the odor detectability of homologous carboxylic acids by humans. In: Experimental brain research, 207, 1-2, S. 75–84. DOI: 10.1007/s00221-010-2430-0
- 11 Cometto-Muñiz, J. E.; Abraham, M. H. (2009): Olfactory detectability of homologous n-alkylbenzenes as reflected by concentration-detection functions in humans. In: Neuroscience, 161, 1, S. 236–248. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2009.03.029.
- 12 Röhl, C.; Sucker, K.; Gerull, F.; Grams, H. (Juni 2021): Expertenbefragung. Brosig, L., Kiel. Interne Datenbank der Olfasense GmbH
- 13 Röhl, C.; Sucker, K.; Gerull, F.; Grams, H.; Horn, W.; Brandes, J. (März 2022): Expertenbefragung. Brosig, L., Kiel. interne Datenbank der Olfasense GmbH
- 14 Yang, D.; Shewfelt, R.; Lee, K.-S.; Kays, S. (2008): Comparison of odor-active compounds from six distinctly different rice flavor types. In: Journal of agricultural and food chemistry, 56, 8, S. 2780–2787. DOI: 10.1021/jf072685t
- 15 Peng, C.; Cheng-Hang, L.; Wu, T. (2009): Investigation of indoor chemical pollutants and perceived odor in an area with complaints of unpleasant odors. In: Building and Environment, 44, 10, S. 2106–2113. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.03.001
- 16 Gallego, E.; Roca, X.; Perales, J. F.; Guardino, X. (2009): Determining indoor air quality and identifying the origin of odour episodes in indoor environments. In: Journal of Environmental Sciences, 21, 3, S. 333–339. DOI: 10.1016/S1001-0742(08)62273-1
- 17 Dassonville, C.; Demattei, C.; Laurent, A-M; Le Moullec, Y.; Seta, N.; Momas, I. (2009): Assessment and predictor determination of indoor aldehyde levels in Paris newborn babies' homes. In: Indoor air, 19, 4, S. 314–323. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2009.00594.x
- 18 Mandin, C.; Trantallidi, M.; Cattaneo, A.; Canha, N.; Mihucz, V. G.; Szigeti, T.; Mabilia, R.; Perreca, E.; Spinazzè, A.; Fossati, S.; Kluizenaar, Y. de; Cornelissen, E.; Sakellaris, I.; Saraga, D.; Hänninen, O.; Oliveira Fernandes, E. de; Ventura, G.; Wolkoff, P.; Carrer, P.; Bartzis (2017):

- Assessment of indoor air quality in office buildings across Europe - The OFFICAIR study. In: The Science of the total environment, 579, S. 169–178. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.238
- 19 Hodgson, A. T.; Beal, D.; McIlvaine, J. E. R. (2002): Sources of formaldehyde, other aldehydes and terpenes in a new manufactured house. In: Indoor air, 12, 4, S. 235–242. DOI: 10.1034/j.1600-0668.2002.01129.x
- 20 Maddalena, R.; Russell, M.; Sullivan, D.; Apte, M. (2008): Aldehyde and other Volatile Organic Chemical Emissions in Four FEMA Temporary Housing Units – Final Report. <https://escholarship.org/uc/item/1sw7c81q> (11.11.2024)
- 21 Nagata, Y.; Takeuchi, N. (2003): Measurement of odor threshold by triangle odor bag method. In: Odor measurement review, 118, S. 118–127. https://www.env.go.jp/en/air/odor/measure/02_3_2.pdf (15.11.2024)
- 22 Ueno, H.; Amano, S.; Merecka, B.; Kośmider, J. (2009): Difference in the odor concentrations measured by the triangle odor bag method and dynamic olfactometry. In: Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research, 59, 7, S. 1339–1342. DOI: 10.2166/wst.2009.112
- 23 Berglund, B.; Höglund, A.; Esfandabad, H. S. (2012): A Bisensory Method for Odor and Irritation Detection of Formaldehyde and Pyridine. In: Chemosensory Perception, 5, 2, S. 146–157. DOI: 10.1007/s12078-011-9101-9
- 24 Ömür-Özbek, P.; Little, J. C.; Dietrich, A. M. (2007): Ability of humans to smell geosmin, 2-MIB and nonadienal in indoor air when using contaminated drinking water. In: Water Science and Technology, 55, 5, S. 249–256. DOI: 10.2166/wst.2007.186
- 25 Salthammer, T. (1999): Organic indoor air pollutants - Occurrence - measurement - evaluation, Wiley-VCH, Weinheim. ISBN: 3527296220
- 26 Afshari, A.; Lundgren, B.; Ekberg, L. E. (2003): Comparison of three small chamber test methods for the measurement of VOC emission rates from paint. In: Indoor air, 13, 2, S. 156–165. DOI: 10.1034/j.1600-0668.2003.00146.x
- 27 Ziemer, P.; Woo, J.; Anagnostou, T. (2000): Study of odor qualification of solvents used in coating compositions. In: Journal of Coatings Technology, 72, 8, S. 97–102. DOI: 10.1007/BF02698028
- 28 Cometto-Muñiz, J. E.; Cain, W. S.; Abraham, M. H. (1998): Nasal pungency and odor of homologous aldehydes and carboxylic acids. In: Experimental brain research, 118, 2, S. 180–188. DOI: 10.1007/s002210050270
- 29 Deutsche Forschungsgemeinschaft (2023): MAK- und BAT-Werte-Liste 2023 - Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte. DOI: 10.34865/mbwl_2023_deu
- 30 Gökcakan C, N.; Gökcakan, K. (2016): Characteristics Of Colours, Interior Design And Their Psychological And Physiological Effects. In: TOJET (The Turkish Online Journal of Educational Technology), S. 425–430. <https://avesis.anadolu.edu.tr/yayin/cdc6f9b9-23a6-417d-b749-91c904a4cd84/characteristics-of-colours-interior-design-and-their-psychological-and-physiological-effects> (18.11.2024)
- 31 Hajdú, N. (2021): Importance of colour marketing in the evolutive marketing concept. In: Multidiszciplináris tudományok, 11, 5, S. 288–293. DOI: 10.35925/j.multi.2021.5.31
- 32 Aslam, M. (2006): Are You Selling the Right Colour? A Cross-cultural Review of Colour as a Marketing Cue. In: Journal of Marketing Communications, 12, 1, S. 15–30. DOI: 10.1080/13527260500247827
- 33 Wilms, L.; Oberfeld, D. (2018): Color and emotion: effects of hue, saturation, and brightness. In: Psychological research, 82, 5, S. 896–914. DOI: 10.1007/s00426-017-0880-8
- 34 McLeod, J. (2016): Colour Psychology Today. 1. Auflage, O Books, Winchester, Washington. ISBN: 978-1-78535-304-8

- 35 EN, 13725: Stationary source emissions - Determination of odour concentration by dynamic olfactometry and odour emission rate. CEN, 13.040.99, February 2022
- 36 Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) (2006): TRGS 900 - Arbeitsplatzgrenzwerte, GMBI 2025 S. 1062-1063 [Nr. 48] - Technische Regeln für Gefahrstoffe. Fassung vom 19.12.2025. <https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-900.html> (09.04.2026)
- 37 Ma, Y.; Tang, K.; Xu, Y.; Thomas-Danguin, T. (2021): Perceptual interactions among food odors: Major influences on odor intensity evidenced with a set of 222 binary mixtures of key odorants. In: Food chemistry, 353, S. 129483. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129483
- 38 Api, A. M.; Belsito, D.; Botelho, D.; Bruze, M.; Burton, G. A.; Cancellieri, M. A.; Chon, H.; Dagli, M. L.; Date, M.; Dekant, W.; Deodhar, C.; Fryer, A. D.; Jones, L.; Joshi, K.; Kumar, M.; Lapczynski, A.; Lavelle, M.; Lee, I.; Liebler, D. C.; Moustakas, H.; Na, M.; Penning, T. M.; Ritacco, G.; Romine, J.; Sadekar, N.; Schultz, T. W.; Selechnik, D.; Siddiqi, F.; Sipes, I. G.; Sullivan, G.; Thakkar, Y.; Tokura, Y. (2022): RIFM fragrance ingredient safety assessment, skatole, CAS Registry Number 83-34-1. In: Food and chemical toxicology: an international journal published for the British Industrial Biological Research Association, 169 Suppl 1, S. 113497. DOI: 10.1016/j.fct.2022.113497
- 39 Mörlein, D.; Mörlein, J.; Gertheiss, J.; Meier-Dinkel, L.; Fischer, J.; Eynck, H.-J.; Heres, L.; Looft, C.; Tholen, E. (2016): Interaction of Skatole and Androstenone in the Olfactory Perception of Boar Taint. In: Journal of agricultural and food chemistry, 64, 22, S. 4556–4565. DOI: 10.1021/acs.jafc.6b00355
- 40 Thiele, V.; Monsé, C.; Hoffmeyer, F.; Brüning, T.; Bünger, J.; Sucker, K. (2023): Indoor air quality - An overview of methods for measuring odor detection thresholds of single substances. In: Respiratory physiology & neurobiology, 315, S. 104108. DOI: 10.1016/j.resp.2023.104108
- 41 Devos, M.; Patte, F.; Rouault, J.; Laffortt, P.; van Gemert, L. J. (1990): Standardized human olfactory thresholds, IRL Press at Oxford University Press, Oxford, New York. ISBN: 0199631468
- 42 van Gemert, L. (2011): Odour thresholds - Compilations of odour threshold values in air, water and other media. 2. Auflage, Oliemans Punter & Partners, Utrecht. ISBN: 978-90-810894-0-1
- 43 Delahunty C. M.; Eyres, G.; Dufour, J.-P. (2006): Gas chromatography-olfactometry. In: Journal of separation science, 29, 14, S. 2107–2125. DOI: 10.1002/jssc.200500509
- 44 Mahmoud, M. A. A.; Zhang, Y. (2024): Enhancing Odor Analysis with Gas Chromatography-Olfactometry (GC-O): Recent Breakthroughs and Challenges. In: Journal of agricultural and food chemistry, 72, 17, S. 9523–9554. DOI: 10.1021/acs.jafc.3c08129
- 45 Gerretzen, J.; Buydens, L. M.C.; van den Tromp – Beukel, A. O.; Koussissi, E.; Brouwer, E. R.; Jansen, J. J.; Szymańska, E. (2015): A novel approach for analyzing gas chromatography-mass spectrometry/olfactometry data. In: Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 146, S. 290–296. DOI: 10.1016/j.chemolab.2015.05.027
- 46 Kittel, K.; Acree, T. (2006): Using gas chromatography-olfactometry (GCO) to measure varying odorant-specific sensory deficits (OSDs): Flavour Science - Recent Advances and Trends, Elsevier, S. 25–28. DOI: 10.1016/S0167-4501(06)80007-5
- 47 Hayes, J. E.; Barczak, R. J.; Mel Suffet, I.; Stuetz, R. M. (2023): The use of gas chromatography combined with chemical and sensory analysis to evaluate nuisance odours in the air and water environment. In: Environment international, 180, S. 108214. DOI: 10.1016/j.envint.2023.108214
- 48 Thomas-Danguin, T.; Sinding, C.; Romagny, S.; El Mountassir, F.; Atanasova, B.; Le Berre, E.; Le Bon, A.-M.; Coureaud, G. (2014): The perception of odor objects in everyday life: a review on the processing of odor mixtures. In: Frontiers in psychology, 5, S. 504. DOI: 10.3389/fpsyg.2014.00504

- 49 Greco-Vuilloud, J.; Ruby, P.; Plailly, J.; Saive, A. (2026): What makes a scent trigger a memory? A cognitive decomposition of odor-evoked retrieval. In: *iScience*, 29, 1, S. 114467. DOI: 10.1016/j.isci.2025.114467
- 50 Sorokowski, P.; Karwowski, M.; Misiak, M.; Marczak, M.; Dziekan, M.; Hummel, T.; Sorokowska, A. (2019): Sex Differences in Human Olfaction: A Meta-Analysis. In: *Frontiers in psychology*, 10, S. 242. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.00242
- 51 Chao, Y.-T.; Woosch, D.; Pieniak, M.; Hummel, T. (2022): Gender difference in ratings of odor intensity during olfactory training. In: *Journal of Sensory Studies*, 37, 6. DOI: 10.1111/joss.12784
- 52 Wang, J.; Han, M.; Meng, J.; Wang, G.; Lu, F.; Zhai, Z.; Jing, B.; Ma, B.; Xiao, X.; Cui, H.; Lu, Z.; Li, W. (2023): Identification of key odor-active compounds and development of odor wheels in rubber product industries using TD/GC-O-MS, OAV, and statistical analysis. In: *Atmospheric Pollution Research*, 14, 8, S. 101837. DOI: 10.1016/j.apr.2023.101837
- 53 Meng, J.; Wang, J.; Ning, X.; Li, W.; Wang, G.; Ma, B.; Wang, H.; Xiao, X.; Cui, H.; Jing, B. (2024): Olfactory-chemical establishment using odour wheels and fingerprints to manage odor pollution for the petrochemical industry. In: *Microchemical Journal*, 205, S. 111253. DOI: 10.1016/j.microc.2024.111253
- 54 VDI, 4302-3: Odour testing of indoor air and emissions from indoor materials - survey of satisfaction with indoor air quality in homes and offices by means of questionnaires. VDI, 13.040.20, July 2022
- 55 Kotzias, D.; Koistinen, K.; Kephapoulos, S.; Schlitt, C.; Carrer, P.; Maroni, M.; Jantunen, M.; Cochet, C.; Kirchner, S.; Lindvall, T.; McLaughlin, J.; Mølhave, L.; Oliveira Fernandes, E. de; Seifert, B. (2005): The INDEX project - Critical Appraisal of the Setting and Implementation of Indoor Exposure Limits in the EU. Final Report. EUR 21590 EN, JRC31622. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC31622> (15.11.2024)
- 56 Kephapoulos, S.; Geiss, O.; Annys, E.; Carrer, P.; Coutalides, R.; Crump, D.; Däumling, C.; Brouwere, K. de; Lathauwer, D. de; Dommaschk, N.; Glöckner, M.; Harrison, P.; Heinzow, B.; Jäckh, R.; Johanson, G.; Le Guern, S.; Rousselle, C.; Säteri, J.; Schuster, A.; Scutaru, A.; Tappler, P.; Uhl, M.; Witterseh, T.; Wolkoff, P. (2013): Harmonisation framework for health based evaluation of indoor emissions from construction products in the European Union using the EU-LCI concept. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Health and Consumer Protection, Luxembourg. DOI: 10.2788/26234
- 57 Luciano, V. (2014): GC-MS and GC-Sniffing analysis for 25 air samples from bathrooms in India. Odournet. Interne Datenbank der Olfasense GmbH
- 58 Braithwaite, S. (2019): Sensory Analysis and Health Risk Assessment of Environmental Odors. University of California, Los Angeles. <https://escholarship.org/uc/item/21g660d3> (14.11.2024)
- 59 Jensen, B.; Wolkoff, P.; Wilkins, C. K. (1995): Characterization of Linoleum. Part 2: Preliminary Odor Evaluation. In: *Indoor air*, 5, 1, S. 44–49. DOI: 10.1111/j.1600-0668.1995.t01-3-00007.x
- 60 Reiss, R.; Ryan, P. B.; Koutrakis, P.; Tibbetts, S. J. (1995): Ozone reactive chemistry on interior latex paint. In: *Environmental science & technology*, 29, 8, S. 1906–1912. DOI: 10.1021/es00008a007
- 61 Wolkoff, P.; Clausen, P. A.; Jensen, B.; Nielsen, G. D.; Wilkins, C. K. (1997): Are We Measuring the Relevant Indoor Pollutants? In: *Indoor air*, 7, 2, S. 92–106. DOI: 10.1111/j.1600-0668.1997.t01-2-00003.x
- 62 Salthammer, T. (1997): Emission of Volatile Organic Compounds from Furniture Coatings. In: *Indoor air*, 7, 3, S. 189–197. DOI: 10.1111/j.1600-0668.1997.t01-1-00004.x

- 63 Wolkoff, P. (1999): How to measure and evaluate volatile organic compound emissions from building products. A perspective. In: *Science of The Total Environment*, 227, 2-3, S. 197–213. DOI: 10.1016/S0048-9697(99)00019-4
- 64 Wolkoff, P.; Nielsen, G. D. (2001): Organic compounds in indoor air—their relevance for perceived indoor air quality? In: *Atmospheric Environment*, 35, 26, S. 4407–4417. DOI: 10.1016/S1352-2310(01)00244-8
- 65 Wolkoff, P.; Wilkins, C. K.; Clausen, P. A.; Nielsen, G. D. (2006): Organic compounds in office environments - sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry. In: *Indoor air*, 16, 1, S. 7–19. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2005.00393.x
- 66 Wang, S.; Ang, H. M.; Tade, M. O. (2007): Volatile organic compounds in indoor environment and photocatalytic oxidation: state of the art. In: *Environment international*, 33, 5, S. 694–705. DOI: 10.1016/j.envint.2007.02.011
- 67 Koistinen, K.; Kotzias, D.; Kephelopoulou, S.; Schlitt, C.; Carrer, P.; Jantunen, M.; Kirchner, S.; McLaughlin, J.; Mølhave, L.; Fernandes, E. O.; Seifert, B. (2008): The INDEX project: executive summary of a European Union project on indoor air pollutants. In: *Allergy*, 63, 7, S. 810–819. DOI: 10.1111/j.1398-9995.2008.01740.x
- 68 Kagi, N.; Fujii, S.; Tamura, H.; Namiki, N. (2009): Secondary VOC emissions from flooring material surfaces exposed to ozone or UV irradiation. In: *Building and Environment*, 44, 6, S. 1199–1205. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.09.004
- 69 Saraga, D.; Pateraki, S.; Papadopoulos, A.; Vasilakos, Ch.; Maggos, Th. (2011): Studying the indoor air quality in three non-residential environments of different use: A museum, a printery industry and an office. In: *Building and Environment*, 46, 11, S. 2333–2341. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.05.013
- 70 Abraham, M. H.; Sánchez-Moreno, R.; Cometto-Muñiz, J. E.; Cain, W. S. (2012): An algorithm for 353 odor detection thresholds in humans. In: *Chemical senses*, 37, 3, S. 207–218. DOI: 10.1093/chemse/bjr094
- 71 Decottignies, V.; Huyard, A.; Kelly, R. F.; Barillon, B. (2013): Development of a diagnostic tool: the wastewater collection network odour wheel. In: *Water Science and Technology*, 68, 4, S. 839–847. DOI: 10.2166/wst.2013.265
- 72 Wolkoff, P. (2013): Indoor air pollutants in office environments: assessment of comfort, health, and performance. In: *International journal of hygiene and environmental health*, 216, 4, S. 371–394. DOI: 10.1016/j.ijheh.2012.08.001
- 73 Bembibre, C.; Strlič, M. (2017): Smell of heritage: a framework for the identification, analysis and archival of historic odours. In: *Heritage Science*, 5, 1, S. 1–11. DOI: 10.1186/s40494-016-0114-1
- 74 Hess-Kosa, K. (2019): *Indoor Air Quality - The Latest Sampling and Analytical Methods*. 3. Auflage, CRC Press, Milton. ISBN: 9781351579353
- 75 Uhde, E.; Salthammer, T. (2007): Impact of reaction products from building materials and furnishings on indoor air quality—A review of recent advances in indoor chemistry. In: *Atmospheric Environment*, 41, 15, S. 3111–3128. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2006.05.082
- 76 Salthammer, T.; Mentese, S.I.; Marutzky, R. (2010): Formaldehyde in the indoor environment. In: *Chemical reviews*, 110, 4, S. 2536–2572. DOI: 10.1021/cr800399g
- 77 McClintock, T. S.; Khan, N.; Alimova, Y.; Aulisio, M.; Han, D. Y.; Breheny, P. (2020): Encoding the Odor of Cigarette Smoke. In: *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 40, 37, S. 7043–7053. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1144-20.2020
- 78 Droth, E.; Simat, T. (2017): Wie riecht Papier? - Bestimmung von geruchsaktiven Substanzen aus Papier und Holz mittels GC-ODP/FID. In: *Deutsche Lebensmittel-Rundschau (DLR)*, S. 386–392.
https://www.researchgate.net/publication/321147627_Bestimmung_von_geruchsaktiven_Substanzen_aus_Papier_und_Holz_mittels_GC-ODPFID (14.11.2024)

- 79 Theron, K. A.; Muller, M.; van der Rijst, M.; Cronje, J. C.; Le Roux, M.; Joubert, E. (2014): Sensory profiling of honeybush tea (*Cyclopia* species) and the development of a honeybush sensory wheel. In: Food Research International, 66, S. 12–22. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.08.032
- 80 Weschler, C. J. (2009): Changes in indoor pollutants since the 1950s. In: Atmospheric Environment, 43, 1, S. 153–169. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2008.09.044
- 81 Suffet, I. H.; Burlingame, G. A.; Rosenfeld, P. E.; Bruchet, A. (2004): The value of an odor-quality-wheel classification scheme for wastewater treatment plants. In: Water Science and Technology, 50, 4, S. 25–32. DOI: 10.2166/wst.2004.0211
- 82 Wolkoff, P. (1998): Impact of air velocity, temperature, humidity, and air on long-term voc emissions from building products. In: Atmospheric Environment, 32, 14-15, S. 2659–2668. DOI: 10.1016/S1352-2310(97)00402-0
- 83 Binder, M.; Obenland, H.; Maraun, W. (2004): Chloranisole als Verursacher von schimmelähnlichem Geruch in älteren Fertighäusern. In: Umwelt, Gebäude & Gesundheit, 7. AGÖF-Fachkongress, S. 112–121.
https://www.agoef.de/fileadmin/user_upload/dokumente/publikationen/auszuege-kongressreader/Binder-Obenland-u.a.-2004--Chloranisole-Verursacher-von-schimmelaehnlichem-Geruch-in-Fertighauesern.pdf (19.11.2024)
- 84 Wolkoff, P. (2018): Indoor air humidity, air quality, and health - An overview. In: International journal of hygiene and environmental health, 221, 3, S. 376–390. DOI: 10.1016/j.ijheh.2018.01.015
- 85 Buettner, A.; Schieberle, P. (2001): Evaluation of key aroma compounds in hand-squeezed grapefruit juice (*Citrus paradisi* Macfayden) by quantitation and flavor reconstitution experiments. In: Journal of agricultural and food chemistry, 49, 3, S. 1358–1363. DOI: 10.1021/jf001235x
- 86 Nimmermark, S. (2011): Influence of odour concentration and individual odour thresholds on the hedonic tone of odour from animal production. In: Biosystems Engineering, 108, 3, S. 211–219. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2010.12.003
- 87 Brosig, L.; Maxeiner, B. (2023): Bestimmung von Geruchswahrnehmungsschwellen für Innenraumschadstoffe - Abschlussbericht. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/bestimmung-von-geruchswahrnehmungsschwellen-fuer> (15.11.2024)
- 88 Diaz, A.; Fabrellas, C.; Ventura, F.; Galceran, M. (2005): Determination of the odor threshold concentrations of chlorobrominated anisoles in water. In: Journal of agricultural and food chemistry, 53, 2, S. 383–387. DOI: 10.1021/jf049582k
- 89 Wise, P.; Miyazawa, T.; Gallagher, M.; Preti, G. (2007): Human odor detection of homologous carboxylic acids and their binary mixtures. In: Chemical senses, 32, 5, S. 475–482. DOI: 10.1093/chemse/bjm016
- 90 Miyazawa, T.; Gallagher, M.; Preti, G.; Wise, P. (2009): Odor detection of mixtures of homologous carboxylic acids and coffee aroma compounds by humans. In: Journal of agricultural and food chemistry, 57, 21, S. 9895–9901. DOI: 10.1021/jf901453r
- 91 Cometto-Muñiz, J. E.; Abraham, M. H. (2010): Odor detection by humans of lineal aliphatic aldehydes and helional as gauged by dose-response functions. In: Chemical senses, 35, 4, S. 289–299. DOI: 10.1093/chemse/bjq018
- 92 Laska, M.; Ringh, A. (2010): How big is the gap between olfactory detection and recognition of aliphatic aldehydes? In: Attention, perception & psychophysics, 72, 3, S. 806–812. DOI: 10.3758/APP.72.3.806
- 93 Cain, W. S.; Dourson, M. L.; Kohrman-Vincent, M. J.; Allen, B. C. (2010): Human chemosensory perception of methyl isothiocyanate: Chemesthesis and odor. In: Regulatory Toxicology and Pharmacology, 58, 2, S. 173–180. DOI: 10.1016/j.yrtph.2010.06.018

- 94 Olfasense GmbH (2021): Geruchsschwellen, Kiel. Interne Datenbank der Olfasense GmbH
- 95 Dalton, P.; Lees, P. S. J.; Gould; Dilks, D.; Stefaniak, A.; Bader, M.; Ihrig, A.; Triebig, G. (2007): Evaluation of long-term occupational exposure to styrene vapor on olfactory function. In: Chemical senses, 32, 8, S. 739–747. DOI: 10.1093/chemse/bjm041
- 96 van Thriel, C.; Schäper, M.; Kiesswetter, E.; Kleinbeck, S.; Juran, S.; Blaszkewicz, M.; Fricke, H.; Altmann, L.; Berresheim, H.; Brüning, T. (2006): From chemosensory thresholds to whole body exposures-experimental approaches evaluating chemosensory effects of chemicals. In: International archives of occupational and environmental health, 79, 4, S. 308–321. DOI: 10.1007/s00420-005-0057-4
- 97 Greenman, J.; Duffield, J.; Spencer, P.; Rosenberg, M.; Corry, D.; Saad, S.; Lenton, P.; Majerus, G.; Nachnani, S.; El-Maaytah, M. (2004): Study on the organoleptic intensity scale for measuring oral malodor. In: Journal of dental research, 83, 1, S. 81–85. DOI: 10.1177/154405910408300116
- 98 Parchem - fine & specialty chemicals (2015): Safety Data Sheet (2-Ethylhexyl Acetate) (CAS Nr. 103-09-3). <https://www.parchem.com/siteimages/attachment/ghs%20-ethylhexyl%20acetate%20msds.pdf> (19.11.2024)
- 99 Jensen, B.; Wolkoff, P. (1996): VOCBASE - Odor and mucous membrane irritation threshold and other physico-chemical properties, Version 2.1. National Institute of Occupational Health, Copenhagen.
- 100 DIN EN, 13725: Emissionen aus stationären Quellen – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration durch dynamische Olfaktometrie und die Geruchsstoffemissionsrate. DIN, 13.040.99, Juni 2022
- 101 Salthammer, T.; Schwarz, A.; Fuhrmann, F. (1998): Emission of reactive compounds and secondary products from wood-based furniture coatings. In: Atmospheric Environment, 33, 1, S. 75–84. DOI: 10.1016/S1352-2310(98)00128-9
- 102 Bundesministerium für Arbeit : Verordnung des Bundesministers für Arbeit über Grenzwerte für Arbeitsstoffe sowie über krebserzeugende und fortpflanzungsgefährdende (reproduktionsstoxische) Arbeitsstoffe (Grenzwerteverordnung 2021 – GKV), BGBl. II Nr. 253/2001. Fassung vom 19.11.2024. <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20001418> (19.11.2024)
- 103 Pflaumbaum, W.; Hahn, N. von; Kolk, A.; Liedtke, M.; Schelle, F.; Kaulbars, U.; Freitag, C.; Peters, S.; Pelzer, J. (2020): IFA Report 5/2020 - Grenzwerteliste 2020 - Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. ISBN: 978-3-948657-15-4
- 104 Hahn, N. von; Pflaumbaum, W.; Kolk, A.; Liedtke, M.; Schelle, F.; Kaulbars, U.; Freitag, C.; Peters, S.; Pelzer, J.; Schmidt, V.; Wittlich, M.; Alteköster, C.; Bömmels, I.; Soyka, F.; Werner, C.; Post, M.; Mewes, O. (2022): IFA Report 1/2022 - Grenzwerteliste 2022 - Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. ISBN: 978-3-948657-47-5
- 105 Ausschuss für Gefahrstoffe (2006): Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 900) – Arbeitsplatzgrenzwerte, BArBl Heft 1/2006 S. 41-55. Fassung vom 17.06.2024. <https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-900> (19.11.2024)

A Listung von innenraumrelevanten Geruchsstoffen

A.1 Erste Substanzliste

Tabelle 45: Ergebnisse der Literaturrecherche - erste Liste von geruchlich relevanten Innenraumschadstoffen.

Vorläufige Zusammenstellung häufiger Innenraumschadstoffe unter Angabe der Häufigkeit; alphabetische Sortierung nach Häufigkeit der Nennung

lfn. Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit der Nennung	Ort der Untersuchung	Geruchsbeschreibung	Literaturquellen
1	Toluol	108-88-3	26	BB, BG, BM, BÜ, BZ, DR, FM, FZ, HS, IA, ID, LI, MB, MU, NB, RB, TR, WG	Kleber, Farbe, Lösungsmittel, süß, stechend, benzolartig, Benzin, floral, Mottenkugel, sauer, verbrannt, Plastik, stark	[11; 15; 16; 18; 20; 25; 55; 56; 57; 58; 59; 60; 61; 62; 63; 64; 65; 66; 67; 68; 69; 70; 71; 72; 73; 74]
2	Formaldehyd	50-00-0	23	BB, BG, BM, BÜ, BZ, DR, FM, FZ, ID, KZ, MU, NB, NH, RB, TR	Desinfektion, Heu/strohartig, stechend, erstickend, irritierend	[15; 16; 17; 18; 19; 20; 41; 55; 56; 60; 61; 63; 65; 66; 67; 68; 69; 71; 72; 74; 75; 76; 77]
3	Hexanal	66-25-1	23	BG, BM, BÜ, BZ, FM, HZ, ID KZ, LI, MB NH, PK, SP, TR, ZR	grüner Apfel, süßlich, frisch, fruchtig, Gras, grün, Öl, scharf, Aldehyd, fettig, Apfel, Laub, vegetativ, holzig, wachsig, ranzig, Eichel, grasig	[15; 16; 17; 18; 19; 20; 55; 56; 57; 59; 60; 61; 62; 63; 65; 67; 70; 72; 73; 75; 77; 78; 79]
4	Styrol	100-42-5	19	AA, BG, BM, BÜ, BZ, FM, IA, ID, MB, PK, TR	Benzin, Plastik, Gummi, Lösungsmittel, süß, Balsam, floral, Klebstoff, verbrannt, Neopren, Metall, durchdringend, scharf	[15; 16; 18; 20; 55; 56; 57; 58; 60; 61; 62; 63; 64; 67; 70; 71; 72; 75; 80]
5	Aceton	67-64-1	16	BÜ, BZ, FZ, IA, ID, LI, MB, SB, WG	chemisch, Ether, ekelerregend, stechend, Lösungsmittel, Apfel, Birne, minzig, duftend, fruchtig, Keton, Nagellackentferner, Waschmittel, süß, Lösungsmittel	[15; 25; 55; 59; 61; 62; 63; 64; 66; 67; 70; 71; 72; 74; 75; 81]

lfn. Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit der Nennung	Ort der Untersuchung	Geruchsbeschreibung	Literaturquellen
6	Acetaldehyd	75-07-0	16	BB, BG, BM, BÜ, BZ, DR, FZ, ID, KZ, MU, NH, TR	Ether, floral, fruchtig, grüner Apfel, süß, stechend, aldehydisch, erstickend, frisch, stimulierend, durchdringend	[15; 17; 18; 19; 20; 55; 56; 63; 66; 67; 68; 69; 71; 72; 75; 81]
7	Benzaldehyd	100-52-7	16	BB, BG, BÜ, BZ, FM, IA, ID, KZ, LI, MB, NH, PK, TR	Mandel, Bittermandel, verbrannt Zucker, Kirsche, malzig, gerösteter Pfeffer, stark, scharf, süß, nussig, pudrig, holzig, Öl, aromatisch, würzig, stechend, kraftvoll, floral, Marzipan, Mandel, Aldehyd, herb, bitter	[15; 16; 17; 18; 19; 20; 55; 59; 60; 61; 62; 63; 67; 68; 73; 75]
8	Ethylbenzol	100-41-4	16	AA, BG, BM, BÜ, BZ, FM, IA, ID, MB, TR	stechend, benzinartig, stark, aromatisch, süß, trocken, Kleber, unangenehm	[15; 16; 18; 20; 56; 57; 60; 61; 62; 63; 64; 67; 70; 72; 74; 80]
9	Essigsäure	64-19-7	15	BB, BÜ, BZ, HZ, ID, LI, MB, PK, TR	sauer, fruchtig, stechend, sauer, Essig, scharf, überreif, grün, krautig, holzig, stark, süß	[16; 20; 59; 61; 62; 63; 65; 68; 70; 71; 72; 73; 75; 78; 81]
10	R-Limonen	5989-27-5	15	BG, BÜ, FM, FZ, IA, ID, NH, TR, WG	zitrusartig, Minze, Orange, frisch, süß, angenehm	[15; 18; 19; 20; 55; 60; 64; 65; 66; 67; 70; 71; 72; 73; 75]
11	2-Butanon	78-93-3	14	BÜ, BZ, FZ, IA, ID, LI, MB	Ether, duftend, fruchtig, angenehm, süß, acetonartig, Kampfer, stechend, etwas scharf, duftend, Minze, phenolisch, Stinktief	[16; 55; 59; 62; 63; 64; 65; 66; 67; 70; 71; 72; 74; 81]
12	2-Butoxyethanol	111-76-2	14	BB, BG, BM, BÜ, BZ, IA, ID, LI, MB	etherartig, ranzig, süß, angenehm	[16; 18; 55; 56; 59; 61; 62; 63; 65; 67; 68; 70; 72; 74]
13	2-Ethylhexanol	104-76-7	13	BG, BÜ, FM, MB, TR, WM	zitrusartig, grün, Öl, Rose, frisch, floral, süß, aromatisch, mild, Gummi, Minze, grasig, fettig, pilzig	[18; 20; 55; 60; 61; 62; 63; 65; 67; 70; 72; 75; 82]
14	Benzol	71-43-2	13	AA, BG, BÜ, BZ, DR, FZ, IA, ID, MU, NB, RB, TR, WG	aromatisch, Lösungsmittel, Ether, etwas süß	[16; 18; 20; 55; 57; 64; 66; 67; 69; 72; 74; 75; 80]

lfn. Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit der Nennung	Ort der Untersuchung	Geruchsbeschreibung	Literaturquellen
15	Nonanal	124-19-6	13	BÜ, BZ, FM, IA, ID, LI, MB, NH, TR	Orange, zitrusartig, Fett, grün, Farbe, stechend, wachsig, aldehydisch, Rose, frisch, Veilchen, Orangenschale, schal, Zitronenschale, Kurkuma, Rose-Orange, seifig, süß, ranzig, floral, wachsig	[15; 16; 19; 20; 25; 57; 59; 60; 62; 64; 70; 73; 79]
16	alpha-Pinen	80-56-8	12	BG, BM, BZ, IA, ID, MB, NH, TR	Zedernholz, Kiefer, Harz, scharf, Terpentin, frisch, Kampfer, süß, erdig, holzig, krautig, Terpene, kühlend, trocken, harzig, warm-holzig, frisch-Kiefer, Nadelholz	[16; 18; 19; 20; 55; 56; 61; 62; 64; 67; 70; 75]
17	m/p-Xylol	1330-20-7	12	AA, BG, BM, BÜ, BZ, DR, FM, FZ, IA, ID, MU, NB, RB, WG	-	[15; 16; 18; 55; 56; 60; 64; 66; 67; 69; 74; 80]
18	o-Xylol	95-47-6	12	AA, BÜ, BZ, DR, FM, FZ, IA, ID, MB, MU, NB, RB, WG	Geranie, süß, aromatisch, Lösungsmittel	[15; 55; 57; 60; 61; 62; 63; 64; 66; 67; 69; 80]
19	1-Butanol	71-36-3	11	BÜ, BZ, ID, MB, PK	alkoholisch, fruchtig, medizinisch, phenolisch, Lösungsmittel, Öl, süß, Balsam, Whiskey, leicht alkoholisch, strenger Fuselgeruch mit Banane, Amylalkohol, ranzig, fermentiert, floral, duftend	[15; 16; 55; 61; 62; 63; 67; 70; 71; 72; 75]
20	Decan	124-18-5	11	BÜ, BZ, IA, ID, FM, MB	Alkan, floral, Petroleum, Bitumen	[15; 16; 55; 60; 61; 62; 64; 65; 67; 72; 74]
21	Tetrachlorethylen	127-18-4	11	AA, BG, BM, BÜ, BZ, FZ, IA, ID, WG	Ether, süß, chloroformartig, chloriertes Lösungsmittel, Chlor	[16; 18; 55; 56; 58; 64; 65; 66; 67; 74; 80]
22	Phenol	108-95-2	11	BÜ, BZ, MB, PK, TR	stark, süß, phenolisch, Plastik, Gummi, kraftvoll, medizinisch, scharf, Rauch, würzig, Teer, Krankenhausgeruch, ätzend, deutlich	[20; 55; 57; 61; 62; 63; 67; 70; 72; 75; 82]

lfn. Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit der Nennung	Ort der Untersuchung	Geruchsbeschreibung	Literaturquellen
23	Butansäure	107-92-6	10	BÜ, HZ, IA, ID, LI, MB, ZR	aromatisch, etwas ekelerregend, ätzend, Ton, Bodenwachs, sauer Butter, Käse, ranzig, sauer, schweißig, scharf, Molkerei, fruchtig, caprylisch, durchdringend and widerwärtig, fettig, muffig/ranzig Käse, Buttersäure, Körpergeruch	[59; 61; 62; 63; 70; 71; 72; 77; 78; 81]
24	Butyraldehyd	123-72-8	10	BB, BM, BÜ, BZ, FM, IA, ID, LI, MB	Schokolade, fruchtig, grün, Banane, stechend, Aldehyd, Kakao, erstickend, muffig, malzig	[15; 16; 56; 59; 60; 62; 63; 68; 70; 71]
25	delta-3-Caren	13466-78-9	10	BÜ, BZ, IA, ID, MB, TR	Paprika, Zitronen, stechend, Harz, Gummi, süß, zitrusartig, Terpene, Tanne, Nadelholz, harsch, kraftvoll, süß, durchdringend, terpentinartig	[16; 20; 55; 57; 62; 64; 67; 70; 72; 75]
26	Octanol	124-13-0	10	BM, BZ, HZ, IA, ID, LI, MB, NH, TR	Wassermelone, zitrusartig, Fett, nussig, stechend, aldehydisch, wachsig, Orangeschale, seifig, frisch, Fleisch, eintopfartig, gekochtes Fleisch, Gras, fruchtig ranzig, Abwasser, geröstet, leicht holzig, grün, mild floral	[19; 20; 56; 57; 59; 61; 62; 70; 75; 78]
27	Pentanol	110-62-3	10	BM, BÜ, BZ, HZ, IA, ID, KZ, LI, MB, NH, PK, SP	Mandel, grün, malzig, Öl, stechend, ätzend, fermentiert, Brot, fruchtig mit beerigen Nuancen, nussig, Beeren, scharf, geröstet, fruchtig	[16; 17; 19; 56; 59; 62; 63; 70; 72; 75]
28	Propionaldehyd	123-38-6	10	BG, BÜ, FZ, IA, ID, LI	alkoholisch, erdig, wenig, Kakao, nussig, floral, stechend, Lösungsmittel, süß, fruchtig, Acetaldehyd, erstickend, Ether, stechend, erdig, alkoholisch, wenig, Cognac, Whiskey, Brandy, fleischig, Weintraube, mandelartig, grün	[15; 18; 55; 59; 63; 66; 67; 70; 71; 81]
29	Propylbenzol	103-65-1	10	BM, BÜ, BZ, FM, IA, ID, MB, TR	Mottenkugel	[16; 20; 55; 56; 60; 62; 63; 67; 70; 72]

lfn. Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit der Nennung	Ort der Untersuchung	Geruchsbeschreibung	Literaturquellen
30	Heptanal	111-71-7	9	-	fettig, zitrusartig, trocken, fischig, grün, nussig, frisch, aldehydisch, krautig, Ozon, Cognac, ölig, kraftvoll, ranzig, sehr stark, harsch, stechend, krautig, durchdringend fruchtig, wachsig, seifig, Orangeschale	[16; 19; 56; 59; 62; 70; 71; 73; 75]
31	n-Hexan	110-54-3	9	-	Alkan, petroleumartig, benzinartig, etwas unangenehm, Lösungsmittel, würzig	[16; 18; 57; 61; 62; 64; 66; 74; 82]
32	Acetophenon	98-86-2	8	-	pflanzlich, stechend, Mottenkugel, Mandel, Plastik, süß stechend, Orangenblüte, Jasmin, süß	[16; 57; 61; 62; 63; 68; 70; 75]
33	Acrolein	107-02-8	8	-	-	[18; 61; 62; 63; 65; 68; 71; 72]
34	Decanal	112-31-2	8	-	Orangeschale, aldehydisch, süß, wachsig, zitrusartig, floral, kraftvoll, Orange, Zitronenschale, alkoholisch, frittiert, durchdringend, Talg, Buchweizen, angenehm, fettig, aldehydisch	[15; 25; 56; 57; 59; 62; 75; 78]
35	n-Butylacetat	123-86-4	8	-	Lösungsmittel, Apfel, Banane, Kleber, stechend, süß, fruchtig, scharf, Ether, Eisbonbon, angenehm, Birne, Kiefer, Beeren	[16; 60; 61; 62; 63; 70; 72; 82]
36	Nonan	111-84-2	8	-	Alkan, Benzin, scharf, Leinsamenöl, ölig, süßlich	[15; 16; 55; 62; 64; 67; 73; 74]
37	Undecan	1120-21-4	8	-	Alkan, schwach	[15; 16; 60; 61; 62; 64; 67; 73]
38	1,4-Dichlorbenzol	106-46-7	7	-	stark, Mottenkugel, mottenkugelartig, durchdringend, deutlich aromatisch	[15; 16; 56; 57; 62; 64; 74]
39	Capronsäure	142-62-1	7	-	sauer, Käse, Ziege, stechend, schweißig, fettig, unangenehm, scharf, ranzig	[16; 59; 61; 62; 65; 70; 72]

lfn. Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit der Nennung	Ort der Untersuchung	Geruchsbeschreibung	Literaturquellen
40	Cyclohexanon	108-94-1	7	-	Aceton, minzig, bitter, Pfefferminz, angenehm	[16; 25; 62; 63; 68; 70; 75]
41	Dichlormethan	75-09-2	7	-	mäßig süß, durchdringend, etherartig, chloroformartig	[16; 55; 64; 66; 67; 70; 74]
42	Dodecan	112-40-3	7	-	Alkan, unerwünscht	[15; 16; 20; 60; 62; 64; 73]
43	Methylisobutylketon	108-10-1	7	-	Stroh, Beeren, süß, Lack, scharf, Lösungsmittel, grün, krautig, fruchtig, Molkerei, würzig, angenehm, schwach, ketonisch, Kampfer, Farbe	[16; 62; 63; 70; 71; 74; 75]
44	Trichlorethylen	79-01-6	7	-	süß, chloroformartig, Ether, Lösungsmittel	[16; 18; 55; 64; 67; 74; 80]
45	Ammoniak	7664-41-7	6	-	stechend, scharf, widerlich, abstoßend, erstickend, irritierend	[55; 58; 67; 71; 72; 81]
46	beta-Pinen	127-91-3	6	-	Kiefer, Politur, Harz, Terpentin, holzig, trocken, harzig, Heu, grün, kühlend, Terpene, frisch, minzig, Eukalyptus, Kampfer, würzig, pfeffrig, Muskatnuss, scharf, Konifere, Nadelholz	[16; 19; 20; 64; 70; 75]
47	Ethanol	64-17-5	6	-	alkoholisch, floral, reifer Apfel, süß, stark, Ether, medizinisch, wenig, Whiskey, angenehm	[16; 62; 63; 64; 66; 70]
48	Isopropylbenzol	98-82-8	6	-	benzinartig, scharf, durchdringend, aromatisch	[57; 60; 62; 63; 70; 71]
49	Limonen	138-86-3	6	-	Balsamico, zitrusartig, duftend, fruchtig, herb, Terpene, Kampfer, Zitronen, durchdringend, Orange, schal, Ether, holzig, frisch, zitronig	[25; 57; 61; 62; 70; 74]
50	Methansäure	64-18-6	6	-	stechend, Essig	[61; 63; 70; 72; 75; 81]
51	Pentansäure	109-52-4	6	-	Körpergeruch, verbrannt/ schweißig, dreckige Socken, Parmesan, süßlich, Käse, fäkal, stechend, faulig, sauer, scharf, milchig, Tabak,	[16; 59; 70; 71; 78; 81]

lfn. Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit der Nennung	Ort der Untersuchung	Geruchsbeschreibung	Literaturquellen
52	2-Propanol	67-63-0	5	-	fruchtig, durchdringend, unangenehm, ranzig, fleischig, geröstet, verdorbener Schinken muffig, Lösungsmittel, alkoholisch, holzig, Gummi, angenehm, leicht, buttrig, trocken / Ethanol & Aceton mix	[16; 62; 63; 64; 70]
53	Ethylacetat	141-78-6	5	-	Aceton, Nagellackentferner, Balsamico, Kontaktkleber, Weintraube, Kiefer, Apfel, süß, Ether, fruchtig, krautig, grün, Kirsche, trocken, muffig, brandyartig, rumartig, angenehm, stark	[16; 62; 63; 70; 72]
54	Furfurylalkohol	98-00-0	5	-	verbrannt, Karamell, Gekochtes, Lösungsmittel, holzig, alkoholisch, chemisch, muffig, süß, Brot, Kaffee	[19; 62; 63; 73; 75]
55	Heptan	142-82-5	5	-	Alkan, verbrannt, floral, Plastik, süß, Ether, petroleumartig, benzinartig	[15; 16; 62; 63; 64]
56	Indol	120-72-9	5	-	tierisch, verbrannt, fäkal, floral (Jasmin), Naphthalin/Mottenkugel, Scheune, Schweinchen, Mottenkugel, muffig, fäkal	[58; 70; 71; 77; 81]
57	Naphthalin	91-20-3	5	-	Mottenkugel, Teer, stechend, trocken, starker Steinkohlenteer, Kampfer, fettig, ölig	[16; 55; 57; 66; 67]
58	p-Xylol	106-42-3	5	-	kaltes Fleisch, Fett, Metall, süß, aromatisch, Lösungsmittel	[20; 62; 63; 65; 72]
59	Tetradecan	629-59-4	5	-	mild, wachsig, Alkan, Kohlenwasserstoff	[15; 16; 20; 57; 62]
60	trans-Crotonaldehyd	123-73-9	5	-	blumig, erstickend, durchdringend, stechend	[15; 63; 68; 71; 81]
61	1,2,3-Trimethylbenzol	526-73-8	4	-	Pestizid, deutlich, aromatisch	[20; 57; 64; 72]

lfn. Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit der Nennung	Ort der Untersuchung	Geruchsbeschreibung	Literaturquellen
62	1,2,4-Trimethylbenzol	95-63-6	4	-	Plastik, Pestizid, stark, aromatisch	[15; 16; 56; 64]
63	1,3,5-Trimethylbenzol	108-67-8	4	-	Pestizid, süß, aromatisch, deutlich	[15; 16; 20; 62]
64	2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	112-34-5	4	-	Lösungsmittel, grün, herb, irritierend, Plastik, mild angenehm, schwacher Butylgeruch, milder Ethergeruch	[16; 62; 64; 65]
65	2,4-Heptadienal	5910-85-0	4	-	grün, stechend, fruchtig, würzig, fettig, Zimt, Haselnuss, Blaubeeren, Himbeeren, Kurkuma, Fett, nussig, zitrusartig, Orange, süß, zitrusartig/Melone	[71; 75; 78; 79]
66	2-Ethoxyethylacetat	111-15-9	4	-	angenehm, mild, schwach esterartig	[16; 62; 63; 70]
67	2-Methyl-1-propanol	78-83-1	4	-	Apfel, Kakao, Fusel, malzig, Ether, wenig, Rinde, Whiskey, Öl, Wein, fruchtig, süß, muffig, Amylalkohol, durchdringend, unangenehm, erstickend, Fusel, Öl, bitter, grün, harsch	[55; 63; 67; 70]
68	2-Methylpropansäure	79-31-2	4	-	verbrannt, Butter, Käse, Fett, ranzig, sauer, Molkerei, ranzige Butter, stechend, Buttersäure, Eisen, fischig	[59; 70; 71; 81]
69	a-Methylstyrol	98-83-9	4	-	scharf, aromatisch	[60; 62; 63; 70]
70	Camphen	79-92-5	4	-	Kampfer, Mottenkugel, Öl, warm, holzig, krautig, Tanne, Nadelholz, kühlend, Kiefer, holzig, Terpene, zitrusartig, grün, minzig, würzig, Nadelholz, harsch, Kiefer, zitrusartig & grün, minzig & grün, fade	[57; 62; 64; 75]
71	Caprylsäure	124-07-2	4	-	-	[16; 59; 70; 72]

lfn. Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit der Nennung	Ort der Untersuchung	Geruchsbeschreibung	Literaturquellen
72	Diethylamin	109-89-7	4	-	Ammoniak, fischig, ammoniakartig, stark, unangenehm, stechend, fischig	[62; 63; 70; 75]
73	Dimethylsulfid	75-18-3	4	-	Zuckermais, Olive, Krabbenstange, Kohl, Benzin, organisch, schwefelig, nasse Erde, Meerrettich, Kartoffel, pflanzlich, floral, Tomate, grün, Zwiebel, cremig, fischig, Muschel, Beeren fruchtig, vegetativ, faules Gemüse, fauler Kohl	[57; 58; 70; 81]
74	Essigsäureisopropylester	108-21-4	4	-	Banane, süß, fruchtig, aromatisch, ätherisch, chemisch	[16; 62; 63; 70]
75	Hexadecan	544-76-3	4	-	Alkan, wurzelig, Kohl	[15; 16; 20; 62]
76	3-methyl-Butanal	590-86-3	4	-	ätzend, Mandel, Kakao, malzig, stechend, Ether, aldehydisch, Schokolade, Pfirsich, fettig, schwach erstickend, apfelartig, kraftvoll durchdringend, ätzend, fruchtiger Bonbon, überreif fruchtig, ein bisschen unangenehm, Eichel, nussig, geröstet, käsig, salzig, fruchtig	[15; 60; 63; 81]
77	Methylcyclohexan	108-87-2	4	-	leicht aromatisch, Lösungsmittel, Brennstoffe	[16; 57; 62; 64]
78	n-Pentadecan	629-62-9	4	-	wachsig, Alkan	[15; 16; 20; 62]
79	n-Tridecan	629-50-5	4	-	Alkan, Kohlenwasserstoff	[15; 16; 20; 62]
80	Octan	111-65-9	4	-	Alkan, Fett, Öl, süß, benzinartig	[15; 16; 61; 64]
81	Ozon	10028-15-6	4	-	angenehm, sehr stechend	[18; 60; 61; 65]
82	Propansäure	79-09-4	4	-	Fett, stechend, ranzig, Silage, Soja, Molkerei, sauer, käsig, Essig, ranzige Buttermilch, fettig, Körpergeruch, schweißig	[59; 63; 71; 81]

lfn. Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit der Nennung	Ort der Untersuchung	Geruchsbeschreibung	Literaturquellen
83	Pyridin	110-86-1	4	-	verbrannt, stechend, ranzig, ekelerregend, sauer, faulig, fischig, Amine, Lösungsmittel, irritierend	[70; 71; 77; 81]
84	Schwefelwasserstoff	7783-06-4	4	-	-	[58; 70; 71; 81]
85	Skatol	83-34-1	4	-	tierisch, fäkal, floral, Mottenkugel, sehr stark, Indol, Zibeth, Skatol, Eber, Schwein, fäkal, Naphthalin, fäkal, faulig, ekelerregend	[58; 70; 71; 81]
86	Stickstoffdioxid	10102-44-0	4	-	stechend, ätzend, irritierend	[55; 61; 65; 67]
87	Trichlormethan	67-66-3	4	-	süß, etherartig, angenehm, Chloroform	[16; 60; 74; 80]
88	Trimethylamin	121-44-8	4	-	fischig, stechend, Ammoniak	[62; 63; 72; 81]
89	(E,E)-2,4-Decadienal	25152-84-5	3	-	Bratöl, ranzig, Pommes, frittiert, Fett, grün, ölig, Kurkuma, Melone, zitrusartig, Kürbis, nussig, Fleisch, kraftvoll grün, süß, Orange, Weintraube, fruchtig	[71; 78; 79]
90	1,1,1-Trichlorethan	71-55-6	3	-	scharf, süß, Ether, angenehm, Chloroform	[16; 64; 74]
91	1-Ethoxy-2-Propylacetat	103-09-03	3	-	-	[62; 70; 75]
92	1-Hexanol	111-27-3	3	-	blumig, fruchtig, grün, herb, holzig, Ether, Fusel, Öl, alkoholisch, süß, krautig, aldehydisch, frisch, caprylisch, fermentiert, süß-alkoholisch, angenehm, grasig, muffig/Harz, grün, Gras	[61; 63; 70]
93	1-Methoxypropan-2-o	107-98-2	3	-	mild, Ether, schwach angenehm	[16; 62; 72]
94	1-Octanol	111-87-5	3	-	seifig, Fett, Jasmin, Zitronen, Metall, walnussig, wachsig, grün, Orange, aldehydisch, Rose, pilzig,	[61; 70; 72]

lfn. Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit der Nennung	Ort der Untersuchung	Geruchsbeschreibung	Literaturquellen
					fettig, Kokos, zitrusartig, durchdringend aromatisch, frische Orange, stark, sauer, kraftvoll frisch, Rose, wachsig, süß	
95	1-Octen-3-ol	3391-86-4	3	-	erdig, Fett, floral, Schimmel, pilzig, grün, ölig, pilzig, rohes Hühnchen	[61; 72; 79]
96	1-Pentanol	71-41-0	3	-	Öl, süß, Balsamico, fruchtig, grün, medizinisch, Hefe, Fusel, stechend, fermentiert, Brot, wenig, Lösungsmittel, süß, stark, tropical	[62; 63; 70]
97	1-Pentanthiol	110-66-7	3	-	schwefelig, fettig, geröstet, fleischig, pflanzlich, belästigend, stark, knoblauchartig, intensiv unangenehm	[70; 77; 81]
98	2, 3-Butandion	431-03-8	3	-	-	[57; 72; 77]
99	2-Ethoxyethanol	110-80-5	3	-	süß, angenehm, etherartig, praktisch geruchsneutral	[16; 62; 74]
100	2-Heptenal	2463-63-0	3	-	grün, Metall, stechend, Talg, fettig	[19; 59; 62]
101	2-Pentanon	107-87-9	3	-	verbranntes Plastik, Ether, fruchtig, Kerosin, stechend, süß, fruchtig, Wein, Banane, holzig, acetonartig, Keton	[63; 70; 72]
102	3-Methylbutansäure	503-74-2	3	-	Käse, fäkal, faulig fruchtig, ranzig, schweißig, sauer, stinkend, Füße, süßlich, tropical, durchdringend, unangenehm, ranziger Käse, unangenehmer Körpergeruch, fettig, sauer, faul, buttrig, fettig, verdorbener Schinken	[70; 71; 81]
103	Acrylsäurebutylester	141-32-2	3	-	fruchtig, scharf, stark, duftend, beißend, pilzig	[62; 70; 75]

lfn. Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit der Nennung	Ort der Untersuchung	Geruchsbeschreibung	Literaturquellen
104	Benzoessäure	65-85-0	3	-	stechend, sauer, Urin, schwach, Balsam, Benzaldehyd	[57; 68; 75]
105	Cyclohexane	110-82-7	3	-	stechend, Lösungsmittel, trocken, Brennstoff, petroleumartig, chloroformartig, süß	[16; 57; 74]
106	Dimethylamin	124-40-3	3	-	fischig	[57; 63; 81]
107	Guajacol	90-05-1	3	-	Speck, medizinisch, phenolisch, Rauch, holzig	[77; 78; 79]
108	Isobutylacetat	110-19-0	3	-	Apfel, Banane, floral, herb, Birne, süß, fruchtig, Ether, tropical, Hyazinthe, Rose, Lösungsmittel, Nagellack	[62; 63; 70]
109	Isophoron	78-59-1	3	-	scharf, Zedernholz, würzig, Tabak, kühlend, holzig, süß, grün, Kampfer, fruchtig, muffig, Leder, Pfefferminz, frisches Gummi	[61; 63; 70]
110	Isopren	78-79-5	3	-	petroleumartig	[61; 64; 77]
111	Mathylacetat	79-20-9	3	-	Ester, grün, süß, fruchtig, Lösungsmittel, ätherisch, weinig, Cognac, Rum	[16; 62; 63]
112	Mathylmercaptan	74-93-1	3	-	Kohl, Knoblauch, Benzin, faulig, schwefelig, verdorbener Kohl, gekochter Kohl, fleischig, pikant, alkoholisch, eiig, cremig, Pflanzenöl, Zwiebel, Abwasser, fäkal, Stinktief, faule Eier, Fleisch, fischig, käsig	[57; 58; 70]
113	Methylamin	74-89-5	3	-	fischig, stechend, ammoniakartig	[63; 71; 81]
114	m-Kresol	108-39-4	3	-	trocken, Teer, fäkal, Leder, medizinisch, phenolisch, süß, Steinkohlenteer	[57; 70; 78]
115	n-Butylbenzol	104-51-8	3	-	-	[62; 72; 78]

lfn. Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit der Nennung	Ort der Untersuchung	Geruchsbeschreibung	Literaturquellen
116	N-Methyl-2-pyrrolidon	872-50-4	3	-	fischig, aminartig	[62; 72; 82]
117	Octamethylcyclotetrasiloxan	556-67-2	3	-	-	[20; 25; 62]
118	p-Kresol	106-44-5	3	-	Pferd, medizinisch, phenolisch, Rauch, Stall, Narzisse, tierisch, Mimose, kraftvoll phenolisch, teerartig, Teer, süß, Pferdestall, fäkal, Scheune, medizinisch, Plastik, rauchig, stechend	[57; 70; 78]
119	Trimethylbenzol	25551-13-7	3	-	-	[55; 64; 67]
120	(+)-alpha-Pinen	7785-70-8	2	-	-	[65; 72]
121	(E,Z)-2,6-Nonadienal	557-48-2	2	-	Kurkuma, grün, Salat, Melone, wachsig, fettig, trocken, Veilchen, Laub, pflanzlich, würzig	[78; 79]
122	(Z)-2-Nonenal	60784-31-8	2	-	Kurkuma, Fett, grün, Metall, Talg	[61; 78]
123	1,2-Dichlorbenzol	95-50-1	2	-	angenehm, aromatisch	[63; 74]
124	1,2-Dichloropropan	78-87-5	2	-	chloroformartig, süß	[70; 75]
125	1,8-Cineol	470-82-6	2	-	Kampfer, kühl, Eucalyptol, Minze, süß, medizinisch, krautig, Eis, frisch, Eukalyptus	[57; 70]
126	1-Heptanol	111-70-6	2	-	chemisch, grün, faulig, unangenehm, holzig, muffig, Laub, Veilchen, krautig, süß, Pfingstrose, duftend, schwach alkoholisch, duftend, schwach, aromatisch, fettig	[63; 70]
127	1-Propanol	71-23-8	2	-	alkoholisch, Bonbon, muffig, Plastik, stechend, fermentiert, Fusel, Ethanol	[63; 70]

lfn. Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit der Nennung	Ort der Untersuchung	Geruchsbeschreibung	Literaturquellen
128	2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandiol diisobutyrate	6846-50-0	2	-	-	[20; 72]
129	2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandiol monoisobutyrate	25265-77-4	2	-	-	[16; 20]
130	2,3,4,6-Tetrachloroanisol	938-22-7	2	-	Schimmel, Staub, muffig. Fehlgeruchkomponente von Mehl	[75; 83]
131	2-Butanol	78-92-2	2	-	alkoholisch, medizinisch, Lösungsmittel, Wein, süß, Aprikose, fermentiert, Hefe	[70; 75]
132	2-Butoxyethylacetat	112-07-2	2	-	-	[25; 70]
133	2-Diethylethanolamin	100-37-8	2	-	aminartig	[62; 70]
134	2-Ethyl-toluol	611-14-3	2	-	toluolartig	[16; 57]
135	2-Heptanon	110-43-0	2	-	Paprika, Blauschimmelkäse, Zimt, grün, nussig, fruchtig, würzig, süß, krautig, Kokos, holzig	[63; 70]
136	2-Methoxyethanol	109-86-4	2	-	mild, etherartig	[16; 74]
137	2-Methoxyethylacetate	110-49-6	2	-	angenehm, estherartig	[63; 70]
138	2-Methylpentan	107-83-5	2	-	benzinartig, mild	[16; 64]
139	2-Octanon	111-13-7	2	-	pilzig, Fett, duftend, Schimmel, überreif fruchtig, seifig, erdig, krautig, natürlich, holzig, krautig, grün, Käse, floral, bitter, fruchtig (unreifer Apfel), angenehm, Keton, Benzin, muffig, grün, frisch	[63; 72]
140	2-Octenal	2363-89-5	2	-	Löwenzahn, Fett, fruchtig, Gras, grün, krautig, würzig	[19; 62]

lfn. Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit der Nennung	Ort der Untersuchung	Geruchsbeschreibung	Literaturquellen
141	2-Pentylacetat	628-63-7	2	-	Ether, fruchtig, Banane, Birne, Apfel, süß	[63; 70]
142	2-Pentylfuran	3777-69-3	2	-	Butter, floral, fruchtig, grüne Bohne, erdig, pflanzlich, metallisch, stechend, süß, grün	[16; 59]
143	2-Propen-1-ol	107-18-6	2	-	stechend, muffig, irritierend	[61; 63]
144	2-Undecanon	112-12-9	2	-	frisch, grün, Orange, Kiefer, Apfel, Rose, wachsig, fruchtig, cremig, fettig, Veilchen, floral, stark, Zwiebel, Knoblauch, würzig, staubig, zitrusartig, Iris, süß, Pfirsich	[61; 63]
145	3,5-Dimethyl-1-hexyn-3-ol	107-54-0	2	-	-	[62; 75]
146	3-Buten-2-on	78-94-4	2	-	grün, Metall, süß, stechend	[61; 63]
147	3-Methoxybutylacetat	4435-53-4	2	-	ätzend, irritierend, scharf	[25; 62]
148	3-Methylpentan	96-14-0	2	-	benzinartig	[16; 57]
149	4-Ethylmorpholin	100-74-3	2	-	Ammoniak	[62; 70]
150	4-Heptanon	123-19-3	2	-	fruchtig, Käse, süß, Cognac, Kiefer, Apfel, angenehm	[62; 75]
151	4-Methyl-benzaldehyd	104-87-0	2	-	fruchtig, Kirsche, phenolisch, süß, würzig, mandelartig, bitter Mandel, Marzipan (stick 409)	[15; 62]
152	4-Methylpentan-2-ol	108-11-2 (Racemat)	2	-	stechend, alkoholisch	[61; 63]
153	4-Phenylcyclohexen	4994-16-5	2	-	Teppich, grün, aromatisch, schwefelig, würzig, Pomeloschale	[75; 82]
154	4-tert-Butyltoluene	98-51-1	2	-	benzinartig, aromatisch, Benzin.	[61; 63]

lfn. Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit der Nennung	Ort der Untersuchung	Geruchsbeschreibung	Literaturquellen
155	4-Vinyl-1-Cyclohexen	100-40-3	2	-	synthetisch, würzig, Knoblauch, Zwiebel, schwefelig, stark, stechend	[61; 75]
156	5-Ethyl-2-Methylpyridin	104-90-5	2	-	scharf, durchdringend	[70; 77]
157	5-Methylfurfural	620-02-0	2	-	Mandel, Karamell, Gekochtes, gerösteter Knoblauch, würzig, Ahorn	[57; 77]
158	5-Methylhexan-2-one	110-12-3	2	-	süß, angenehm, fruchtig	[63; 70]
159	Allylamin	107-11-9	2	-	Ammoniak, stechend, irritierend	[63; 77]
160	Benzo[a]pyren	50-32-8	2	-	Geruchlos, schwach aromatisch	[55; 67]
161	Benzolmethanol	100-51-6	2	-	-	[57; 62]
162	Benzolmonochlorid	108-90-7	2	-	Mottenkugel, nussig, verbrannt, süß mandelartig, schwach, nicht unangenehm, milde Amine, mild aromatisch, durchdringend	[63; 70]
163	Benzophenon	119-61-9	2	-	floral (Rose/ Geranie), Balsamico, fruchtig (zitrusartig), pudrig, Geranie, Rose	[62; 75]
164	Benzylchlorid	100-44-7	2	-	Lösungsmittel, irritierend, stechend, aromatisch, eher unangenehm	[61; 63]
165	Butylamin	109-73-9	2	-	fischig, ammoniakartig, sauer	[63; 70]
166	Butyldiglycol-acetate	124-17-4	2	-	-	[62; 64]
167	Dec-2-enal	3913-71-1	2	-	Fett, fischig, Orange, Farbe, Rose, aldehydisch, floral, grün	[59; 65]
168	Dibutylamin	111-92-2	2	-	fischig / aminartig, ammoniakartig	[63; 70]
169	Diisopropylamin	108-18-9	2	-	fischig, ammoniakartig	[63; 70]

lfn. Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit der Nennung	Ort der Untersuchung	Geruchsbeschreibung	Literaturquellen
170	Dimethyldisulfid	624-92-0	2	-	schwefelig, pflanzlich, Kohl, Zwiebel, faulig, Knoblauch, fäkal, abstoßend, verfaultes Gemüse, verdorbener Schinken, verbrannt	[70; 81]
171	Dimethylformamid	68-12-2	2	-	fischig, stechend, aminartig	[16; 75]
172	Dipropylamine	142-84-7	2	-	-	[63; 70]
173	DL-Limonen	7705-14-8	2	-	frisch, süß, Zitronen.	[16; 61]
174	e-Caprolactam	105-60-2	2	-	Amine, würzig, unangenehm	[56; 72]
175	Ethylacrylat	140-88-5	2	-	erdig, Plastik, sauer, stechend, Acrylat, fruchtig, Farbe, verbrannt, ölig, fettig	[63; 70]
176	Ethylamin	75-04-7	2	-	ammoniakartig, fischig, Ammoniak	[63; 81]
177	Ethylmercaptan	75-08-1	2	-	erdig, Zwiebel, Gummi, schwefelig, Knoblauch, fruchtig, Abwasser, verrotteter Kohl	[70; 81]
178	Eugenol	97-53-0	2	-	Nelke, warm, würzig, holzig, verbrannt, Rauch	[78; 79]
179	Geraniol	106-24-1	2	-	Geranie, süß, floral, fruchtig, Rose, wachsig, zitrusartig	[70; 79]
180	Glutaraldehyd	111-30-8	2	-	stechend, fruchtig, medizinisch, süß	[18; 72]
181	Hexylacetat	142-92-7	2	-	Apfel, Banane, Konfekt, Gras, herb, fruchtig, grün, süß, Birne, fettig, frisch, süß-fruchtig, Ester	[63; 70]
182	Isopropylamin	75-31-0	2	-	fischig, Ammoniak	[63; 70]
183	Linalool	78-70-6	2	-	Bergamotte, Koriander, Weintraube, Lavendel, Rose, zitrusartig, floral, süß, Rose, holzig, grün, Blaubeeren, wachsig, Orange, Terpene,	[62; 70]

lfn. Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit der Nennung	Ort der Untersuchung	Geruchsbeschreibung	Literaturquellen
					Zitronen, Earl Grey Tee, Bergamottöl, würzig, blumig-frisch, Lilie	
184	Longifolen	475-20-7	2	-	-	[64; 75]
185	Methacrolein	78-85-3	2	-	wild, Hyazinthe, Laub, stechend	[65; 72]
186	Methanol	67-56-1	2	-	alkoholisch, süß, deutlich, stechend, Ethylalkohol, abstoßend, stechend, medizinisch	[63; 70]
187	Methylbenzoat	93-58-3	2	-	phenolisch, wintergrün, Mandel, floral, krautig, Salat, Pflaume, süß, Veilchen, chemisch, phenolisch, Kirsche, duftend, medizinisch	[62; 75]
188	Methylmethacrylat	80-62-6	2	-	stechend, schwefelig, süß, scharf, ätzend, fruchtig, Acryl, aromatisch, würzig, frittiert, Lösungsmittel, Knoblauch, Zwiebel, Nagellack	[70; 71]
189	m-Xylol	108-38-3	2	-	frittiert, medizinisch, nussig, Plastik, ranzig, süß, aromatisch	[62; 71]
190	Octylbenzol	2189-60-8	2	-	-	[56; 70]
191	o-Kresol	95-48-7	2	-	muffig, phenolisch, scharf, Rauch, Teer, süß	[70; 77]
192	p,α-Dimethylstyrol	1195-32-0	2	-	zitrusartig, Kiefer, phenolisch, würzig, Styrol, Nelke, Guajakol, muffig, Kaffee, nussig, krautig, Leder, pfeffrig, Öl, Thymian, zitrusartig, verbrannt holzig, gerösteter Kaffee	[57; 70]
193	Pentachlorphenol	87-86-5	2	-	phenolisch, muffig, benzolartig, stechend	[55; 67]
194	Propylacetat	109-60-4	2	-	Sellerie, floral, Birne, rot fruchtig, Lösungsmittel, stechend, Fusel, Amylalkohol, süß	[63; 70]
195	tert-Butylbenzol	98-06-6	2	-	-	[61; 72]

lfn. Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit der Nennung	Ort der Untersuchung	Geruchsbeschreibung	Literaturquellen
196	Tetrahydrofuran	109-99-9	2	-	Butter, Karamell, etherartig, fruchtig, Aceton	[16; 74]
197	Thiophen	110-02-1	2	-	-	[70; 77]
198	Toluylenediisocyanat	26471-62-5	2	-	-	[55; 67]
199	trans,trans-2,4-Nonadienal	5910-87-2	2	-	frittiert, Fett, Geranie, grün, Metall, nussig, Veilchen, Laub	[62; 78]
200	Trichlorofluoromethan	75-69-4	2	-	Ether, süß	[64; 70]
201	Trichloronitromethan	76-06-2	2	-	stark irritierend, stechend, pfeffrig	[16; 63]
202	Trimethylamin	75-50-3	2	-	Ammoniak, fischig, stechend, Garnele, ölig, ranzig, süßlich, fruchtig	[63; 81]
203	Tris-(2-chloroethyl)phosphat	115-96-8	2	-	-	[55; 67]
204	Vinylacetat	108-05-04	2	-	-	[25; 70]
205	α -Terpinen	99-86-5	2	-	Beeren, Zitronen, holzig, Terpene, krautig, medizinisch, zitrusartig, Kampfer, Thymian, würzig	[61; 70]

Legende zur Tabelle 45:

Abk.	Beischreibung	Abk.	Beischreibung	Abk.	Beischreibung	Abk.	Beischreibung	Abk.	Beischreibung
AA	Außenraum allg.	DR	Druckerei	ID	Innenraumdaten	NH	neu gebautes Haus	UBA	Umweltbundesamt, Dessau
BB	Bodenbeläge	FM	Fotokopiermaschine	KZ	Kinderzimmer	PK	Parkett	WG	Wohngebäude
BG	Bürogebäude	FZ	Flugzeug	LI	Linoleum	RB	Raucherbüro	WM	Weichmacher
BM	Baumaterialien	HS	Haarsalon	MB	Möbel-Beschichtungen	SB	Schulbuch	ZR	Zigarettenrauch
BÜ	Büro	HZ	Holz	MU	Museum	SP	Spanplatte		
BZ	Badezimmer	IA	Innenraum allg.	NB	Nichtraucher Büro	TR	Trailer		

A.2 Zweite Substanzliste

Tabelle 46: Zweite Substanzliste zur Erstellung eines Geruchsrads nach erster Expert:innenbefragung.

Vorläufige Zusammenstellung häufiger Innenraumschadstoffe unter Angabe der Häufigkeit; alphabetische Sortierung nach Häufigkeit der Nennung

Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit Substanznennung in der Literaturrecherche	Charaktere	Literatur	Häufigkeit 1. Befragung mit 10 Feedbacks [12]	Geruchsschwelle in mg/m ³ (Bereiche)
1	Hexanal (Capronaldehyd)	66-25-1	23	fruchtig, grasig, ranzig	[15; 16; 17; 19; 20; 55; 56; 57; 59; 60; 61; 62; 63; 65; 67; 70; 72; 73; 75; 77; 78; 79; 84]	8	0,0012 – 0,23

Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit Substanznennung in der Literaturrecherche	Charaktere	Literatur	Häufigkeit 1. Befragung mit 10 Feedbacks [12]	Geruchsschwelle in mg/m ³ (Bereiche)
2	Benzaldehyd	100-52-7	16	Mandel, Marzipan, karamellisierter Zucker	[15; 16; 17; 18; 19; 20; 55; 59; 60; 61; 62; 63; 67; 68; 73; 75]	8	0,085
3	alpha-Pinen (Dimer)	80-56-8	12	Kiefern / Nadelholz, harzig	[16; 18; 19; 20; 55; 56; 61; 62; 64; 67; 70; 75]	7	0,10
4	Naphthalin	91-20-3	5	Teer, Mottenkugel	[16; 55; 57; 66; 67]	7	0,45
5	Nonanal	124-19-6	13	Fett, Zitrusfrüchte, grün	[15; 16; 19; 20; 25; 57; 59; 60; 62; 64; 70; 73; 79]	6	0,002 – 0,0031
6	Toluol	108-88-3	26	süß, stechend	[11; 15; 16; 18; 20; 25; 55; 56; 57; 58; 59; 60; 61; 62; 63; 64; 65; 66; 67; 68; 69; 70; 71; 72; 73; 74]	5	0,3-1,3
7	Formaldehyd	50-00-0	23	stechend, Desinfektion	[15; 16; 17; 18; 19; 20; 41; 55; 56; 60; 61; 63; 65; 66; 67; 68; 69; 71; 72; 74; 75; 76; 77]	5	0,6 – 0,63
8	R-Limonen	5989-27-5	15	Orange, stechend, zitrusartig	[15; 18; 19; 20; 55; 60; 64; 65; 66; 67; 70; 71; 72; 73; 75]	5	0,045 – 0,137
9	2-Ethylhexanol	104-76-7	13	grasig, mentholig, Gummi	[18; 20; 55; 60; 61; 62; 63; 65; 67; 70; 72; 75; 82]	5	0,8
10	Styrol	100-42-5	19	süß, blumig, Lösungsmittel, beißend wenn Aldehyde enthalten: scharf	[15; 16; 18; 20; 55; 56; 57; 58; 60; 61; 62; 63; 64; 67; 70; 71; 72; 75; 80]	4	0,15 – 26,4
11	m/p-Xylol	1330-20-7	12	süß	[15; 16; 18; 55; 56; 60; 64; 66; 67; 69; 74; 80]	4	0,18 – 1,6

Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit Substanznennung in der Literaturrecherche	Charaktere	Literatur	Häufigkeit 1. Befragung mit 10 Feedbacks [12]	Geruchsschwelle in mg/m ³ (Bereiche)
12	Phenol	108-95-2	11	süß, Teer, sauer, Rauch, animalisch	[20; 55; 57; 61; 62; 63; 67; 70; 72; 75; 82]	4	0,021 – 0,022
13	Propionaldehyd (Propanal)	123-38-6	10	stechend	[15; 18; 55; 59; 63; 66; 67; 70; 71; 81]	4	0,0024 – 0,0048
14	Butyraldehyd (Butanal)	123-72-8	10	Kakao, stechend, muffig	[15; 16; 56; 59; 60; 62; 63; 68; 70; 71]	4	0,0013 – 0,1
15	Decanal	112-31-2	8	zitrusartig, süß, floral	[15; 25; 56; 57; 59; 62; 75; 78]	4	0,0026
16	Ethylacetat	141-78-6	5	fruchtig, Weinbrand	[16; 62; 63; 70; 72]	4	1,3 – 6,1
17	2-Propanol	67-63-0	5	Alkohol, Lösungsmittel	[16; 62; 63; 64; 70]	4	65
18	p-Kresol	106-44-5	3	Pferdestall, animalisch	[57; 70; 78]	4	0,00024
19	m-Kresol	108-39-4	3	animalisch, muffig, Kork	[57; 70; 78]	4	0,00024 – 0,00044
20	(+)-alpha-Pinen	7785-70-8	2	Kiefer	[65; 72]	4	0,0053
21	Ethylbenzol	100-41-4	16	Benzin, süß	[15; 16; 18; 20; 56; 57; 60; 61; 62; 63; 64; 67; 70; 72; 74; 80]	3	0,026 – 0,75
22	Essigsäure	64-19-7	15	Essig, stechend, sauer	[16; 20; 59; 61; 62; 63; 65; 68; 70; 71; 72; 73; 75; 78; 81]	3	0,013 – 0,15
23	Acetaldehyd	75-07-0	16	floral, süß	[15; 17; 18; 19; 20; 55; 56; 63; 66; 67; 68; 69; 71; 72; 75; 81]	3	0,0027 – 0,0028
24	2-Butoxyethanol	111-76-2	14	ranzig, süß	[16; 18; 55; 56; 59; 61; 62; 63; 65; 67; 68; 70; 72; 74]	3	0,21

Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit Substanznennung in der Literaturrecherche	Charaktere	Literatur	Häufigkeit 1. Befragung mit 10 Feedbacks [12]	Geruchsschwelle in mg/m ³ (Bereiche)
25	2-Butanon	78-93-3	14	fruchtig, süß, Plastik	[16; 55; 59; 62; 63; 64; 65; 66; 67; 70; 71; 72; 74; 81]	3	1,3 – 1,6
26	o-Xylol	95-47-6	12	süß	[15; 55; 57; 60; 61; 62; 63; 64; 66; 67; 69; 80]	3	0,18 – 1,7
27	Acrolein (Acrylaldehyd)	107-02-8	8	verbrannt, süß, beißend	[18; 61; 62; 63; 65; 68; 71; 72]	3	0,0084
28	Heptanal	111-71-7	9	Zitrusfrucht, ranzig	[16; 19; 56; 59; 62; 70; 71; 73; 75]	3	0,00086 – 0,26
29	Acetophenon	98-86-2	8	süß	[16; 57; 61; 62; 63; 68; 70; 75]	3	0,0012 – 0,0077
30	Limonen	138-86-3	6	zitrusartig, fruchtig	[25; 57; 61; 62; 70; 74]	3	0,0539 – 0,22
31	1,3,5- Trimethylbenzol (Mesitylen)	108-67-8	4	Gummimatte	[15; 16; 20; 62]	3	0,83 – 0,85
32	3-methyl- Butanal	590-86-3	4	Apfel, Kakao, fruchtig, nussig,	[15; 60; 63; 81]	3	0,00035
33	Glutaraldehyd (Glutaral)	111-30-8	2	stechend, fruchtig, medizinisch, süß	[18; 72]	3	0,0015
34	2- Phenoxyethanol	122-99-6	-	Gummi, stechend, chemisch	-	3	4,2
35	2-(2- Ethoxyethoxy)- ethanol	111-90-0	-	-	-	3	<1,2-6
36	1-Butanol	71-36-3	11	fruchtig, Lösungsmittel	[15; 16; 55; 61; 62; 63; 67; 70; 71; 72; 75]	2	0,078 – 1,4

Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit Substanznennung in der Literaturrecherche	Charaktere	Literatur	Häufigkeit 1. Befragung mit 10 Feedbacks [12]	Geruchsschwelle in mg/m ³ (Bereiche)
37	Butansäure	107-92-6	10	schweißig, käsig	[59; 61; 62; 63; 70; 71; 72; 77; 78; 81]	2	0,00070 – 0,00094
38	delta-3-Caren	13466-78-9	10	stechend, Gummi	[16; 20; 55; 57; 62; 64; 67; 70; 72; 75]	2	9,3
39	n-Butylacetat	123-86-4	8	fruchtig, Eisbonbon	[16; 60; 61; 62; 63; 70; 72; 82]	2	0,010 – 0,077
40	beta-Pinen	127-91-3	6	Kiefer, harzig, würzig	[16; 19; 20; 64; 70; 75]	2	0,18 – 0,19
41	Isopropylbenzol (Cumol)	98-82-8	6	benzinartig	[57; 60; 62; 63; 70; 71]	2	0,041 – 0,042
42	1,2,3-Trimethyl- benzol	526-73-8	4	Gummi	[20; 57; 64; 72]	2	0,59
43	2,4-Heptadienal	5910-85-0	4	fettig, zitrusartig, feuchte Kartonage	[71; 75; 78; 79]	2	-
44	(E,E)-2,4- Decadienal	25152-84-5	3	fettig, orange, ranzig	[71; 78; 79]	2	-
45	2,3,4,6-Tetra- chloroanisol	938-22-7	2	Schimmel, Staub, muffig, erdig	[75; 83]	2	0,00001
46	Benzothiazol	95-16-9	-	Gummi, Kunststoff, chemisch	-	2	0,0054
47	2,3,4,5,6-Penta- chloranisol	1825-21-4	-	geruchsintensiv	-	2	0,00219
48	2,3,6-Tri- chloranisol	50375-10-5	-	geruchsintensiv	-	2	-

Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit Substanznennung in der Literaturrecherche	Charaktere	Literatur	Häufigkeit 1. Befragung mit 10 Feedbacks [12]	Geruchsschwelle in mg/m ³ (Bereiche)
49	2,3,4-Tri- chloranisol	54135-80- 7	-	geruchsintensiv	-	2	0,03038
50	2,4,6-Tri- chloranisol	87-40-1	-	schimmelig	-	2	0,000005 – 0,000080
51	1-Chlor- naphthalin	90-13-1	-	muffig, süßlich	-	2	-
52	2-Ethylhexanal	123-05-7	-	scharf	-	2	-
53	(E)-2- Nonenal/(E)- 2-Decenal	18829-56- 6	-	pappig	-	2	0,00009
54	Valeraldehyd (Pentanal)	110-62-3	-	fruchtig, balsamisch	-	2	0,0015 – 0,85
55	1-Methyl- naphthalin	90-12-0	-	muffig, Mottenkugel, animalisch, staubig, modrig	-	2	0,092
56	2-Methyl- naphthalin	91-57-6	-	muffig, chemisch, animalisch, modrig	-	2	0,004 – 0,055
57	Dibutylphthalat	84-74-2	-	-	-	2	0,26
58	Capronsäure	142-62-1	7	Käsige, fettig, Ziege, sauer	[16; 59; 61; 62; 65; 70; 72]	1	0,0029 – 0,0048
59	Methyliso- butylketon	108-10-1	7	Lösungsmittel, Lack, würzig	[16; 62; 63; 70; 71; 74; 75]	1	0,70 – 0,71
60	Ethanol	64-17-5	6	alkoholisch, medizinisch	[16; 62; 63; 64; 66; 70]	1	0,62 – 1,0

Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit Substanznennung in der Literaturrecherche	Charaktere	Literatur	Häufigkeit 1. Befragung mit 10 Feedbacks [12]	Geruchsschwelle in mg/m ³ (Bereiche)
61	Ammoniak	7664-41-7	6	Ammoniak	[55; 58; 67; 71; 72; 81]	1	1,1 – 1,8
62	Indol	120-72-9	5	floral, Mottenkugel, verbrannt	[58; 70; 71; 77; 81]	1	0,0015
63	trans-Croton- aldehyd	123-73-9	5	stechend, floral	[15; 63; 68; 71; 81]	1	0,067
64	Essigsäure- isopropylester	108-21-4	4	fruchtig	[16; 62; 63; 70]	1	0,67 – 0,68
65	Diethylamin	109-89-7	4	fischig	[62; 63; 70; 75]	1	0,14 – 0,15
66	Dimethylsulfid	75-18-3	4	Kohl, schwefelig, faulig	[57; 58; 70; 81]	1	0,0010
67	2-Methyl-1- propanol	78-83-1	4	alkoholisch, muffig, feuchte Bauprodukte	[55; 63; 67; 70]	1	0,033 – 0,034
68	Propansäure	79-09-4	4	stechend, Essig, ranzig	[59; 63; 71; 81]	1	0,018 – 1,0
69	Skatol	83-34-1	4	Eber, fäkal	[58; 70; 71; 81]	1	0,000030 – 0,000031
70	1-Octen-3-ol	3391-86-4	3	Pilz	[61; 72; 79]	1	0,001 – 0,01
71	Dec-2-enal	3913-71-1	2	fettig, Kartonage	[59; 65]	1	-
72	Isopren	78-79-5	3	beißend, petroleumartig	[61; 64; 77]	1	0,13 – 0,14
73	Guajacol	90-05-1	3	Rauch	[57; 77; 78]	1	0,0015
74	2-Diethyl- ethanolamin	100-37-8	2	fischig	[62; 70]	1	-

Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit Substanznennung in der Literaturrecherche	Charaktere	Literatur	Häufigkeit 1. Befragung mit 10 Feedbacks [12]	Geruchsschwelle in mg/m ³ (Bereiche)
75	Butylamin	109-73-9	2	fischig	[63; 70]	1	0,51 – 0,52
76	2-Octenal	2363-89-5	2	fettig, grün, würzig, "feuchte Wände"	[19; 62]	1	-
77	trans,trans-2,4- Nonadienal	5910-87-2	2	fettig	[62; 78]	1	0,0002
78	(Z)-2-Nonenal	60784-31-8	2	fettig, grün	[61; 78]	1	0,000022 – 0,000039
79	DL-Limonen	7705-14-8	2	Zitrus, frisch	[16; 61]	1	-
80	1-Butoxy-2- propanol	5131-66-8	-	-	-	1	0,87 – 0,880
81	3-Methylhexan	589-34-4	-	Benzin	-	1	3,4 – 3,5
82	2,2,4,6,6-Penta- methylheptan	13475-82-6	-	-	-	1	-
83	Dodecansäure	143-07-7	-	kokosartiger Geruch	-	1	0,004 – 0,005
84	Adipinsäure- dimethylester	627-93-0	-	süß	-	1	-
85	Glutarsäure- dimethylester	1119-40-0	-	süß	-	1	-
86	2-Butanonoxim	96-29-7	-	aromatisch	-	1	-
87	2,3,4-Trimethyl- pentan	565-75-3	-	kohlenwasserstoffartiger Geruch	-	1	-

Nr.	Substanz	CAS-Nr.	Häufigkeit Substanznennung in der Literaturrecherche	Charaktere	Literatur	Häufigkeit 1. Befragung mit 10 Feedbacks [12]	Geruchsschwelle in mg/m ³ (Bereiche)
88	2,2,4-Trimethyl- pentan (Isooctane)	540-84-1	-	Benzin	-	1	3,1
89	Propylenglycol- monoethylether	1569-02-4	-	mild	-	1	-

A.3 Finale Substanzliste

Die finale Substanzliste für die Version 2 des Geruchsrads enthält 64 Einzelsubstanzen und ist im Zusammenhang mit der Plausibilitätsprüfung insbesondere von Geruchsschwellendaten in Anhang C zusammengestellt.

A.4 Abschließende Substanzliste

Im Zuge der Validierung und finalen Überarbeitung des Geruchsrads (Kapitel 3.3.4) wurden der Liste zwei weitere Substanzen hinzugefügt, die in bereits vorhandene Geruchsnoten der Ebene 3 zugeordnet wurden, oder für die neue Geruchsnoten ergänzt wurden.

Tabelle 47: Finale Substanzliste: Substanzen vollständig hinterlegt im Geruchsrads.

Abschließende Zusammenstellung der im Geruchsrads hinterlegten Einzelsubstanzen.

Ifn. Nr.	Relevanz (1-3)	Substanzen CAS-Nr.	Geruchsnote	Geruchsschwelle in mg/m ³
1	1	(+)-alpha-Pinen 7785-70-8	Nadelholz, harzig	0,0053 [85]
2	2	(E)-2-Nonenal / (E)-2-Decenal 18829-56-6	feuchte Kartonage	0,00009[14]
3	3	1,2,3-Trimethylbenzol 526-73-8	Gummi	/
4	1	1-Butanol 71-36-3	stechend, scharf, beißend, süß	0,078 – 1,4 [22; 86]; 0,12 [2]
5	2	1-Butoxy-2-propanol 5131-66-8	fruchtig	0,87 [21]
6	1	1-Chlornaphthalin 90-13-1	muffig, Mottenkugel, "alt", Altbau	0,0027
7	2	1-Methylnaphthalin 90-12-0	Mottenkugel, "alt", Altbau, modrig	0,0019 [87]
8		1,4-Dimethylnaphthalin 571-58-4	muffig, modrig	0,0042 [87]
9	2	2,3,4,5,6-Pentachloranisol 1825-21-4	erdig, schimmelig	0,0016 [88] – 0,00219 [42]
10	2	2,3,4,6-Tetrachloranisol 938-22-7	erdig, schimmelig	0,00001 [42]
11	2	2,3,4-Trichloranisol 54135-80-7	erdig, schimmelig	0,03038 [42]
12	2	2,3,6-Trichloranisol 50375-10-5	erdig schimmelig	0,00003 [42] – 0,0016 [88]
13	2	2,4,6-Trichloranisol 87-40-1	erdig, schimmelig	0,0016 [88]; 0,000005 [42] – 0,000080 [87]

Ifn. Nr.	Relevanz (1-3)	Substanzen CAS-Nr.	Geruchsnote	Geruchsschwelle in mg/m ³
14	2	2-Butanon 78-93-3	süß	0,21 [27] – 1,3 [21]; 2,65
15		2-Butanonoxim 96-29-7	Lack	0,27 [87]
16	1	2-Butoxyethanol 111-76-2	ranzig, süß	0,21 [21]
17	1	2-Ethylhexanol 104-76-7	mentholig, frisch, Gummi, PVC	0,127 [87]
18	2	2-Methyl-1-propanol 78-83-1	feuchte mineral- haltige Bauprodukte	0,033 [21]
19	2	2-Methylnaphthalin 91-57-6	modrig, muffig, Mottenkugel, "alt", Altbau	0,0016[87] – 0,004 [42]
20	2	2-Phenoxyethanol 122-99-6	Gummi, stechend, scharf, beißend	4,2 [87]
21	3	2-Propanol (Isopropanol) 67-63-0	Desinfektion / medizinisch	65 [21]; 42,31
22	1	Acetaldehyd 75-07-0	blumig, floral	0,0027 [21]
23		Aceton 67-64-1	Nagellack	26,69 [87]
24	3	Acetophenon 98-86-2	süß	0,0012 [42] – 0,0029 [87]
25	3	Acrolein (Acrylaldehyd) 107-02-8	süß, verbrannt	0,0084 [21]
26	1	alpha-Pinen (Dimer) 80-56-8	Nadelholz, harzig	0,1 [21]
27	1	Benzaldehyd 100-52-7	Mandel, Marzipan	0,085 [14]; 0,67
28	2	Benzothiazol 95-16-9	Gummi	0,0034 [87]
29	1	beta-Pinen 127-91-3	Nadelholz, harzig	0,187 [21]
30	1	Butansäure 107-92-6	milchig	0,00035 – 0,00094 [10; 21; 89; 90]
31	1	Butyraldehyd (Butanal) 123-72-8	stechend	0,0013 – 0,1 [91; 92]
32	1	Capronsäure 142-62-1	ziegig, schweißig, käsigt, sauer	0,0047 – 0,01 [10; 89; 90]; 0,0029 [21]

Ifn. Nr.	Relevanz (1-3)	Substanzen CAS-Nr.	Geruchsnote	Geruchsschwelle in mg/m³
33	1	Decanal 112-31-2	Zitrus, grasig, krautig	0,0026 [14; 21]
34	2	delta-3-Caren 13466-78-9	süß	9,3 [28]
35	1	DL-Limonen 7705-14-8	Zitrus	/
36	1	Essigsäure 64-19-7	Essig	0,013 [10] – 0,15 [93; 94]; 0,021 [87]
37	1	Ethylacetat 141-78-6	Nagellack	4,3-4,7 [22]; 3,1 [21]; 0,88 [9]; 4,13
38	2	Ethylbenzol 100-41-4	Benzin	0,026 [11] – 0,73 [21]
39	1	Formaldehyd 50-00-0	Desinfektion, Gurke	0,14[23] – 0,63 [21]
40	1	Geosmin 19700-21-1	erdig, schimmelig	0,000049 [21] – 0,00021[24]; 0,0076 [12]
41	1	Heptanal 111-71-7	Zitrus	0,00085 [21] – 0,0009 [14]; 0,26 [92]
42	1	Heptansäure 111-14-8	ranzig	0,022 [42]
43	1	Hexanal (Capronal-dehyd) 66-25-1	ranzig, grasig, krautig	0,0014 – 0,23 [91; 92]; 0,0031 [87]
44	1	Limonen 138-86-3	Zitrus	0,21 [21]
45	1	m/p-Xylol 1330-20-7	süß	0,18 – 0,26 [21]
46	1	m-Kresol 108-39-4	Pferdestall, Kork	0,00044 [21]; 0,00028 [87]
47	1	Naphthalin 91-20-3	muffig, Mottenkugel, „alt“, Altbau, Teer	0,45 [42]; 0,0023 ± 0,0008 [12]; 0,001 [87]
48	1	n-Butylacetat 123-86-4	Farbe, Kleber, Lack, Banane	0,010 [7] – 0,077 [21]
49	1	Nonanal 124-19-6	Zitrus, grasig, krautig	0,0027 [87] – 0,0031 [91]
50	1	Octanal 124-13-0	fettig, Zitrus	0,000052 [21] – 0,00088 [91]; ca. 50% der Fälle >0.005 [12]; 0,17 [92]

Ifn. Nr.	Relevanz (1-3)	Substanzen CAS-Nr.	Geruchsnote	Geruchsschwelle in mg/m ³
51	2	o-Xylol 95-47-6	süß	1,6 [21]
52	1	Phenol 108-95-2	Teer, süß	0,021 [21]
53	1	p-Kresol 106-44-5	Pferdestall	0,00024 [21] – 0,00036 [87]
54	1	Propionaldehyd (Propanal) 123-38-6	stechend	0,0024 [21] – 0,0048 [91]
55	1	R-Limonen 5989-27-5	Zitrus	0,045 [8]
56	1	Styrol 100-42-5	stechend, scharf, beißend, süß Kunststoff, Plastik	0,15 [21] – 26,4 [95]
57	1	Toluol 108-88-3	süß, stechend, scharf, beißend	0,3 [11] – 1,3 [21]
58		Trichloromonofluoromethan 75-69-4	sonstige Reinigungsmittel	
59	2	Trimethylamin 75-50-3	fischig	0,00026 – 2,1 [12]; 0,000077 [21] – 0,63 [96]; 0,000041 – 0,0011 [97]
60	1	Valeraldehyd (Pentanal) 110-62-3	fruchtig, muffig	0,0015 [21] – 0,85 [92]
61		3-methyl-Butanal 590-86-3	rauchig, röstig	0,00035 – 0,0016 [42]
62		2-methyl-Propanal 78-84-2	rauchig, röstig	0,001 [21]
63		2-Ethylhexylacetat 103-09-3	rauchig, röstig	0,05 [98]
64		1-Pentanol 71-41-0	Kunststoff, Plastik	0,367 [21]
65*		Caprolactam 105-60-2	chlorig	0,3992 [87]
66*		4-Phenylcyclohexen 4994-16-5	Teppich, Textil	0,002 [99]

* Substanzen, die in der finalen Version des Geruchsrads aufgrund von Feedback und Analysenergebnissen ergänzt wurden.

B Methodisches Vorgehen zur Bestimmung von Geruchsparemtern

Im Rahmen von Validierungsmessungen (vgl. Anhang D) werden verschiedene Geruchsparemter ausgewählter Einzelsubstanzen (vgl. Kapitel 3.2.1) bestimmt. Diese Parameter werden mit Substanz-Luft-Gemischen definierter, mittels GC-MS überprüfter, Konzentration ermittelt.

Die Bestimmung der Geruchsparemter enthält somit folgende Bestandteile:

- ▶ Herstellung Substanz-Luft-Gemische
- ▶ analytische Bestimmung der Konzentrationen hergestellter Substanz-Luft-Gemische
- ▶ die Geruchsstoffkonzentration eines definierten Substanz-Luft-Gemisches nach EN 13725 und daraus abgeleitet die Geruchsschwelle des betreffenden Stoffes
- ▶ Intensitätskennlinie nach VDI 3882 Blatt 1 mit zugehörigen Weber-Fechner Koeffizienten
- ▶ Hedonik durch Erstellung des Polaritätenprofils nach VDI3940 Blatt 4
- ▶ Geruchscharakter

Normative Grundlagen und das allgemeine Vorgehen zur Ermittlung genannter Parameter werden in den folgenden Kapiteln erläutert.

B.1 Herstellung Substanz-Luft-Gemische

Die ausgewählten Substanzen wurden für die geruchliche Bewertung zunächst mithilfe eines Liquid to Gas Vaporisers (LiGaVa) in die Gasphase überführt (Abbildung 63). Das LiGaVa wird dabei von gereinigter, geruchsneutraler Druckluft (Aufbereitung über Silikagel, Aktivkohle und Filterwatte) durchströmt und auf eine Temperatur oberhalb des Siedepunkts einer Substanz temperiert.

Abbildung 63: Liquid to Gas Vaporiser (LiGaVa).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Die Injektionen einer Einzelsubstanz wurden mit einer 10 µL Spritze (ILS-Spritze 10µl H FN/0,72/c/51) vorgenommen. Um sicherzustellen, dass keine Substanzreste im LiGaVa verbleiben, wurde nach jeder Aufbereitung ein Geruchstest direkt am LiGaVa vorgenommen. Um Wandeffekte in den verwendeten Nalophan®-Beuteln zu minimieren wurde je Substanz nach Möglichkeit ein Beutel verwendet, der zunächst für Vorversuche und anschließend für die letztendliche Bewertung mit Geruchsprüfer:innen eingesetzt wurde.

Um die Sicherheit der Geruchsprüfer:innen zu gewährleisten, werden Substanzen so aufbereitet, dass in der geringsten am Olfaktometer einstellbaren Verdünnungsstufe, wenn vorhanden, mindestens die Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) nach TRGS 900 eingehalten werden. Für Stoffe, für die keine AGWs vorliegen, werden Beurteilungswerte aus der GESTIS International Limit Values Datenbank einbezogen, die Arbeitsplatzgrenzwerte aus unterschiedlichen Ländern zusammenfasst.

Die Berechnung der Konzentrationen wurde unter Berücksichtigung der Substanzreinheit vorgenommen: Zunächst wurde die injizierte Substanzmasse anhand des eingesetzten Volumens, der Substanzdichte und der Substanzreinheit entsprechend Formel (4) berechnet.

$$m_S = V_S \cdot \rho_S \cdot \frac{R_S}{100} \quad (4)$$

Anschließend wurde über die injizierte Substanzmasse und das Beutelvolumen die rechnerische Substanzkonzentration im Mutterbeutel entsprechend nach Formel (5) ermittelt.

$$c_S = \frac{m_S \cdot 10^3}{V_B} \quad (5)$$

mit:

m_S	injizierte Substanzmasse	in g
V_S	injiziertes Substanzvolumen	in mL
ρ_S	Dichte	in g/mL

R_S	Reinheit	in %
c_S	Konzentration der Substanz im Beutel	in mg/m ³
V_B	Beutelvolumen	in m ³

Für Stoffe, die vom Hersteller mit „analytical standard“ angegeben sind, wird eine Reinheit von 100 % angenommen.

B.2 Analytische Feststellung und Überprüfung der Konzentrationen hergestellter Substanz-Luft-Gemische

Die Probenahme für die GC-MS-Messungen wurde durch Sorption der Proben auf Tenax®-Tubes mithilfe von GilAir-Probenahmepumpen vorgenommen. Der Probenahmestrom beträgt standardmäßig 50 mL/min und kann bei Bedarf angepasst werden. Um die Substanzkonzentrationen zu quantifizieren, wurden für jede der Substanzen eine substanzspezifische Kalibrierkurve erstellt. Dafür wurden dieselben Standards verwendet, die auch für die Substanzaufbereitung zur Olfaktometrie eingesetzt wurden. Grundsätzlich wird eine 6-Punkt-Kalibrierung in Triplikaten durchgeführt. Durch Ausreißerbereinigung kann sich diese Zahl reduzieren.

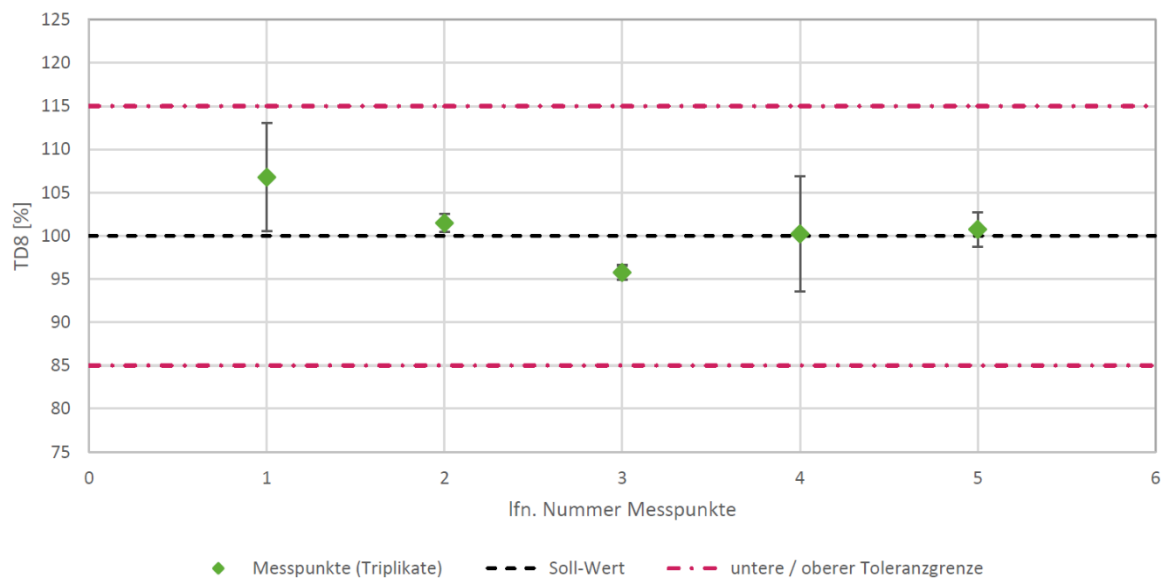
Die Probenahme auf Tenax®-Tubes wird, wenn möglich, sowohl aus dem Mutterbeutel als auch an einer Nasenmaske eines Olfaktometers bei einer definierten Verdünnung vorgenommen. Dieses Vorgehen erlaubt es sowohl Wandeffekte der Nalophan®-Beutel, als auch mögliche Wandeffekte im Olfaktometer zu bestimmen um ggf. diese bei der Ermittlung der Geruchsschwelle zu berücksichtigen.

Nach Anschluss des Mutterbeutels an das verwendete Olfaktometer wurde für mindestens 10 Minuten die definierte Verdünnung dargeboten. Diese Verdünnungen sollten möglichst im Bereich der Geruchsschwelle liegen. Bei Bedarf kann sie geringer gewählt werden, um eine Probenahmezeit von 10 Minuten nicht deutlich zu überschreiten.

Die Nachweisgrenzen hängen von der chemischen Beschaffenheit der Verbindung sowie von der verwendeten Probenahme- und instrumentellen Methode ab. Chemische Identifikationen erfolgen durch die Software GC-Analyzer (ggf. mit zusätzlicher manueller Überprüfung), die alle detektierten Fragment-Ionen vergleicht.

Die relative Standardabweichung der mit dieser Methode ermittelten Werte liegt unter 15 %. Die Präzision zwischen einzelnen beispielhaften Messungen wird und wurde anhand der Referenzsubstanz TD8 (Toluol, 8-fach deuteriert) überprüft und beträgt hier beispielhaft 4 %. Eine Darstellung der Methodenpräzision ist in Abbildung 6 enthalten. Bezüglich der Referenzsubstanz TD8 kann das verwendete TD-GC-MS-System Substanzen von 0,01 bis 1 ng nachweisen. Abhängig von der verwendeten Probenahmemethode kann dieser Wert 0,1 bis 0,5 µg/m³ entsprechen.

Abbildung 64: Nachweis der Methodenpräzision mittels Referenzsubstanz TD8 (Angaben prozentual zum Sollwert).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Für jede im Zuge der Validierungsmessungen untersuchten Substanz wird zusätzlich, in Anlehnung an das vorangegangene Projekt des UBA mit dem Titel „Bestimmung von Geruchswahrnehmungsschwellen für Innenraumschadstoffe“ [87], eine Unsicherheits- und Plausibilitätsbetrachtung der rechnerischen und analytischen Konzentrationen zur Geruchsschwellenbestimmung durchgeführt.

Zur Überprüfung der Plausibilität der rechnerischen Substanzkonzentrationen im Mutterbeutel werden die Übereinstimmungen zwischen rechnerischen und analytischen Konzentrationsdaten überprüft. Für diese Prüfung werden Unsicherheitsbudgets ermittelt, die der Abschätzung einer allgemeinen Aufbereitungs- und Messunsicherheit entsprechen.

Für die rechnerischen Substanzkonzentrationen werden empirisch ermittelte Unsicherheitsbudgets, mit n-Butanol als Referenzsubstanz, zugrunde gelegt. Hierfür wurde n-Butanol in 9-facher Aufbereitung in LiGaVa mittels FID vermessen und daraus die Unsicherheit der Aufbereitung mit 2 % ermittelt. Unter Berücksichtigung der Unsicherheit der FID-Analyse von 3,8 % entsprechend der Herstellerangaben, ergibt sich durch quadratische Fehleraddition eine Gesamtunsicherheit von 4,3 %. Um weitere Einflussparameter an verschiedenen Prüftagen und den Einfluss unterschiedlicher Substanzeigenschaften (beispielsweise Dampfdruck u. a.) mit zu berücksichtigen, wird im Zuge der weiteren Betrachtungen ein Sicherheitsfaktor von 2 einbezogen und damit eine Unsicherheit von 10 % für die Substanzaufbereitung im LiGaVa angenommen. Aus rechnerisch ermittelter Konzentration und 10 % Unsicherheitsbudget ergibt sich ein theoretischer Konzentrationsbereich im Mutterbeutel, der analytisch für jede Messung überprüft wird.

Die Unsicherheit der analytischen Substanzkonzentration aus der GC-MS setzt sich aus der Unsicherheit der Probenahmepumpe von 5 %, der tolerierten Unsicherheit der GC-MS-Analyse von 15 % und weiterhin aus der normativ zulässigen 20 % Unsicherheit aus der Darbietung der Probe am Olfaktometer [2] zusammen. Durch quadratische Addition ergibt sich daraus für die

analytische Konzentration mittels GC-MS ein Gesamtunsicherheitsbudget von 25,5 %, das den analytischen Konzentrationsbereich im Mutterbeutel beschreibt.

Quantitative Bestimmung der Substanzkonzentrationen mittels GC-MS

- ▶ Die Verwendung der Gaschromatographie (GC), verbunden mit einem massenspektrometrischen Detektor (MS; hier: ISQ 7000, Thermo Fisher Scientific), ist ein gängiges Verfahren zur Analyse flüchtiger organischer Verbindungen (VOC – volatile organic compounds). Die gasförmigen Proben werden zunächst auf Tenax®-Tubes adsorbiert. Mittels eines Thermo Desorbers (TDS; hier: Unity-xr Markes International, UK) werden über ein definiertes Temperatur-Zeit Programm die flüchtigen Verbindungen desorbiert und in einer thermoelektrischen Kühlfalle fokussiert. Die Freigabe aller flüchtigen Bestandteile erfolgt mittels eines auf die Probe optimierten Temperaturprogramms (300-350°C). Über eine Transferlinie werden die so desorbierten flüchtigen Bestandteile der GC (hier: TRACE 1310, Thermo Fisher Scientific) zugeführt für die anschließende chromatographische Trennung. Am Ende der GC-Säule gelangen die Verbindungen nach der Trennung mit unterschiedlichen (Retentions-)Zeiten (ausgedrückt in Minuten) in die MS, wo sie fragmentiert und anschließend durch die NIST 2017-Spektrendatenbank auf der Grundlage der Fragmentierungsmuster jedes Moleküls identifiziert werden.
- ▶ Merkmale der Identifizierung sind zum einen die Retentionszeit und zum anderen die Fragment-Ionen. Die Retentionszeit ist abhängig von der Flüchtigkeit und der Polarität der Substanz. Erst dann können sie fragmentiert und die Fragmente dann mittels MS detektiert werden. Je vollständiger bzw. zerstörungsfreier ein Analyt in die Gasphase überführt wird, um so nachweisstärker ist das Verfahren.
- ▶ Durch eine substanzspezifische Kalibrierung, bei der der Standard direkt auf das Tube injiziert wird, kann mit dieser Technik eine qualitativ sehr gute Quantifizierung von flüchtigen Verbindungen erreicht werden.

B.3 Allgemeines Vorgehen zur Geruchsbewertung

Für die Darbietung der Substanzproben werden das TO8-Evo-Olfaktometer mit der Seriennummer 9999 oder das TO9-Evo-Olfaktometer mit der Seriennummer 8888 der Olfasense GmbH verwendet.

Für die Bestimmung der Parameter Geruchsstoffkonzentration/Geruchsschwelle und der hedonischen Geruchswirkung werden die Bewertungen von jeweils 12 Prüfer:innen, aufgeteilt auf 3 Teams à 4 Prüfer:innen, ermittelt. Die Geruchsstoffkonzentration wird anhand von jeweils 10 Schwellenschätzungen je Prüfer:in bestimmt (vgl. Anhang B.4). Die Hedonik wird anhand von Polaritätenprofilen erfasst, die von den Prüfer:innen in Kenntnis des zu bewertenden Geruches (bei einer deutlichen Intensität von etwa $I=3$) bearbeitet werden. Vor dem Beginn einer Prüfung wurden von allen Prüfer:innen Polaritätenprofile für die Konzepte „Duft“ und „Gestank“ ausgefüllt. Diese beiden Polaritätenprofile wurden von allen Prüfer:innen, die eindeutig über ihre Kürzel (bestehend aus einem dreistelligen Zifferncode) zu identifizieren sind, nur einmal ausgefüllt. Alle Prüfer:innen müssen diese beiden Polaritätenprofile entsprechend der Vorgaben der VDA 3940 Blatt 4 ausfüllen (vgl. Anhang B.7), um sich für diese Art der Bewertung zu qualifizieren.

Um die Bestimmung aller Parameter möglichst effektiv und in Einklang mit den zugrunde gelegten Normen durchzuführen, wurden die Messungen grundsätzlich wie folgt durchgeführt:

1. Bewertung der n-Butanol-Geruchsschwelle (3x Schwellenschätzung)
2. Bewertung der Geruchsschwellenwerte (3x Schwellenschätzung)
3. *Pause (5 min)*
4. Bewertung der Geruchsintensitäten (1x)
5. Pause (15 min)
6. Bewertung der Geruchsschwellenwerte (4x Schwellenschätzung)
7. *Pause (5 min)*
8. Bewertung der Geruchsintensität (1x)
9. *Pause (15 min) + Bewertung des Geruchscharakters*
10. Bewertung der Geruchsschwellenwerte (3x Schwellenschätzung)
11. *Pause (5min)*
12. Bewertung der Geruchsintensitäten (1x)
13. Bewertung der substanzspezifischen Hedonik mit Polaritätenprofilen
14. Ende der Bewertung

Unter Berücksichtigung der olfaktorischen Eigenschaften einzelner Substanzen ist eine Abweichung vom vorgenannten Vorgehen möglich und wird in den entsprechenden Kapiteln erläutert.

Zur Überprüfung der den Prüfer:innen tatsächlich dargebotenen Substanzkonzentrationen wurden, wenn möglich, der Mutterbeutel oder eine Verdünnung dieses Mutterbeutels mithilfe von Tenax®-Tubes beprobt. Zusätzlich wurde der jeweilige Probenbeutel an das Olfaktometer angeschlossen und eine Probenahme mittels Tenax®-Tube bei einer definierten Verdünnung direkt am Nasentrichter durchgeführt.

B.4 Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration eines Geruchsstoffes in Anlehnung an DIN EN 13725

Die Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration von gasförmigen Geruchsproben wird in der DIN EN 13725:2003 Luftqualität – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mittels dynamischer Olfaktometrie [2] beschrieben, neuerlich auch in der Version von 2022 [100]. Die zugrundeliegende Referenzsubstanz ist hier immer n-Butanol und wird für die Prüfer:innen-Überprüfung herangezogen.

Bei dieser Methode wird eine Geruchssprobe definiert mit neutraler, geruchsfreier Luft verdünnt und einem Panel von Prüfer:innen dargeboten. Ein Panel besteht mindestens aus 4 zugelassenen Geruchsprüfer:innen, welche auf ihre Geruchsempfindlichkeit gegenüber n-Butanol am Olfaktometer gemäß DIN EN 13725 untersucht und selektiert werden. Vor jeder Messung werden die Eignungskriterien der Prüfer:innen überprüft.

Ein Olfaktometer ist eine Verdünnungseinheit zur Darbietung der Geruchsproben und ist computergesteuert. In Abbildung 65 ist beispielhaft ein TO8-Evo-Olfaktometer mit einem

Prüfer:innen-Panel dargestellt. Dieses TO8-Evo-Olfaktometer deckt mit insgesamt 15 Verdünnungsstufen einen Verdünnungsbereich von etwa 1:4 bis 1:65.000 ab.

Abbildung 65: Geruchsbewertung an einem TO8-Evo-Olfaktometer.



Geruchsbewertung mit 4 Prüfer:innen an einem TO8-Evo-Olfaktometer

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Als Referenzstoff für diese olfaktometrischen Messungen wird n-Butanol (CAS-Nr. 71-36-3) verwendet. Entsprechend der DIN EN 13725 wird angenommen, dass sich die Geruchsempfindlichkeit auf den Referenzstoff n-Butanol auch auf andere Geruchsstoffe bzw. -proben übertragen lässt.

Die Geruchs- oder n-Butanol-Probe wird den Prüfer:innen in sinkender Verdünnung, d. h. mit zunehmender Konzentration, im Wechsel mit neutraler Referenzluft dargeboten. Die Verdünnung der Probenluft reduziert sich in jedem Schritt etwa um den Faktor 2 zur jeweils vorherigen Stufe. Die Prüfer:innen werden während des gesamten Prozesses gefragt, ob sie einen Geruch wahrnehmen können. Sobald sie etwas riechen ist dies mittels Touchdisplay zu bestätigen. Außerdem werden in zufälliger Reihenfolge statt verdünnter Probenluft geruchsneutrale Nulllüfte eingestreut.

Das Ergebnis eines solchen Durchgangs ist die individuelle Schwellenschätzung für alle Prüfer:innen und wird mit Z_{ITE} abgekürzt. Der Z_{ITE} -Wert ist dabei das Produkt aus der letzten Verdünnung, bei der ein Prüfer/eine Prüferin noch keine Wahrnehmung der zu untersuchenden Geruchssprobe hatte und der ersten Verdünnung, ab der ein Prüfer/eine Prüferin konsequent eine Geruchswahrnehmung bestätigt. Dieser Z_{ITE} -Wert entspricht damit statistisch der Verdünnung zwischen gerade wahrgenommener Probe und der gerade nicht wahrgenommenen Probe.

$$Z_{ITE} = \sqrt{(D_n \cdot D_j)} \quad (6) \text{ mit:}$$

- Z_{ITE} einzelne Schwellenschätzung eines Prüfers/einer Prüferin, dargestellt als Verdünnungsfaktor
- D_n letzte Verdünnung, bei der ein Prüfer/eine Prüferin noch keine Geruchswahrnehmung hatte
- D_j erste Verdünnung, ab der ein Prüfer/eine Prüferin konsequent eine Geruchswahrnehmung bestätigt

Um zum Ergebnis einer Messung zu gelangen wird zunächst von allen Prüfer:innen und allen Durchgängen (jeder Durchgang enthält je eine Schwellenschätzung jedes Prüfers/jeder Prüferin) der geometrische Mittelwert der einzelnen Z_{ITE} -Werte berechnet.

$$\bar{Z}_{ITE} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n Z_{ITE,i}} \quad (7)$$

mit:

- $\bar{Z}_{ITE}$ Geruchsschwelle des Teams
- n Anzahl ermittelter individueller Schwellenschätzungen

Innerhalb einer Messung darf eine gewisse Streuung nicht überschritten werden. Diese wird als ΔZ in jedem Prüfprotokoll angegeben. Entsprechend DIN EN 13725 muss innerhalb einer Messung jederzeit $|\Delta Z| \leq 5$ eingehalten werden. Werte, die mehr als Faktor $\Delta Z > 5$ vom Mittelwert streuen, müssen eliminiert werden. Damit verbleiben solche Z_{ITE} -Werte bzw. Prüfer:innen-Antworten in einer Messung, die nach nachträglicher Auslese für gültig befunden werden. Dieser geometrische Mittelwert wird $\bar{Z}_{ITE,pan}$ genannt.

Die Einheit der dynamischen Olfaktometrie ist GE_E/m^3 . Per Definition ist $1 GE_E/m^3$ identisch mit der n-Butanol-Konzentration von $123 \mu g/m^3$ bzw. mit dem Geruch, der von $123 \mu g$ n-Butanol in einem Kubikmeter Luft verursacht wird. Daraus resultiert, dass die Geruchsstoffkonzentration einer untersuchten Probe als geometrisches Mittel aller Schwellenschätzungen (Z_{ITE} -Werte) multipliziert mit $1 GE_E/m^3$ dargestellt wird [2; 100].

Die eigentliche Geruchsstoffkonzentration c_{OD} wird nun wie folgt berechnet:

$$c_{OD} = \bar{Z}_{ITE,pan} \cdot 1 \left(\frac{GE_E}{m^3} \right) \quad (8)$$

mit:

- c_{OD} Geruchsstoffkonzentration einer Geruchssprobe
- $\bar{Z}_{ITE,pan}$ geometrisches Mittel von Z_{ITE} aller nach nachträglicher Auslese für gültig befundenen Prüfer:innen-Antworten in einer Messung

Der panelübergreifende Verdünnungsfaktor einer untersuchten Probe ist damit das geometrische Mittel aller Z_{ITE} -Werte. Normativ sind mindestens 8 Z_{ITE} -Werte notwendig.

Die Norm fordert weiterhin die Einhaltung statistischer Anforderungen. Hierzu zählen die Genauigkeit (A_{od}) und Präzision (r) unter Wiederholbedingungen des gesamten Teams. Die Genauigkeit umfasst sowohl die Richtigkeit (dargestellt als systematische Abweichungskomponente

des Messverfahrens, Bias), als auch die Präzision (zufällige Messabweichung, Zufallsfehler). Die Prüfvariable für die Genauigkeit ist A_{od} . Dabei muss $A_{od} \leq 0,217$ sein. Neben dem Gesamtkriterium für Genauigkeit muss die Präzision, dargestellt als Wiederholpräzision, zusätzlich die Bedingung $r \leq 0,477$ erfüllen.

Weiterhin stellt die DIN EN 13725 als Anforderungen für die Bewertung von n-Butanol, dass die individuelle Empfindlichkeit ($10^{\bar{y}_{ITE}}$) der Prüfer:innen in einem Bereich zwischen 20 – 80 ppb und die individuelle maximale Standardabweichung ($10^{s_{ITE}}$) unterhalb von 2,3 liegen muss.

Zur Berechnung werden mindestens 10 einzelne Schwellenschätzung von n-Butanol benötigt. Zunächst werden aus den Schwellenschätzungen die einzelnen Geruchsschwellen errechnet. Aus den dann logarithmierten Werten (y_{ITE}) wird das arithmetische Mittel $\bar{y}_{ITE}$ berechnet. Aus diesen Daten berechnet sich die individuelle maximale Standardabweichung wie folgt:

$$s_{ITE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{ITE,i} - \bar{y}_{ITE})^2}{n - 1}} \quad (9)$$

mit:

s_{ITE} individuelle maximale Standardabweichung logarithmisch

$y_{ITE,i}$ Wert des Prüfergebnisses i

$\bar{y}_{ITE}$ Mittelwert der einzelnen Schwellenschätzungen

Alle Anforderungen werden regelmäßig überprüft. Jeder einzelne Prüfer bzw. jede einzelne Prüferin muss sowohl im Mittelwert innerhalb eines vorgegebenen Empfindlichkeitsfensters liegen als auch eine maximale Streuung nicht überschreiten. Erfüllt ein Prüfer/eine Prüferin diese Voraussetzungen nicht mehr, wird er oder sie vom Panel ausgeschlossen.

Die Qualitätssicherung dieser Messmethode wird gemäß ISO 17025 sichergestellt. Die Olfasense Labore sind diesbezüglich akkreditiert.

B.5 Bestimmung der Geruchsschwellenkonzentration

Die Geruchsschwelle einer Einzelsubstanz wird bevorzugt aus der am Olfaktometer ermittelten Geruchsstoffkonzentration (vgl. Anhand B.4) und der analytisch ermittelten Konzentration ermittelt. Für die analytisch ermittelten Konzentrationen gibt es dabei zumindest zwei mögliche Varianten. Zum einen kann die Konzentration direkt im Mutterbeutel bestimmt werden, während sie zum anderen bei einer definierten Konzentration im Trichter bestimmt werden kann. Im besten Fall werden beide Varianten analytisch untersucht.

B.6 Bestimmung der Geruchsintensität eines Geruchsstoffes und des Weber-Fechner Koeffizienten (kW) gemäß VDI3882 Blatt 1

Die Bestimmung der Geruchsintensität erfolgt entsprechend VDI 3882 Blatt 1 [3] nach dem Konstanzverfahren, bei dem die Reihenfolge der dargebotenen Intensitäten zufällig festgelegt wird. Jede Konzentration wird drei Mal im Wechsel mit neutraler Referenzluft dargeboten.

Die Bewertung jeder Konzentration bzw. Intensitätsstufe erfolgt anhand der Kategorienskalierung in Tabelle 48.

Tabelle 48: Kategorienskalisierung zur Beurteilung der Geruchsintensität nach VDI 3882 Blatt 1.

Geruch	Intensitätsstufe
extrem stark	6
sehr stark	5
stark	4
deutlich	3
schwach	2
sehr schwach	1
nicht wahrnehmbar	0

Diese Kategorienskala ist eine Ordinalskala, deren Klassen in einer definierten Rangreihe geordnet sind:

nicht wahrnehmbar < sehr schwach < schwach < deutlich < stark < sehr stark < extrem stark

Für die einzelnen Verdünnungsstufen werden die Häufigkeitsverteilungen der Prüfer:innenantworten für $I=0$ bis $I=6$ ermittelt und anschließend die Zahlen für die Überschreitung einzelner Intensitätsstufen für $I>0$ bis $I>5$ bestimmt. Für jede einzelne Intensitätsstufe werden diese Häufigkeitsverteilungen als prozentuale Intensitätsüberschreitungen über der logarithmierten Verdünnungszahl der dargebotenen Geruchsprobe dargestellt.

„Die Häufigkeit der Intensitätsschätzungen [wird] oberhalb der betrachteten Intensitätskategorie $I=I_s$ [...] über dem Logarithmus der Verdünnungszahlen aufgetragen. Aus den S-Kurven können für $I_s=0, 1, 2$ und 3 die Werte für Z_{16} , $Z_{50}=\hat{Z}$ und Z_{84} entnommen werden“ [3].

„Die Intensitätsübergänge $I=I_s+0,5$ [werden] über den Logarithmus der Verdünnungszahlen der 50-Perzentile $\hat{Z}$ der Intensitätsstufen $I_s=1$ bis 6 aufgetragen. Die Gerade bestätigt das Weber-Fechner Gesetz“ [3].

Die Steigung dieser Intensitätskennlinie entspricht somit dem Weber-Fechner-Koeffizienten k_w . Durch Ermittlung der Geruchsschwelle (vgl. Kapitel B.4 und B.5) und des Weber-Fechner-Koeffizienten, lässt sich das Weber-Fechner-Gesetz in der folgenden Form ableiten:

$$I = k_w \cdot \log\left(\frac{c_G}{\hat{c}_G}\right) = k_w \cdot \log\left(\frac{c_R}{c_{GS}}\right) \quad (10)$$

mit:

- I Intensität
- k_w Weber-Fechner-Koeffizient
- c_G Geruchsstoffkonzentration der Riechprobe, Vergleichsreiz
- $\hat{c}_G$ Geruchsschwelle, Bezugsreiz
- c_R Substanzkonzentration der Riechprobe

c_{GS} Substanzkonzentration an der Geruchsschwelle

B.7 Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung in Anlehnung an VDI 3940 Blatt 4

In der VDI 3940 Blatt 4 [4] wird die Ermittlung der hedonischen Geruchswirkung mithilfe sogenannter Polaritätenprofile beschrieben. Das Verfahren dient dazu „Anhaltspunkte für die Abschätzung der Belästigungswirkung“ [4] eines Geruches zu erhalten und seinen Charakter ggf. eindeutig als Duft oder Gestank zu klassifizieren.

Die Geruchsprüfer:innen erhalten zur Bewertung eines Geruches einen Fragebogen, auf dem 29 gegensätzliche Wortpaare abgebildet sind (z.B. „stark“ & „schwach“; „aktiv“ & „passiv“; „grob“ & „fein“ usw.). Ein beispielhafter Auszug aus der VDI 3940 Blatt 4 [4] findet sich in der folgenden Abbildung 66.

Abbildung 66: Auszug aus einem Polaritätenprofil nach VDI 3940 Blatt 4 [4].

1.	stark	3	2	1	0	1	2	3	schwach
2.	grob	3	2	1	0	1	2	3	fein
3.	niederdrückend	3	2	1	0	1	2	3	erhebend
4.	robust	3	2	1	0	1	2	3	zart

Quelle: VDI 3940 Blatt 4

Um zu überprüfen, ob Geruchsprüfer:innen fähig sind die Bewertung mittels Polaritätenprofilen durchzuführen, werden von jedem Prüfer:innen zunächst Polaritätenprofile für die allgemeinen Konzepte „Duft“ und „Gestank“ ausgefüllt. Geeignet sind demnach Prüfer:innen, die für das Konzept „Gestank“ die Adjektive „niederdrückend“, „abgestanden“, „missmutig“, „unharmonisch“, „hässlich“ und „unangenehm“ mit einem Wert zwischen 1 und 3 markiert haben. Für das Konzept „Duft“ müssen zumindest die Adjektive „erhebend“, „frisch“, „vergnügt“, „harmonisch“, „schön“ und „angenehm“ zwischen 1 und 3 markiert werden.

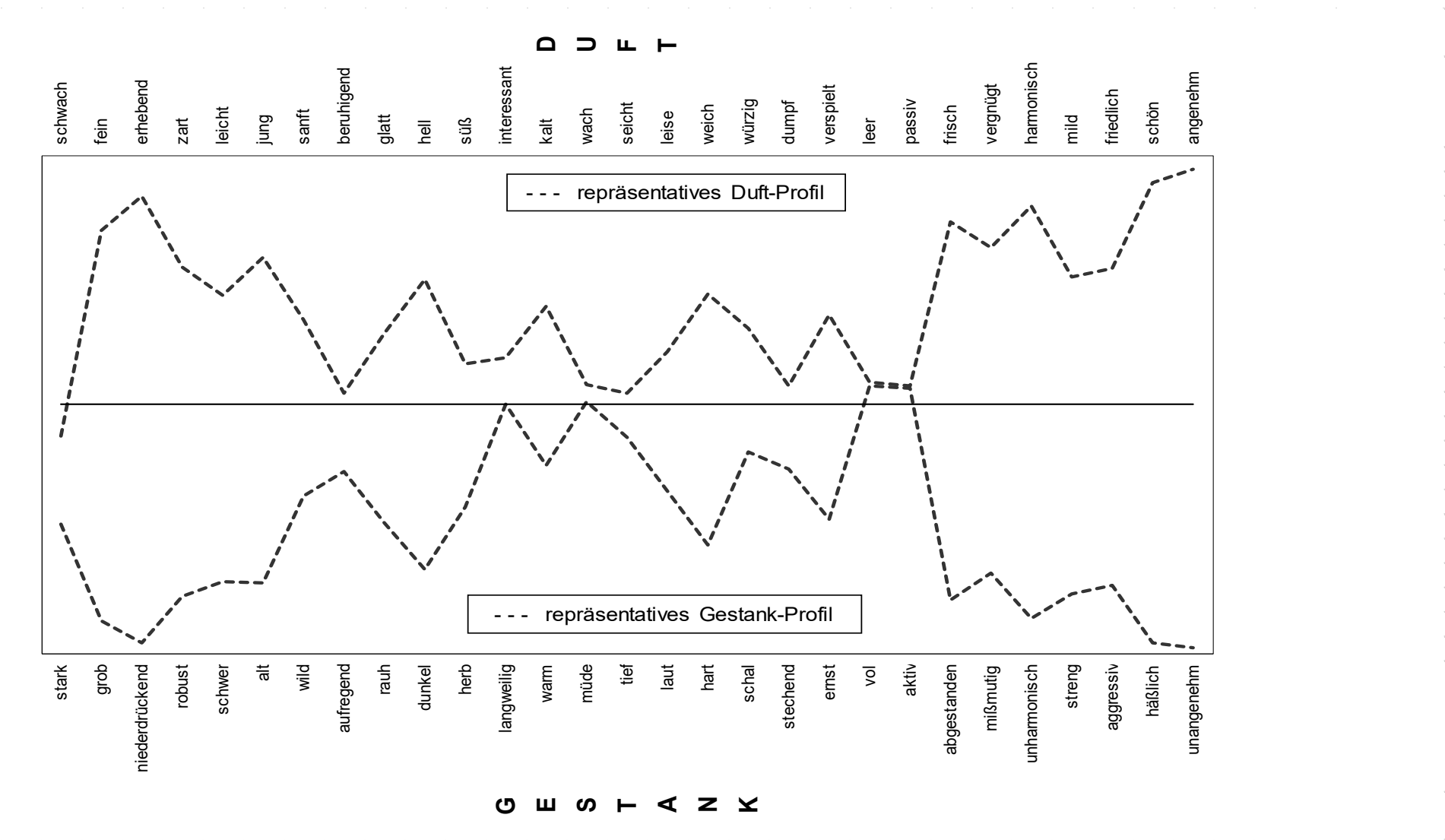
Die Bewertungen eingesetzter Prüfer:innen werden gemittelt, mit in der VDI 3940 Blatt 4 definierten Hedonik-Faktor-Scores multipliziert und anschließend in einem Diagramm aufgetragen.

Die repräsentativen Profile für Gestank und Duft sind in der folgenden Abbildung 67 dargestellt.

Aus den ermittelten Daten lassen sich entsprechend VDI 3940 Blatt 4 die Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die Konzepte Duft und Gestank ableiten.

Ein Wert von 0,00 bedeutet, dass keine Korrelation und somit keine Ähnlichkeit mit dem betrachteten Geruchskonzept (Gestank oder Duft) vorliegt. Ein Wert von -1,00 zeigt an, dass eine maximal negative Korrelation besteht, während ein Wert von +1,00 eine maximal positive Korrelation mit dem betrachteten Konzept widerspiegelt.

Abbildung 67: Repräsentative Polaritätenprofile für Duft und Gestank nach VDI 3940 Blatt 4 [4].



Quelle: VDI 3940 Blatt 4 – GIRL-Profil-Auswertungsschema

C Plausibilitätsprüfung

C.1 Kategorisierung von Literaturquellen

Tabelle 49: Details zur Ermittlung der Geruchs(schwellen)daten aus der Literaturrecherche (in Anlehnung an [1]) und Einstufung der Quellqualität.

NA: nicht angegeben; R: Bestätigung/Anerkennung (recognition); D = Detektion (detection); MP = minimal wahrnehmbar (minimum perceptible); I = Intensität (intensity); A = aufsteigend (ascending); D = absteigend (descending); r = zufällig (random); V = variabel (variable); U-D = auf-ab-Serie (up-down-series)

Quelle	Panel			Gerätetechnische Art der Darbietung					Methodische Art der Darbietung				Qualität der Quelle
	Größe	Auswahlkriterien	Kalibration	Verdünnungsmedium*	Verdünnungsgerät	Analytische Maßnahme	Durchflussmenge	Schwellenwert-Typ	Konz. Reihe	Versuche**	Forced Choice	Konzentrationsintervall***	A = sehr gut B = mäßig C = fragwürdig
Berglund (2012) [23]	31	Ja	Nein	Luft	Olfaktometer	NA	Statisch	D + Auge Irritation	A	Ja	NA	NA	B-C
Brosig (2020) [87]	12	Ja	Ja	Luft	Olfaktometer	teils	40 lpm	D	D	Ja	Nein	Ja	A (analytische Daten) B (rechnerische Daten)
Buettner (2001) [85]	10	Ja	Ja	Wasser	Flasche	NA	Statisch	D	NA	Ja	NA	NA	A-B
Cain (2007) [8]	10	Ja	NA	Luft	mehrstufiges Verdünnungssystem	Ja	40 lpm	D	Ja	Ja	Ja	Ja	A
Cain (2009) [7]	26-29	Ja	Nein	Stickstoff, Luft	mehrstufiges Verdünnungssystem	Ja	78 lpm, 10 lpm	D + I (Auge)	A	Ja	Ja	Ja	A
Cain (2010) [93]	17/70	Ja	Ja	Stickstoff	mehrstufiges Verdünnungssystem	Ja	1lpm	D + Augen Irritation	NA	NA	NA	NA	A-B
Cometto-Muñiz (1998) [28]	4	Ja	Ja	Mineral Öl	Quetschflasche	Ja	Statisch	D	A	Ja	Ja	Ja	C

Quelle	Panel			Gerätetechnische Art der Darbietung					Methodische Art der Darbietung				Qualität der Quelle
Cometto-Muñiz (2008) [9]	34-36	Ja	Ja	Luft	mehrstufiges Verdünnungssystem	Ja	40 lpm	D	A	Ja	Ja	Ja	A
Cometto-Muñiz (2009) [11]	36	Ja	Ja	Luft	mehrstufiges Verdünnungssystem	Ja	40 lpm	D	A	Ja	Ja	Ja	A
Cometto-Muñiz (2010) [10]	14	Ja	Ja	Luft	mehrstufiges Verdünnungssystem	Ja	40 lpm	D	A	Ja	Ja	Ja	A
Cometto-Muñiz (2010) [91]	16	Ja	Ja	Luft	mehrstufiges Verdünnungssystem	Ja	40lpm	D	A	Ja	Ja	Ja	A
Dalton (2007) [95]	15	Ja	Ja	Luft	mehrstufiges Verdünnungssystem	Ja	40 lpm	D	A & D	Nein	Ja	Ja	A
Díaz (2005) [88]	18	NA	NA	Wasser	Flasche	Ja (GC-MS-O)	NA	I	D	Ja	Nein	Ja	A-B
Greenman (2004) [97]	7	Ja	Ja	Verschiedene	Flasche	Nein	0,2 lpm	D	NA	Ja	NA	Ja	C
Laska (2010) [92]	20	Ja	Nein	Verschiedene	Quetschflasche	Nein	Statisch	D	A	Ja	Ja	Ja	C
Miyazawa (2009) [90]	12	Ja	NA	Wasser	GC-Olfactometry	Ja	30 lpm	D	A	Ja	Ja	Ja	B
Nagata (2003) [21]	6	Ja	Ja	Stickstoff	Tedlar-Beutel	Ja	Statisch	D	NA	NA	Ja	NA	A-B
Nimmermark (2011) [86]	4-16	Ja	Ja	NA	Olfaktometer	NA	NA	D + R	NA	Ja	Ja	Ja	B
Ömür-Özbek (2007) [24]	NA	NA	NA	Wasser	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	C
Parchem (2015) [98]	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	C

Quelle	Panel			Gerätetechnische Art der Darbietung					Methodische Art der Darbietung				Qualität der Quelle
Ueno (2009) [22]	6,12, 51	Ja	Ja	Luft	Olfaktometer	Ja	NA	D	D+A	NA	NA	Ja	A
Van Thriel (2006) [96]	144	Ja	Ja	Wasser oder Mineral Öl	Flasche	Ja	Statisch	D	A	Ja	Ja	Ja	B
van Gemert (2011) [42]	NA	NA	NA	Luft	NA	JA	NA	D+R	NA	NA	NA	NA	A-C
Wise (2007) [89]	20	Ja	Ja	Luft	Olfaktometer	Ja	30 lpm	R	A	Ja	Ja	Ja	A
Jensen (1996) [99]	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	B-C
Yang (2008) [14]	3	NA	NA	Hexane	GC-Olfaktometrie	Ja	2 ml/min	D	NA	NA	Nein	Ja	C
Ziemer (2000) [27]	10	NA	NA	Luft	Olfaktometer	Ja	NA	D	A	Ja	Nein	NA	A

* War das Verdünnungsmedium nicht explizit angegeben, wurde von Luft ausgegangen.

** Angabe, ob mehr als ein Versuch durchgeführt wurde.

*** Angabe der Schrittweite der Verdünnungen.

C.2 Plausibilitätsprüfung von Geruchsschwellendaten von Einzelsubstanzen

Tabelle 50: Finale Substanzliste zur Erstellung eines Geruchsrads (alphabetisch).

lfn. Nr.	Relevanz (1-3)	Substanzen Cas. Nr.	Geruchsnote	Geruchsschwelle in mg/m ³	Innenraumkonzentration in µg/m ³	Jahr der Literaturquelle / Qualität für GS	Häufigkeit Substanznennung in der Literaturrecherche	Häufigkeit der Nennung durch Expert:innen
1	1	(+)-alpha-Pinen 7785-70-8	Nadelholz, harzig	0,0053 [85]	/	2001 [85] / A-B	2	8
2	2	(E)-2-Nonenal / (E)-2-Decenal 18829-56-6	feuchte Kartonage	0,00009 [14]	/	2008 [14] / C	/	2
3	3	1,2,3-Trimethylbenzol 526-73-8	Gummi	/	1,01 – 1,25 [20]	2008 [20]	4	2
4	1	1-Butanol 71-36-3	stechend, scharf, beißend, süß	0,078 – 1,4 [22; 86]; 0,12 [2]	1 – 55,60 [15; 16]	2011 [86] / B; 2009 [22] / A; 2003 [2]; 2009 [15; 16]	11	5
5	2	1-Butoxy-2-propanol 5131-66-8	fruchtig	0,87 [21]	/	2003 [21] / A-B	/	2
6	1	1-Chlornaphthalin 90-13-1	muffig, Mottenkugel, "alt", Altbau	0,0027	/	/	/	6
7	2	1-Methylnaphthalin 90-12-0	Mottenkugel, "alt", Altbau, modrig	0,0019 [87]	/	2023 [87] / A	/	5
8		1,4-Dimethylnaphthalin 571-58-4	muffig, modrig	0,0042 [87]	/	2023 [87] / A	/	/
9	2	2,3,4,5,6-Pentachloranisol 1825-21-4	erdig, schimmelig	0,0016 [88] – 0,00219 [42]	/	2005 [88] / A-B; 2011 [42] / C	/	6
10	2	2,3,4,6-Tetrachloroanisol 938-22-7	erdig, schimmelig	0,00001 [42]	/	2011 [42] / C	2	5

lfn. Nr.	Relevanz (1-3)	Substanzen Cas. Nr.	Geruchsnote	Geruchsschwelle in mg/m ³	Innenraumkonzentration in µg/m ³	Jahr der Literaturquelle / Qualität für GS	Häufigkeit Substanznennung in der Literaturrecherche	Häufigkeit der Nennung durch Expert:innen
11	2	2,3,4-Trichloranisol 54135-80-7	erdig, schimmelig	0,03038 [42]	/	2011 [42] / C	/	4
12	2	2,3,6-Trichloranisol 50375-10-5	erdig schimmelig	0,00003 [42] – 0,0016 [88]	/	2005 [88] / A-B; 2011 [42] / C	/	4
13	2	2,4,6-Trichloranisol 87-40-1	erdig, schimmelig	0,0016 [88]; 0,000005 [42] – 0,000080 [87]	/	2005 [88] / A-B 2011 [42] / C 2023 [87] / A	/	6
14	2	2-Butanon 78-93-3	süß	0,21 [27]-1,3 [21]; 2,65	1,09 – 5,38 [16]	2000 [27] / A; 2003 [21] / A-B; 2009 [16]	14	3
15		2-Butanonoxim 96-29-7	Lack	0,27 [87]	/	2023 [87] / A	/	/
16	1	2-Butoxyethanol 111-76-2	ranzig, süß	0,21 [21]	0,66 – 21,34 [16; 18]	2003 [21] / A-B; 2009 [16]; 2017 [18]	14	5
17	1	2-Ethylhexanol 104-76-7	mentholig, frisch, Gummi, PVC	0,127 [87]	3,9 – 4,7 [18]	2017 [18]; 2023 [87] / B	13	9
18	2	2-Methyl-1-propanol 78-83-1	feuchte mineralhaltige Bauprodukte	0,033 [21]	/	2003 [21] / A-B	4	2
19	2	2-Methylnaphthalin 91-57-6	modrig, muffig, Mottenkugel, "alt", Altbau	0,0016 [87] – 0,004 [42]	/	2011 [42] / C; 2023 [87] / A	/	5
20	2	2-Phenoxyethanol 122-99-6	Gummi, stechend, scharf, beißend	4,2 [87]	/	2023 [87] / B	/	6
21	3	2-Propanol (Isopropanol) 67-63-0	Desinfektion / medizinisch	65 [21]; 42,31	11,29 – 31,02 [16]	2003 [21] / A-B; 2009 [16]	5	7

lfn. Nr.	Relevanz (1-3)	Substanzen Cas. Nr.	Geruchsnote	Geruchsschwelle in mg/m³	Innenraumkonzentration in µg/m³	Jahr der Literaturquelle / Qualität für GS	Häufigkeit Substanznennung in der Literaturrecherche	Häufigkeit der Nennung durch Expert:innen
22	1	Acetaldehyd 75-07-0	blumig, floral	0,0027 [21]	4,9 – 42,5 [15; 17; 18; 19; 20]	2002 [19]; 2003 [21] / A-B; 2008 [20]; 2009 [15; 17]; 2017 [18]	16	5
23		Aceton 67-64-1	Nagellack	26,69 [87]	14,9 [15] – 36,04 [16]	2023 [87] / A; 2009 [15]; 2009 [16]	/	/
24	3	Acetophenon 98-86-2	süß	0,0012 [42] – 0,0029 [87]	/	2011 [42] / C; 2023 [87] / A	8	4
25	3	Acrolein (Acrylaldehyd) 107-02-8	süß, verbrannt	0,0084 [21]	1,3–2,5 [18]	2003 [21] / A-B; 2017 [18]	8	3
26	1	alpha-Pinen (Dimer) 80-56-8	Nadelholz, harzig	0,1 [21]	4,2 – 232 [16; 18; 19; 20]	2002 [19]; 2003 [21] / A-B; 2008 [20]; 2009 [16]; 2017 [18]	12	11
27	1	Benzaldehyd 100-52-7	Mandel, Marzipan	0,085 [14]; 0,67	0,9 – 18,8 [15; 16; 17; 18; 19; 20]	2002 [19]; 2008 [14] / C 2008 [20]; 2009 [15; 16; 17]; 2017 [18]	16	8
28	2	Benzothiazol 95-16-9	Gummi	0,0034 [87]	/	2023 [87] / A	/	4
29	1	beta-Pinen 127-91-3	Nadelholz, harzig	0,187 [21]	1,81 – 73,9 [16; 19; 20]	2002 [19]; 2003 [21] / A-B; 2008 [20]; 2009 [16]	6	4
30	1	Butansäure 107-92-6	milchig	0,00035 – 0,00094 [10; 21; 89; 90]	/	2003 [21] A-B; 2007 [89] / A;	10	3

lfn. Nr.	Relevanz (1-3)	Substanzen Cas. Nr.	Geruchsnote	Geruchsschwelle in mg/m³	Innenraumkonzentration in µg/m³	Jahr der Literaturquelle / Qualität für GS	Häufigkeit Substanznennung in der Literaturrecherche	Häufigkeit der Nennung durch Expert:innen
						2009 [90] / B; 2010 [10] / A		
31	1	Butyraldehyd (Butanal) 123-72-8	stechend	0,0013 – 0,1 [91; 92]	1,5 – 10,3 [15]	2009 [15]; 2010 [91] / A; 2010 [92] / C	10	6
32	1	Capronsäure 142-62-1	ziegig, schweißig, käsig, sauer	0,0047 – 0,01 [10; 89; 90]; 0,0029 [21]	7,77 – 24,96 [16]	2003 [21] / A-B; 2007 [89] / A; 2009 [90] / B; 2009 [16]; 2010 [10] / A	7	3
33	1	Decanal 112-31-2	Zitrus, grasig, krautig	0,0026 [14; 21]	<1 – 18 [15; 25]	1999 [25]; 2003 [21] / A-B; 2008 [14] / C; 2009 [15]	8	7
34	2	delta-3-Caren 13466-78-9	süß	9,3 [28]	2,09 [20]	1998 [28] / C; 2008 [20]	10	5
35	1	DL-Limonen 7705-14-8	Zitrus	/	3,46 – 9,9 [16]	2009 [16]	2	4
36	1	Essigsäure 64-19-7	Essig	0,013 [10] – 0,15 [93; 94]; 0,021 [87]	10,4 – 153 [16; 20]	2007 [89] / A; 2008 [20]; 2009 [16]; 2010 [10] / A 2010 [93] / A-B; 2023 [87] / B	15	7
37	1	Ethylacetat 141-78-6	Nagellack	4,3 – 4,7 [22]; 3,1 [21]; 0,88 [9]; 4,13	3,94 – 11,72 [16]	2003 [21] / A-B; 2008 [9] / A; 2009 [22] / A; 2009 [16]	5	6
38	2	Ethylbenzol 100-41-4	Benzin	0,026 [11] – 0,73 [21]	0,15 – 5,01 [15; 16; 18; 20]	2003 [21] / A-B; 2008 [20]; 2009 [11] / A;	16	5

lfn. Nr.	Relevanz (1-3)	Substanzen Cas. Nr.	Geruchsnote	Geruchsschwelle in mg/m ³	Innenraumkonzentration in µg/m ³	Jahr der Literaturquelle / Qualität für GS	Häufigkeit Substanznennung in der Literaturrecherche	Häufigkeit der Nennung durch Expert:innen
						2009 [15; 16]; 2017 [18]		
39	1	Formaldehyd 50-00-0	Desinfektion, Gurke	0,14 [23] – 0,63 [21]	8,1 – 926 [15; 18; 19; 20]	2002 [19]; 2003 [21] / A-B; 2008 [20]; 2009 [15]; 2012 [23] / B-C; 2017 [18]	23	7
40	1	Geosmin 19700-21-1	erdig, schimmelig	0,000049 [21]-0,00021 [24]; 0,0076 [12]	/	2003 [21] / A-B; 2007 [24] / C	/	1
41	1	Heptanal 111-71-7	Zitrus	0,00085 [21] – 0,0009 [14]; 0,26 [92]	2,02 – 25,3 [16; 19]	2003 [21] / A-B; 2002 [19]; 2008 [14] / C; 2009 [16]; 2010 [92] / C	9	7
42	1	Heptansäure 111-14-8	ranzig	0,022 [42]	/	2011 [42] / C	/	1
43	1	Hexanal (Capronaldehyd) 66-25-1	ranzig, grasig, krautig	0,0014 – 0,23 [91; 92]; 0,0031 [87]	5 – 267 [17; 18; 19; 20]	2002 [19]; 2003 [21] / A-B; 2009 [17]; 2010 [92] / C; 2010 [91] / A 2017 [18]; 2023 [87] / B	23	14
44	1	Limonen 138-86-3	Zitrus	0,21 [21]	16 – 29 [25]	2003 [21] / A-B; 1999 [25]	6	8
45	1	m/p-Xylol 1330-20-7	süß	0,18 – 0,26 [21]	1,6 – 30,45 [15; 16]	2003 [21] / A-B; 2009 [15; 16]	12	7
46	1	m-Kresol 108-39-4	Pferdestall, Kork	0,00044 [21]; 0,00028 [87]	/	2003 [21] / A-B; 2023 [87] / B	3	6

lfn. Nr.	Relevanz (1-3)	Substanzen Cas. Nr.	Geruchsnote	Geruchsschwelle in mg/m ³	Innenraumkonzentration in µg/m ³	Jahr der Literaturquelle / Qualität für GS	Häufigkeit Substanznennung in der Literaturrecherche	Häufigkeit der Nennung durch Expert:innen
47	1	Naphthalin 91-20-3	muffig, Mottenkugel, „alt“, Altbau, Teer	0,45 [42]; 0,0023 ± 0,0008 [12]; 0,001 [87]	0,03 [16]	2009 [16]; 2011 [42] / C; 2023 [87] / A	5	12
48	1	n-Butylacetat 123-86-4	Farbe, Kleber, Lack, Banane	0,010 [7] – 0,077 [21]	6,75 – 24,78 [16]	2003 [21] / A-B; 2009 [7] / A; 2009 [16]	8	5
49	1	Nonanal 124-19-6	Zitrus, grasig, krautig	0,0027 [87] – 0,0031 [91]	<1 – 46,6 [15; 19; 101]	1998 [101]; 2002 [19]; 2009 [15]; 2010 [91] / A; 2023 [87] / B	13	10
50	1	Octanal 124-13-0	fettig, Zitrus	0,000052 [21] – 0,00088 [91]; ca. 50% der Fälle >0.005 [12]; 0,17 [92]	1,97 – 44,3 [19; 20]	2003 [21] / A-B; 2002 [19]; 2008 [20]; 2010 [91] / A; 2010 [92] / C	/	3
51	2	o-Xylol 95-47-6	süß	1,6 [21]	1,5 [15]	2003 [21] / A-B; 2009 [15]	12	6
52	1	Phenol 108-95-2	Teer, süß	0,021 [21]	18,3 – 58,6 [20]	2003 [21] / A-B; 2008 [20]	11	5
53	1	Toluol 108-88-3	süß, stechend, scharf, beißend	0,3 [11] – 1,3 [21]	0,5 – 130,55 [15; 16; 20; 26]	2003 [21] / A-B; 2003 [26]; 2008 [20]; 2009 [11] / A; 2009 [15; 16]	26	9
54	1	p-Kresol 106-44-5	Pferdestall	0,00024 [21] – 0,00036 [21; 87]	/	2003 [21] / A-B; 2023 [87] / B	3	7
55	1	Propionaldehyd (Propanal) 123-38-6	stechend	0,0024 [21] – 0,0048 [91]	1,4 – 2,8 [18]	2003 [21] / A-B; 2010 [91] / A; 2017 [18]	10	6

lfn. Nr.	Relevanz (1-3)	Substanzen Cas. Nr.	Geruchsnote	Geruchsschwelle in mg/m ³	Innenraumkonzentration in µg/m ³	Jahr der Literaturquelle / Qualität für GS	Häufigkeit Substanznennung in der Literaturrecherche	Häufigkeit der Nennung durch Expert:innen
56	1	R-Limonen 5989-27-5	Zitrus	0,045 [8]	/	2007 [8] / A	15	10
57	1	Styrol 100-42-5	stechend, scharf, beißend, süß, Kunststoff, Plastik	0,15 [21] – 26,4 [95]	0,32 – 25,4 [15; 16; 20]; 250 [56; 84]	2003 [21] / A-B; 2007 [95] / A; 2008 [20] 2009 [15; 16]; 2017 [18] 2018 [84]; 2013 [56]	19	6
58	/	Trichloromonoflouromethan - 75-69-4	sonstige Reinigungsmittel	/	/	/	/	/
59	2	Trimethylamin 75-50-3	fischig	0,00026 – 2,1 [12]; 0,000077 [21] – 0,63 [96]; 0,000041 – 0,0011 [97]	/	2003 [21] / A-B; 2004 [97] / C; 2006 [96] / B	/	1
60	1	Valeraldehyd (Pentanal) 110-62-3	fruchtig, muffig	0,0015 [21] – 0,85 [92]	2,9 – 72,9 [16; 17; 19]	2002 [19]; 2003 [21] / A-B 2009 [16; 17]; 2010 [92] / C	/	5
61	/	1-Pentanol 71-41-0	Kunststoff, Plastik	0,367 [21]	/	2003 [21] / A-B	/	/
62	/	3-methyl-Butanal 590-86-3	rauchig, röstig	0,00035 – 0,0016 [42]	2,8 [15]	2009 [15] 2011 [42] / C	4	/
63	/	2-methyl-Propanal 78-84-2	rauchig, röstig	0,001 [21]	/	2003 [21] / A-B	/	/
64	/	2-Ethylhexylacetat 103-09-3	rauchig, röstig	0,05 [98]	/	2015 [98] / C	/	/

Ifn. Nr.	Relevanz (1-3)	Substanzen Cas. Nr.	Geruchsnote	Geruchsschwelle in mg/m ³	Innenraumkonzentration in µg/m ³	Jahr der Literaturquelle / Qualität für GS	Häufigkeit Substanznennung in der Literaturrecherche	Häufigkeit der Nennung durch Expert:innen
65*	/	Caprolactam 105-60-2	chlorig	0,3992 [87]	300 [56]	2013 [56] 2023 [87] / A	/	/
66*	/	4-Phenylcyclohexene 4994-16-5	Teppich, Textil	0,002 [99]	/	1996 [99] / B-C	/	/

* Substanzen, die in der finalen Version des Geruchsrads aufgrund von Feedback und Analyseergebnissen ergänzt wurden.

D Validierungsmessungen

D.1 Chlornaphthalin

D.1.1 Probenaufbereitung

Für 1-Chlornaphthalin (CAS. No. 90-13-1) ist lediglich ein österreichischer MAK-Wert von $0,2 \text{ mg/m}^3$ vorhanden [102]. Mit $1 \text{ }\mu\text{L}$ als gerade noch gut zu dosierender Substanzmenge müsste der Probenbeutel unverhältnismäßig groß gewählt werden, um im Bereich dieses Wertes zu liegen. Um zu hohe Konzentrationen vorzubeugen, wurde zunächst ein 50 L Mutterbeutel angesetzt und anschließend definiert 1:11 in einen weiteren, mehrfach auf diese Weise vorkonditionierten, Beutel überführt. Die Probenaufbereitung wurde entsprechend der folgenden Parameter durchgeführt:

Beutelvolumen:	50 L
Vorbefüllung Probenbeutel:	10 L
Verdampfungstemperatur LiGaVa:	270°C
Substanzmenge injiziert:	$1 \text{ }\mu\text{L}$
Durchflussrate nach Injektion:	1 L/min
Reinheit Substanz:	86,5 %
Dichte Substanz:	$1,19 \text{ g/cm}^3$

Resultierende rechnerische Konzentration im Mutterbeutel: $20,59 \text{ mg/m}^3$

Vorverdünnung vor der Darbietung an Prüfer:innen: 1:11

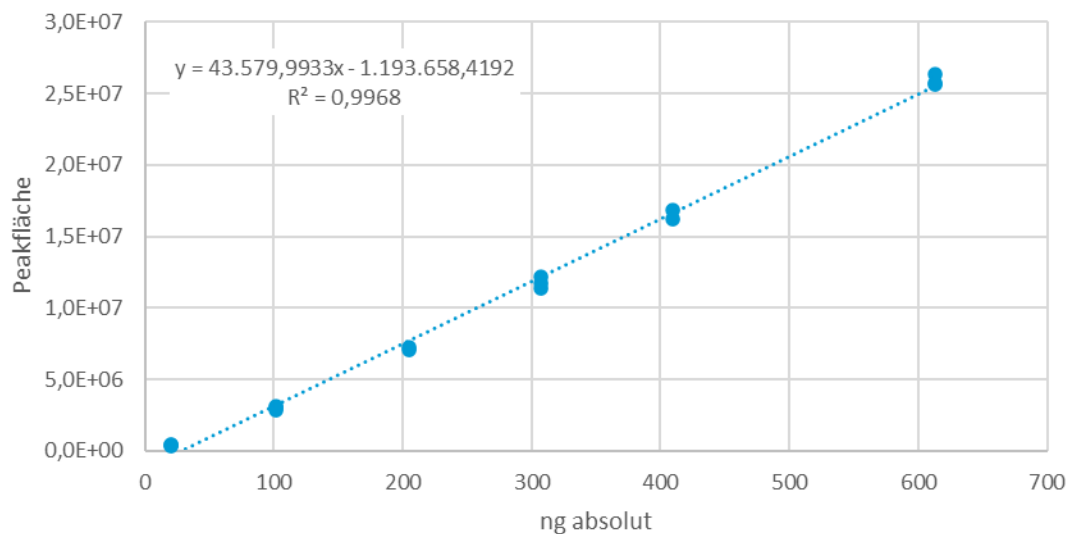
Resultierende rechnerische Konzentration im Probenbeutel: $1,87 \text{ mg/m}^3$

Die Berechnung der Substanzkonzentration wurde entsprechend der Formeln (4) und (5) aus Anhang B.1 vorgenommen. Insgesamt wurden für jedes Team ein 50 L-Mutterbeutel mit dem beschriebenen Vorgehen vorkonditioniert und vor Beginn jeder Messung frisch befüllt. Mit dem am Olfaktometer verwendeten Probenbeutel wurde ebenso verfahren.

D.1.2 Analytische Konzentrationsbestimmung von 1-Chlornaphthalin

Für die Bestimmung der Konzentration des 1-Chlornaphthalins wurde eine substanzspezifische 6-Punkt-Kalibrierung jeweils mit Triplikaten erstellt. Nach Bereinigung der Ausreißer ergibt sich folgende Kalibrierkurve (Abbildung 68) für die GC-MS-Messung und die Quantifizierung des 1-Chlornaphthalins.

**Abbildung 68: GC-MS-Kalibrierung 1-Chlornaphthalin
(6-Punkt-Kalibrierung in Triplikaten abzüglich Ausreißer).**



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Zur Qualitätssicherung wurde eingangs die Konzentration im Mutterbeutel analytisch bestimmt. Nachfolgend wurde in jedem Team zusätzlich der Probenbeutel, der einer Verdünnung von 1:11 aus dem Mutterbeutel entspricht und jeweils für die Olfaktometrie eingesetzt wurde, vermessen. Zusätzlich wurden die Substanzkonzentrationen direkt im Nasentrichter bei einer definierten Verdünnung bestimmt.

Die Ergebnisse aus den GC-MS-Messungen im Vergleich zu rechnerischen Daten stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 51: Analytische Konzentrationsbestimmung 1-Chlornaphthalin.

Gegenüberstellung der rechnerischen und analytischen Konzentrationen in Mutterbeutel (MB), Probenbeutel (PB; 1:11 Verdünnung) und am Trichter (T) bei einer Verdünnung von 1:15 aus dem Probenbeutel.

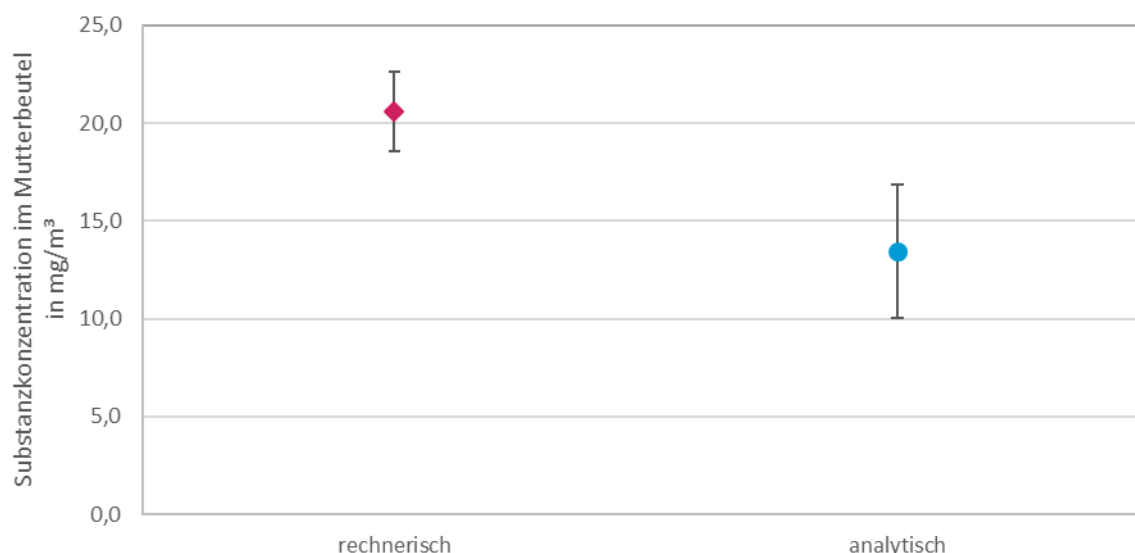
MB rechnerisch / analytisch in mg/m³	PB rechnerisch / analytisch in mg/m³	T rechnerisch / analytisch in mg/m³	Wiederfindungsrate rechnerisch / analytisch in %	Wiederfindungsrate analytisch MB zum T in %
20,59 / 13,45	1,872 / 1,097	0,1248 / 0,073	MB: 65,3 PB: 58,6 T: 58,5	89,6

Aus den Daten lässt sich ableiten, dass insbesondere durch Wandeffekte im Beutel bei der Herstellung des Luft-Substanzgemisches etwa 35 % der erwarteten Substanzkonzentration nicht analytisch wiedergefunden werden. Durch befüllen eines weiteren Beutels in einer 1:11 Verdünnung, gehen weitere 8 % der rechnerischen Konzentration verloren. Wird die Wiederfindung der analytisch festgestellten Konzentration am Trichter überprüft, so ergeben sich hier 10 % Verlust. Werden die 8 % durch Verdünnung in einen weiteren Beutel berücksichtigt, so ergibt sich für 1-Chlornaphthalin eine quasi verlustfreie Darbietung über das Olfaktometer bei einer eingestellten Verdünnung von 1:15.

In Anbetracht der Wandeffekte in den Nalophan®-Beuteln und basierend auf Erfahrungen aus dem vorangegangenen Projekt des UBA mit dem Titel „Bestimmung von

Geruchswahrnehmungsschwellen für Innenraumschadstoffe“ [87] sind diese analytischen Ergebnisse für 1-Chlornaphthalin damit als plausibel anzusehen, auch wenn sich deren Konzentrationen einschließlich der Unsicherheitsbudgets nicht überschneiden (vgl. Abbildung 69).

Abbildung 69: Vergleich rechnerischer und analytischer Konzentrationsbestimmung im Mutterbeutel (1-Chlornaphthalin).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Insgesamt weisen die analytisch ermittelten Konzentrationen der 1:11 verdünnten Probenbeutel zwischen allen Teams eine Standardabweichung von 10,3 % auf. Diese Schwankung begründet sich insbesondere durch die Aufbereitung im LiGaVa, für die ein Unsicherheitsbudget von 10 % als normaler Wert angenommen wird (vgl. Anhang B.2).

D.1.3 Auswahl des Prüfer:innen-Kollektivs

Die Überprüfung zur Erfüllung der in der DIN EN13725 festgelegten Anforderungen zur Bewertung von n-Butanol wurde vor der Probenbewertung durchgeführt. Individuelle Ergebnisse der einzelnen Prüfer:innen sind in Tabelle 52 dargestellt.

Tabelle 52: Prüfer:innen-Überprüfung nach DIN EN 13725 (1-Chlornaphthalin)

Anforderungen für die Bewertung von n-Butanol $20 \leq 10^{\overline{y}_{ITE}} \leq 80$ und $10^{s_{ITE}} \leq 2,3$

Team	Prüfer:innen	Individuelle Empfindlichkeit $10^{\overline{y}_{ITE}}$ in ppb	Individuelle maximale Streuung / Standardabweichung $10^{s_{ITE}}$ in ppb	Kriterium Empfindlichkeit erfüllt	Kriterium Standardabweichung erfüllt
A	047	22,357	1,425	✓	✓
A	244	38,583	1,449	✓	✓
A	299	60,862	1,472	✓	✓
A	144	50,047	1,574	✓	✓

Team	Prüfer:innen	Individuelle Empfindlichkeit $10^{\overline{YTE}}$ in ppb	Individuelle maximale Streuung / Standardabweichung 10^{SITE} in ppb	Kriterium Empfindlichkeit erfüllt	Kriterium Standardabweichung erfüllt
B	251	67,478	1,836	✓	✓
B	118	58,583	1,612	✓	✓
B	015	39,770	1,443	✓	✓
B	162	35,155	1,833	✓	✓
C	130	67,784	1,473	✓	✓
C	004	50,654	1,412	✓	✓
C	305	68,491	1,421	✓	✓
C	102	46,388	1,413	✓	✓

Die Ergebnisse der drei Teams sind in Tabelle 53 zusammengestellt.

Tabelle 53: Geruchsempfindlichkeit der Teams auf n-Butanol nach DIN EN 13725 (1-Chlornaphthalin).

Datum	Team	Empfindlichkeit in ppb	Präzision $r \leq 0,477$	Genauigkeit $A \leq 0,217$	Messleiter:in	Prüfer:in 1	Prüfer:in 2	Prüfer:in 3	Prüfer:in 4
12.04.2022	A	52,07	0,2858	0,1718	BEA	047	244	299	144
14.04.2022	B	75,95	0,303	0,181	KOR	251	118	015	162
14.04.2022	C	62,67	0,2994	0,1871	KOR	130	004	305	102

Sowohl alle Prüfer:innen, als auch das gesamte Team, erfüllen damit die Anforderungen nach DIN EN 13725 und wurden folglich zur Ermittlung von Geruchsstoffkonzentrationen für ausgewählte Einzelstoffe eingesetzt.

D.1.4 Geruchsstoffkonzentration

Für die Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration wurden 12 Prüfer:innen eingesetzt, die jeweils 10 gültige Schwellenschätzungen zur Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration abgeben mussten. Diese 10 Schwellenschätzungen wurden auf jeweils drei Messungen aufgeteilt (vgl. Kapitel B.3), sodass sich mit drei Teams insgesamt neun Messungen ergeben. Jede Messung erfüllt die normativen Anforderungen und weist ein $\Delta Z \leq 5$ auf.

Die ermittelten Geruchsstoffkonzentrationen für 1-Chlornaphthalin sind in der folgenden Tabelle 54 zusammengestellt. Die mittlere Geruchsstoffkonzentration liegt bei $488 \text{ GE}_E/\text{m}^3$.

Tabelle 54: Geruchsstoffkonzentration nach DIN EN 13725 – 1-Chlornaphthalin.

Einzeldaten für alle Prüfer:innen je Durchgang, aufgeteilt auf jeweils drei Messungen unter Angabe des geometrischen Gesamtmittelwertes und des oberen und unteren Wertes in Abhängigkeit des 95 % Konfidenzintervalls. Anzahl Prüfer:innen = 12 mit einem Durchschnittsalter von 43,3 Jahren

Prüfer:innen Kürzel / Durchgang	Geruchsstoffkonzentration in GE_E/m^3											
	047	244	299	144	251	118	015	162	130	004	305	102
	Team A Messung 1				Team B Messung 1				Team C Messung 1			
1	2428	551	263	551	551	127	263	551	1159	551	551	263
2	2428	551	551	1159	127	63	127	551	1159	1159	1159	551
3	1159	551	551	551	551	263	127	551	1159	1159	1159	551
	Team A Messung 2				Team B Messung 2				Team C Messung 2			
4	2428	551	551	1159	198	401	198	824	551	551	1159	551
5	2428	2623	127	1159	95	198	198	401	1159	1159	551	263
6	551	263	551	551	198	198	95	401	1159	1159	551	551
7	2428	127	551	551	198	95	198	198	551	1159	551	551
	Team A Messung 3				Team B Messung 3				Team C Messung 3			
8	551	551	263	551	198	198	198	198	263	1159	551	127
9	551	551	551	1159	95	198	95	401	1159	1159	551	263
10	1159	263	263	551	95	198	198	401	551	551	1159	551
Gesamtmittelwert (geometrisch)												448
95% Konfidenzintervall unterer Wert												344
95% Konfidenzintervall oberer Wert												583

Die Bewertungen der Geruchsstoffkonzentration liegen für das Team A und C im Mittel bei 617 bzw. 677 GE_E/m^3 . Auffällig ist, dass für Team B einheitlich geringere Werte ermittelt wurden. Der Mittelwert liegt bei 215 GE_E/m^3 . Die analytischen Messungen der Probenbeutel für die unterschiedlichen Teams weisen vergleichbare Ausgangskonzentrationen auf. Dass 1-Chlornaphthalin in unterschiedlichen Konzentrationen dargeboten wurde kann somit ausgeschlossen werden. Auffällig ist außerdem, dass im Team B drei der vier Prüfer:innen älter als 54 Jahre waren. Es lässt sich vermuten, dass dieser typisch muffige Geruch mit steigendem Alter ggf. schlechter wahrgenommen werden kann. Allerdings lag der Altersdurchschnitt insgesamt über alle Teams gemittelt oberhalb von 43 Jahren.

D.1.5 Geruchsschwelle

Die Geruchsschwellenkonzentration, die sich aus der ermittelten Geruchsstoffkonzentration (vgl. Anhang D.1.2) und der analytischen Konzentration des 1-Chlornaphthalins ergibt, ergeben sich damit wie in Tabelle 55 dargestellt.

Tabelle 55: Geruchsstoffkonzentration, Analytik und Geruchsschwelle 1-Chlornaphthalin.

Darstellung inklusive Berücksichtigung des 95% Konfidenzintervalls

Geruchsstoffkonz. Obere Grenze Erwartungswert Untere Grenze in GE_E/m^3	Rechnerische & Analytische Konzentration im MB in mg/m^3	Geruchsschwelle (rechn.) Untere Grenze Erwartungswert obere Grenze in mg/m^3	Geruchsschwelle (analyt.) Untere Grenze Erwartungswert obere Grenze in mg/m^3
583 448 344	20,59 13,45	0,0032 0,0042 0,0054	0,0021 0,0027 0,0035

D.1.6 Intensitätskennlinie

Die Intensitäten wurden in drei Durchgängen ermittelt. Eine Zusammenstellung der Einzeldaten findet sich in der folgenden Tabelle 56.

Tabelle 56: 1-Chlornaphthalin – Intensitätsbewertungen.

Zusammenstellung individueller Intensitätsbewertungen in Abhängigkeit der dargebotenen Verdünnungsstufen und unter Angabe der Prüfer:innenkürzel

Nr. Prüfer:in Kürzel	Nr. Wdh.	Intensitätsbewertung für die dargebotenen Verdünnungsstufen								Null- lüfte	
		lg Z ₁₆₇₄	lg Z ₈₀₂	lg Z ₃₇₉	lg Z ₁₈₂	lg Z _{88,3}	lg Z _{45,5}	lg Z _{21,7}	lg Z _{10,4}	1	2
1 047	0	0	1	2	5	4	6	6	6	0	0
	1	1	2	2	4	6	5	5	6	0	0
	2	0	0	3	2	4	5	5	6	0	0
2 244	0	0	0	1	1	1	2	3	4	0	0
	1	0	1	1	2	3	3	4	4	0	0
	2	0	0	1	1	3	2	4	4	0	0
3 299	0	0	1	2	3	3	3	4	4	0	0
	1	0	2	1	2	3	4	4	5	0	0
	2	0	1	1	2	5	3	6	6	0	0
4 144	0	0	0	1	2	3	3	5	5	0	0
	1	0	1	1	3	3	5	5	5	0	0
	2	0	1	2	2	3	4	5	5	0	0
5 251	0	0	1	1	2	2	4	3	4	0	0
	1	0	1	1	1	4	3	5	6	0	0
	2	1	1	2	2	2	3	5	6	0	0
6 118	0	0	1	1	2	3	4	5	6	0	0
	1	1	1	2	3	4	5	6	5	0	0
	2	0	0	1	2	3	3	5	5	0	0

Nr. Prüfer:in Kürzel	Nr. Wdh.	Intensitätsbewertung für die dargebotenen Verdünnungsstufen								Null- lüfte	
		0	0	0	1	2	4	5	4		
7 015	0	0	0	0	1	2	4	5	4	0	0
	1	0	0	0	1	1	3	3	5	0	0
	2	0	0	0	1	2	2	5	4	0	0
8 162	0	0	1	1	2	3	3	5	6	0	0
	1	0	1	1	2	3	3	5	5	0	0
	2	0	0	1	2	4	3	3	3	0	0
9 130	0	0	1	1	2	3	2	3	5	0	0
	1	0	1	1	2	2	2	3	4	0	0
	2	0	1	1	1	2	3	4	5	0	0
10 004	0	1	1	3	3	2	4	4	5	0	0
	1	0	2	2	4	3	3	4	5	0	0
	2	2	2	3	4	3	3	4	5	0	0
11 305	0	0	1	1	1	1	3	3	4	0	0
	1	0	1	1	2	2	2	4	3	0	0
	2	0	1	1	2	1	3	3	4	0	0
12 102	0	0	0	0	1	2	2	4	5	0	0
	1	0	0	1	2	1	2	3	4	0	0
	2	0	0	0	1	2	3	3	4	0	0

Aus den Einzelbewertungen der eingesetzten Prüfer:innen ergibt sich durch die Datenaufbereitung entsprechend Kapitel 2.2.3 und Anhang B.6 die Häufigkeit der Intensitätsüberschreitung bezüglich der zugehörigen logarithmierten Verdünnungszahlen wie in Tabelle 57 dargestellt.

Tabelle 57: 1-Chlornaphthalin – Zuordnung der Häufigkeiten der Intensitätsüberschreitungen zu den vorgegebenen Logarithmen der Verdünnungszahlen.

log Z / Häufigkeit	3,2	2,9	2,6	2,3	2,0	1,7	1,3	1,0
$H(I>0)$	0,14	0,67	0,86	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$H(I>1)$	0,03	0,08	0,28	0,72	0,86	1,00	1,00	1,00
$H(I>2)$	0,00	0,00	0,08	0,22	0,58	0,78	1,00	1,00
$H(I>3)$	0,00	0,00	0,00	0,11	0,19	0,31	0,72	0,94
$H(I>4)$	0,00	0,00	0,00	0,03	0,06	0,14	0,44	0,61
$H(I>5)$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,08	0,22

Durch Auftragung der Intensitätshäufigkeiten über die logarithmierten Verdünnungszahlen ergeben sich für $H(I>0)$ bis $H(I>4)$ fünf einzelne Diagramme, aus denen sich die 16-, 50- und 84-Perzentile $\hat{Z}_{16}$, $\hat{Z}_{50}$ und $\hat{Z}_{84}$ graphisch ableiten lassen (siehe Tabelle 58).

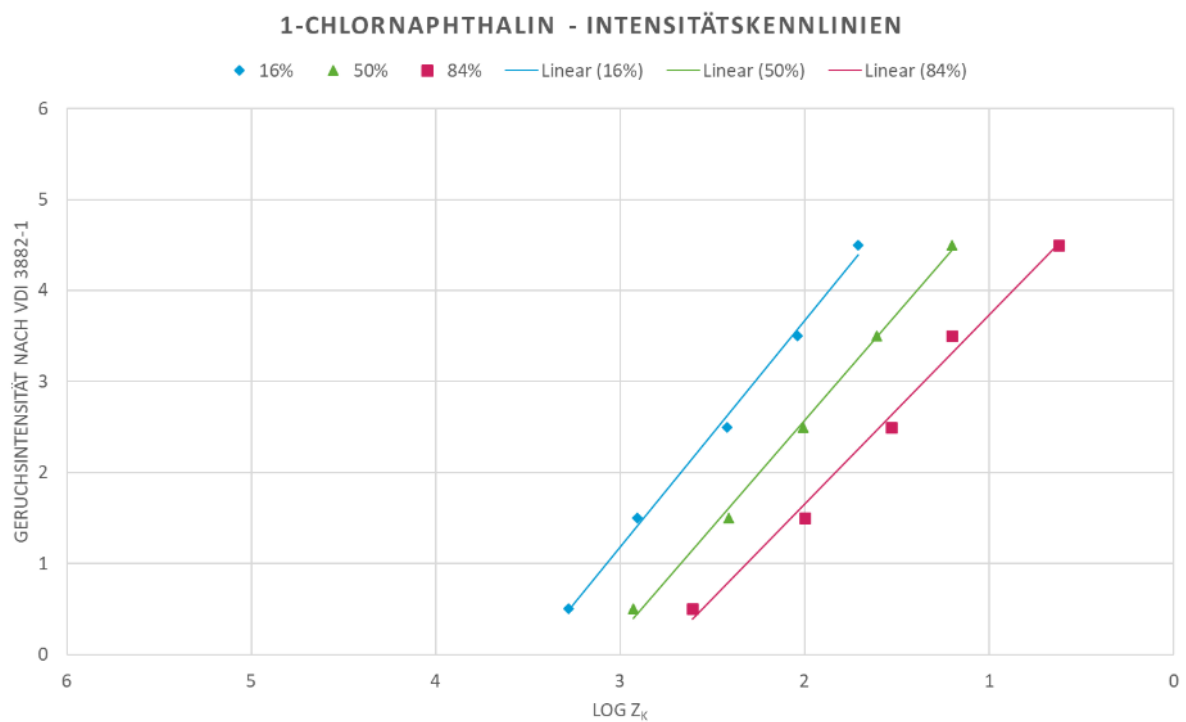
Tabelle 58: 1-Chlornaphthalin – Kenngrößen der Intensitätsstufen I_s .

Graphisch ermittelt aus der Auftragung der Häufigkeiten der Intensitätsüberschreitung über die logarithmierten Verdünnungsstufen.

I_s	$I = I_s + 0,5$	$\log Z_{16}$	$\log Z_{50}$	$\log Z_{84}$
0	0,5	3,28	2,93	2,61
1	1,5	2,91	2,41	2,00
2	2,5	2,42	2,01	1,53
3	3,5	2,04	1,61	1,20
4	4,5	1,71	1,20	0,62

Durch Auftragung der Daten aus Tabelle 58 ergibt sich die folgende Abbildung 70.

Abbildung 70: 1-Chlornaphthalin – Intensitätskennlinien für $\hat{Z}_{16}$, $\hat{Z}_{50}$ und $\hat{Z}_{84}$ nach VDI 3882-1.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Die Parameter, die sich für diese Kennlinien ergeben sind in der folgenden Tabelle 59 zusammengestellt.

Tabelle 59: 1-Chlornaphthalin – Parameter der Geradengleichungen der 16., 50. und 84. Perzentile nach VDI 3882-1.

Angabe der Korrelationskoeffizienten R, der Bestimmtheitsmaße R² sowie der Steigung b und des Achsenabschnittes a

Parameter	Formelzeichen	16 %	50 %	84 %
Korrelationskoeffizient	R	-0,998	-0,999	-0,996
Bestimmtheitsmaß	R ²	0,996	0,997	0,991
Steigung	b	-2,49	-2,34	-2,07
Achsenabschnitt	a	8,65	7,26	5,80

Aus dieser Darstellung lässt sich der Weber-Fechner-Koeffizient mit $k_w = 2,34$ ableiten, sodass sich gemäß Formel (10) in Anhang B.6 der folgende Zusammenhang für 1-Chlornaphthalin ergibt:

$$I = 2,34 \cdot \log \left(\frac{c_R}{c_{GS}} \right) \quad (11)$$

mit:

I Intensität

k_w Weber-Fechner-Koeffizient

c_R Substanzkonzentration in der Riechprobe

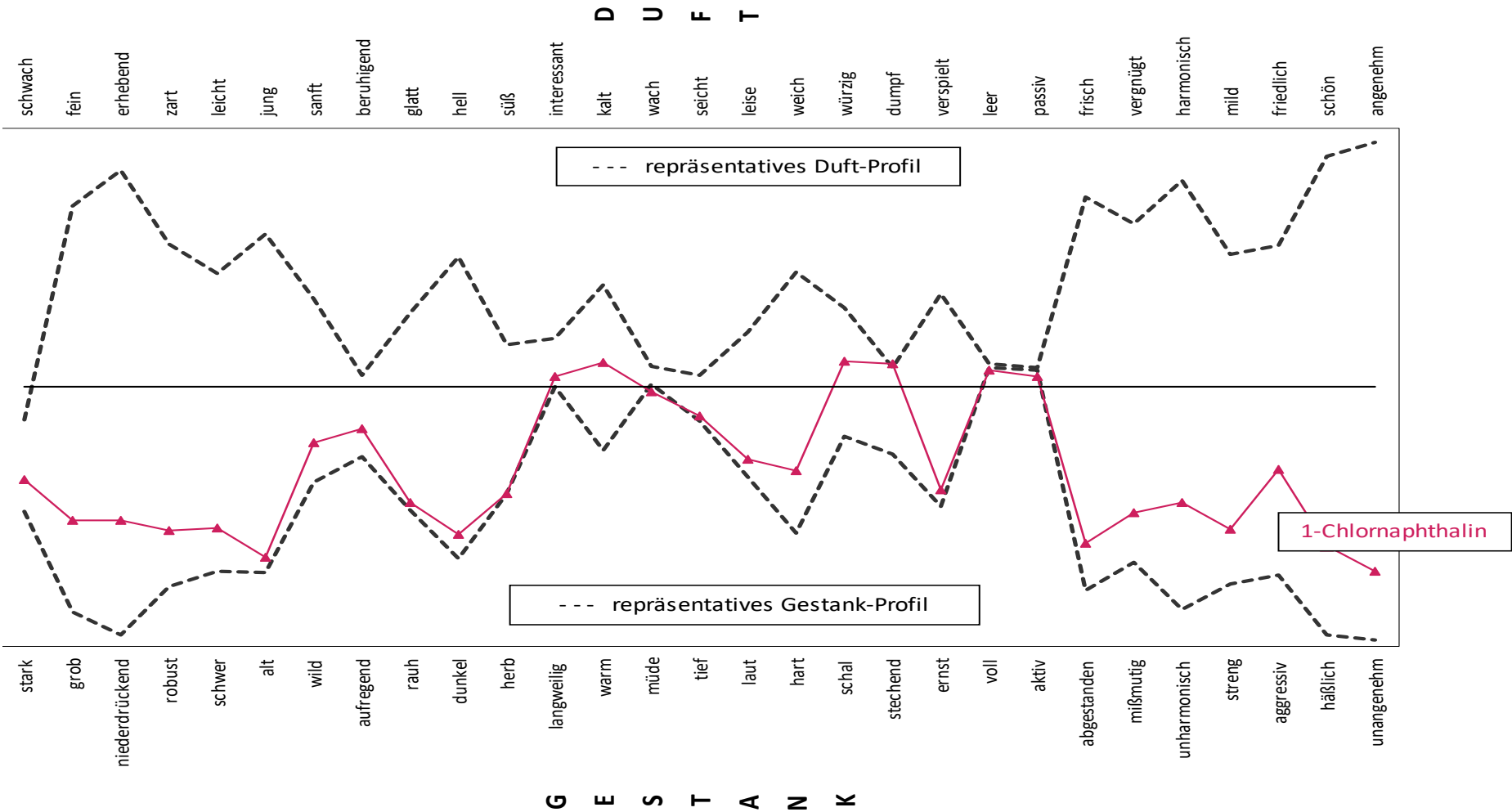
c_{GS} Substanzkonzentration an der Geruchsschwelle

D.1.7 Polaritätenprofil

Das Polaritätenprofil von 1-Chlornaphthalin ist in Abbildung 71 zusammen mit repräsentativen Profilen für Duft und Gestank entsprechend VDI 3940 Blatt 4 [4] dargestellt.

Der Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient nach Pearson für das Konzept Duft ergibt sich zu -0,72. Für die Korrelation mit dem Konzept Gestank ergibt sich ein Wert von +0,90. 1-Chlornaphthalin ist damit eindeutig einem Gestank und keinem Duft zuzuordnen.

Abbildung 71: Polaritätenprofil für 1-Chlornaphthalin (N=12), Duft und Gestank.

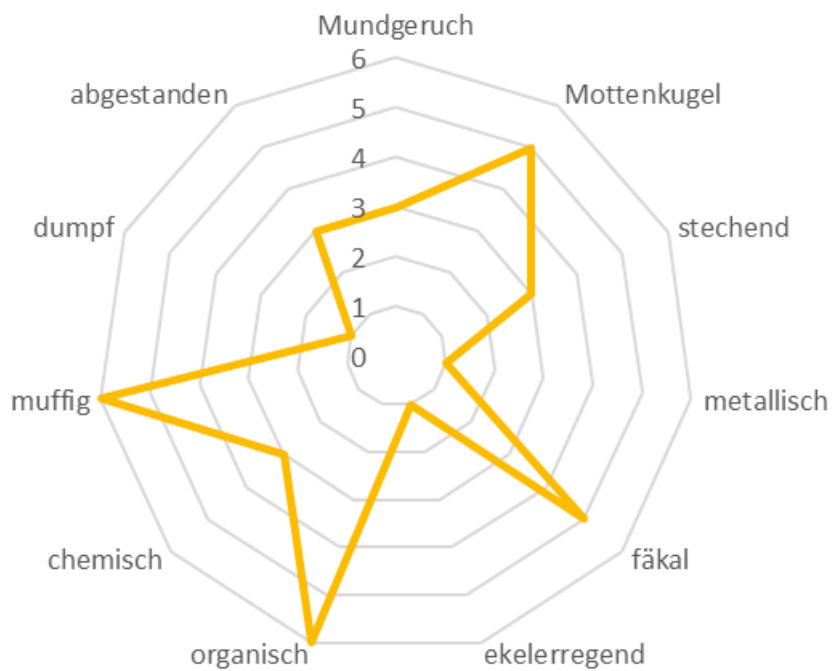


Quelle: eigene Darstellung auf Basis der VDI 3940-4, Olfasense GmbH

D.1.8 Geruchscharakter

Für die Bestimmung des Geruchscharakters wurden die Prüfer:innen gebeten alle beschreibenden Worte anzugeben, die Ihnen für den wahrgenommenen Geruch einfielen. Eine Zusammenfassung dieser Angaben findet sich in der folgenden Abbildung 72 in Form eines Spinnennetz-Diagramms.

Abbildung 72: Übersicht Geruchscharaktere für 1-Chlornaphthalin (N=12) mit Angabe der Häufigkeit der Nennungen von 0-6.



D.2 Benzaldehyd

D.2.1 Probenaufbereitung

Für Benzaldehyd (CAS. Nr. 100-52-7) ist ein vorläufiger Richtwert von $0,2 \text{ mg/m}^3$ vorhanden [103]. Die Probenaufbereitung wurde entsprechend der folgenden Parameter durchgeführt:

Beutelvolumen: 100 L

Verdampfungstemperatur LiGaVa: 190°C

Substanzmenge injiziert: $2 \text{ }\mu\text{L}$

Durchflussrate nach Injektion: 1 L/min

Reinheit Substanz: $99,0\%$

Dichte Substanz: $1,05 \text{ g/cm}^3$

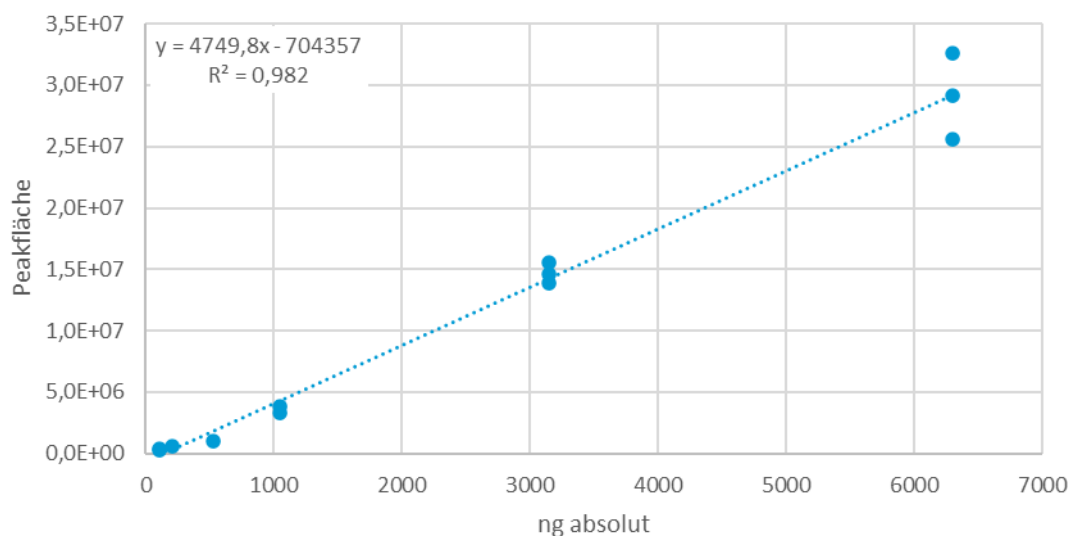
Resultierende rechnerische Konzentration im Mutterbeutel: $20,79 \text{ mg/m}^3$

Die Berechnung der Substanzkonzentration wurde entsprechend der Formeln (4) und (5) aus Anhang B.1 vorgenommen. Insgesamt wurden für jedes Team ein 100 L-Mutterbeutel mit dem beschriebenen Vorgehen vorkonditioniert und vor Beginn jeder Messung frisch befüllt.

D.2.2 Analytische Konzentrationsbestimmung von Benzaldehyd

Für die Bestimmung der Konzentration des Benzaldehyds wurde eine substanzspezifische 6-Punkt-Kalibrierung jeweils mit Triplikaten erstellt. Nach Bereinigung der Ausreißer ergibt sich folgende Kalibrierkurve (Abbildung 73) für die GC-MS-Messung und die Quantifizierung des Benzaldehyds.

Abbildung 73: GC-MS-Kalibrierung Benzaldehyd
(6-Punkt-Kalibrierung in Triplikaten abzüglich Ausreißer).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Zur Qualitätssicherung wurden sowohl die Konzentrationen im Mutterbeutel als auch bei einer definierten Verdünnung von 1:62 am Trichter analytisch bestimmt.

Die Ergebnisse aus den GC-MS-Messungen im Vergleich zu rechnerischen Daten stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 60: Analytische Konzentrationsbestimmung Benzaldehyd.

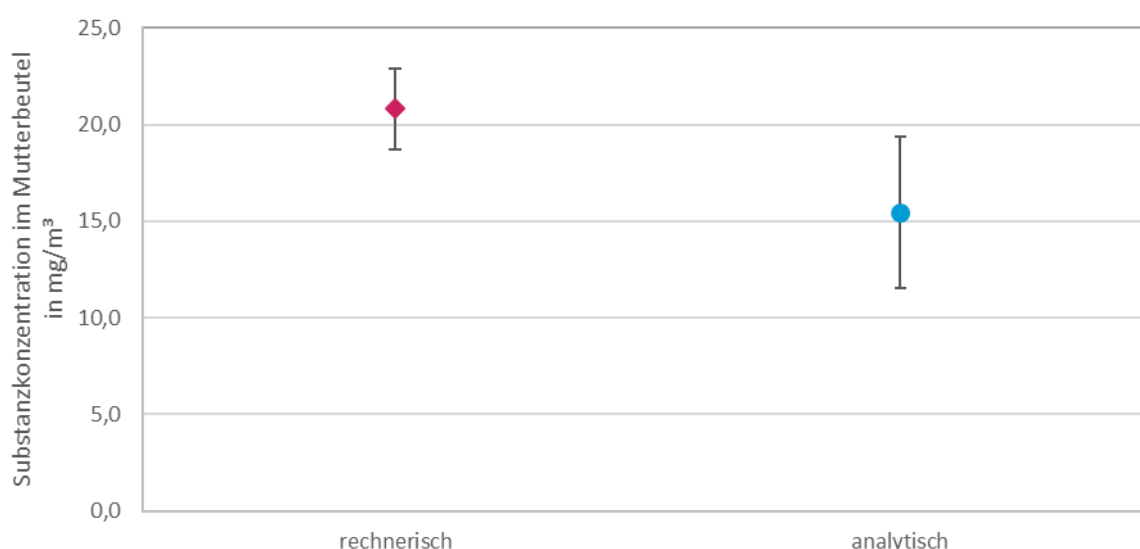
Gegenüberstellung der rechnerischen und analytischen Konzentrationen in Mutterbeutel (MB) und am Trichter (T) bei einer Verdünnung von 1:62.

MB rechnerisch / analytisch in mg/m ³	T rechnerisch / analytisch in mg/m ³	Wiederfindungsrate rechnerisch / analytisch in %	Wiederfindungsrate analytisch MB zum T in %
20,79 / 15,45	0,34 / 0,23	MB: 75,3 T: 68,4	92,1

Aus den Daten lässt sich ableiten, dass insbesondere durch Wandeffekte im Beutel bei der Herstellung des Luft-Substanzgemisches etwa 25 % der erwarteten Substanzkonzentration nicht analytisch wiedergefunden werden. Die Wiederfindung der analytisch ermittelten Konzentration im Trichter liegt bei 92 % und damit ist die Darbietung über das Olfaktometer bei einer eingestellten Verdünnung von 1:62 als quasi verlustfrei anzusehen.

In Anbetracht der Wandeffekte in den Nalophan®-Beuteln und basierend auf Erfahrungen aus dem vorangegangenen Projekt des UBA mit dem Titel „Bestimmung von Geruchswahrnehmungsschwellen für Innenraumschadstoffe“ [87] sind diese analytischen Ergebnisse für Benzaldehyd damit als plausibel anzusehen. Zusätzlich überschneiden sich die ermittelten Konzentrationen einschließlich der Unsicherheitsbudgets (vgl. Abbildung 74).

Abbildung 74: Vergleich rechnerischer und analytischer Konzentrationsbestimmung im Mutterbeutel (Benzaldehyd).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Insgesamt weisen die analytisch ermittelten Konzentrationen der Mutterbeutel eine Standardabweichung von 13,6 % auf. Diese Schwankung begründet sich insbesondere durch die

Aufbereitung im LiGaVa, für die ein Unsicherheitsbudget von 10 % als normaler Wert angenommen wird (vgl. Anhang B.2).

D.2.3 Auswahl des Prüfer:innen-Kollektivs

Die Überprüfung zur Erfüllung der in der DIN EN13725 festgelegten Anforderungen zur Bewertung von n-Butanol wurde vor der Probenbewertung durchgeführt. Individuelle Ergebnisse der einzelnen Prüfer:innen sind in Tabelle 61 dargestellt.

Tabelle 61: Prüfer:innen-Überprüfung nach DIN EN 13725 (Benzaldehyd).

Anforderungen für die Bewertung von n-Butanol $20 \leq 10^{\overline{y}_{ITE}} \leq 80$ und $10^{s_{ITE}} \leq 2,3$

Team	Prüfer:innen	individuelle Empfindlichkeit $10^{\overline{y}_{ITE}}$ in ppb	individuelle maximale Streuung / Standardabweichung $10^{s_{ITE}}$ in ppb	Kriterium Empfindlichkeit erfüllt	Kriterium Standardabweichung erfüllt
A	144	50,706	1,4701	✓	✓
A	117	45,080	1,541	✓	✓
A	246	52,701	1,736	✓	✓
A	162	33,585	1,747	✓	✓
B	030	41,451	1,655	✓	✓
B	211	63,287	1,536	✓	✓
B	118	52,450	1,635	✓	✓
B	250	64,568	1,176	✓	✓
C	015	41,660	1,503	✓	✓
C	312	46,724	1,588	✓	✓
C	249	45,068	1,493	✓	✓
C	146	62,773	1,586	✓	✓

Die Ergebnisse der drei Teams sind in Tabelle 53 zusammengestellt.

Tabelle 62: Geruchsempfindlichkeit der Teams auf n-Butanol nach DIN EN 13725 (Benzaldehyd).

Datum	Team	Empfindlichkeit in ppb	Präzision $r \leq 0,477$	Genauigkeit $A \leq 0,217$	Messleiter:in	Prüfer:in 1	Prüfer:in 2	Prüfer:in 3	Prüfer:in 4
12.05.2022	A	30,87	0,3359	0,1604	KOR	144	117	246	162
13.05.2022	B	64,03	0,3384	0,1689	KOR	030	211	118	250
16.05.2022	C	44,89	0,3114	0,1414	KOR	015	312	249	146

Sowohl alle Prüfer:innen, als auch das gesamte Team, erfüllen damit die Anforderungen nach DIN EN 13725 und wurden folglich zur Ermittlung von Geruchsstoffkonzentrationen für ausgewählte Einzelstoffe eingesetzt.

D.2.4 Geruchsstoffkonzentration

Für die Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration wurden 12 Prüfer:innen eingesetzt, die jeweils 10 gültige Schwellenschätzungen zur Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration abgeben mussten. Diese 10 Schwellenschätzungen wurden auf jeweils drei Messungen aufgeteilt (vgl. Kapitel B.3), sodass sich mit drei Teams insgesamt neun Messungen ergeben. Jede Messung erfüllt die normativen Anforderungen und weist ein $\Delta Z \leq 5$ auf.

Die ermittelten Geruchsstoffkonzentrationen für Benzaldehyd sind in der folgenden Tabelle 63 zusammengestellt. Die mittlere Geruchsstoffkonzentration liegt bei $229 \text{ GE}_E/\text{m}^3$.

Tabelle 63: Geruchsstoffkonzentration nach DIN EN 13725 – Benzaldehyd.

Einzeldaten für alle Prüfer:innen je Durchgang, aufgeteilt auf jeweils drei Messungen unter Angabe des geometrischen Gesamtmittelwertes und des oberen und unteren Wertes in Abhängigkeit des 95% Konfidenzintervalls. Anzahl Prüfer:innen = 12 mit einem Durchschnittsalter von 36,2 Jahren

	Geruchsstoffkonzentration in GE_E/m^3											
Prüfer:innen Kürzel / Durchgang	162	246	117	144	211	118	250	030	146	015	249	312
	Team A Messung 1				Team B Messung 1				Team C Messung 1			
1	132	562	271	562	63	63	271	271	63	271	132	63
2	271	562	271	271	132	271	562	562	271	271	132	63
3	271	271	271	271	132	132	271	271	132	271	132	271
	Team A Messung 2				Team B Messung 2				Team C Messung 2			
4	271	271	1188	562	132	132	562	271	132	271	271	132
5	271	271	271	562	132	271	562	271	132	271	132	132
6	271	271	562	562	63	132	562	132	132	271	271	132
7	271	271	562	562	132	63	562	132	63	271	63	132
	Team A Messung 3				Team B Messung 3				Team C Messung 3			
8	271	271	562	562	271	271	562	271	132	271	132	132
9	271	271	562	562	132	132	1188	271	271	562	132	132
10	132	271	271	271	132	132	562	562	132	271	132	63
Gesamtmittelwert (geometrisch)												229
95% Konfidenzintervall unterer Wert												176
95% Konfidenzintervall oberer Wert												299

D.2.5 Geruchsschwelle

Die Geruchsschwellenkonzentration, die sich aus der ermittelten Geruchsstoffkonzentration (vgl. Anhang D.2.2) und der analytischen Konzentration des Benzaldehyds ergibt, ergeben sich damit wie in Tabelle 64 dargestellt.

Tabelle 64: Geruchsstoffkonzentration, Analytik und Geruchsschwelle Benzaldehyd.

Darstellung inklusive Berücksichtigung des 95 % Konfidenzintervalls

Geruchsstoffkonz. <i>Obere Grenze</i> Erwartungswert <i>Untere Grenze</i> in GE _E /m ³	Rechnerische & Analytische Konzentration im MB in mg/m ³	Geruchsschwelle (rechn.) <i>Untere Grenze</i> Erwartungswert <i>obere Grenze</i> in mg/m ³	Geruchsschwelle (analyt.) <i>Untere Grenze</i> Erwartungswert <i>obere Grenze</i> in mg/m ³
299		0,0696	0,0517
229	20,59	0,0907	0,0674
176	13,45	0,1181	0,0877

D.2.6 Intensitätskennlinie

Die Intensitäten wurden in drei Durchgängen ermittelt. Eine Zusammenstellung der Einzeldaten findet sich in der folgenden Tabelle 65.

Tabelle 65: Benzaldehyd – Intensitätsbewertungen.

Zusammenstellung individueller Intensitätsbewertungen in Abhängigkeit der dargebotenen Verdünnungsstufen und unter Angabe der Prüfer:innenkürzel

Nr. Prüfer:in Kürzel	Nr. Wdh.	Intensitätsbewertung für die dargebotenen Verdünnungsstufen								Null- lüfte	
		lg Z ₈₁₀	lg Z ₃₉₀	lg Z ₁₈₈	lg Z _{92,6}	lg Z ₄₃	lg Z _{20,3}	lg Z ₁₀	lg Z _{4,89}	1	2
1 162	0	0	0	0	1	2	5	5	6	0	0
	1	0	0	1	1	3	4	5	6	0	0
	2	0	0	1	2	2	3	4	5	0	0
2 246	0	0	0	1	4	2	3	5	5	0	0
	1	0	0	0	1	1	3	4	4	0	0
	2	0	0	0	1	2	4	3	5	0	0
3 117	0	0	1	1	3	3	4	5	6	0	0
	1	0	1	0	1	2	4	5	5	0	0
	2	0	1	1	2	3	4	5	6	0	0
4 144	0	0	0	1	4	3	4	5	5	0	0
	1	0	0	1	4	3	4	5	5	0	0
	2	0	0	1	4	4	4	5	4	0	0
5 211	0	0	0	1	2	2	2	3	3	0	0
	1	0	0	0	1	2	3	3	4	0	0
	2	0	0	0	1	2	3	3	4	0	0

Nr. Prüfer:in Kürzel	Nr. Wdh.	Intensitätsbewertung für die dargebotenen Verdünnungsstufen								Null- lüfte	
		0	1	2	3	4	5	6	7		
6 118	0	0	0	1	2	3	4	5	5	0	0
	1	0	0	0	1	3	4	5	5	0	0
	2	0	3	1	2	4	5	6	6	0	0
7 250	0	0	0	1	3	2	3	5	5	0	0
	1	0	0	1	1	3	3	4	4	0	0
	2	0	0	1	1	3	4	5	6	0	0
8 030	0	0	0	0	2	1	3	5	5	0	0
	1	0	1	0	1	2	3	3	5	0	0
	2	0	0	1	1	2	3	4	5	0	0
9 146	0	0	1	0	2	1	4	4	5	0	0
	1	0	1	0	1	2	3	4	4	0	0
	2	0	0	0	1	2	3	4	3	0	0
10 015	0	1	0	2	3	3	3	5	5	0	0
	1	0	0	0	2	3	3	5	5	0	0
	2	0	0	1	2	2	3	4	5	0	0
11 249	0	0	0	0	0	2	3	3	4	0	0
	1	0	0	0	1	1	2	3	4	0	0
	2	0	0	0	1	1	2	3	4	0	0
12 312	0	0	0	1	1	2	3	4	4	0	0
	1	1	0	1	1	3	3	4	3	0	0
	2	0	1	1	2	2	3	4	4	0	0

Aus den Einzelbewertungen der eingesetzten Prüfer:innen ergibt sich durch die Datenaufbereitung entsprechend Kapitel 2.2.3 und Anhang B.6 die Häufigkeit der Intensitätsüberschreitung bezüglich der zugehörigen logarithmierten Verdünnungszahlen wie in Tabelle 66 dargestellt.

Tabelle 66: Benzaldehyd – Zuordnung der Häufigkeiten der Intensitätsüberschreitungen zu den vorgegebenen Logarithmen der Verdünnungszahlen.

log Z / Häufigkeit	2,91	2,59	2,27	1,97	1,63	1,31	1,00	0,69
$H(I>0)$	0,06	0,22	0,56	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00
$H(I>1)$	0,00	0,03	0,03	0,47	0,86	1,00	1,00	1,00
$H(I>2)$	0,00	0,03	0,00	0,19	0,39	0,92	1,00	1,00
$H(I>3)$	0,00	0,00	0,00	0,11	0,06	0,39	0,78	0,92
$H(I>4)$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,47	0,61
$H(I>5)$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,17

Durch Auftragung der Intensitätshäufigkeiten über die logarithmierten Verdünnungszahlen ergeben sich für $H(I>0)$ bis $H(I>4)$ fünf einzelne Diagramme, aus denen sich die 16-, 50- und 84-Perzentile $\hat{Z}_{16}$, $\hat{Z}_{50}$ und $\hat{Z}_{84}$ graphisch ableiten lassen (siehe Tabelle 67).

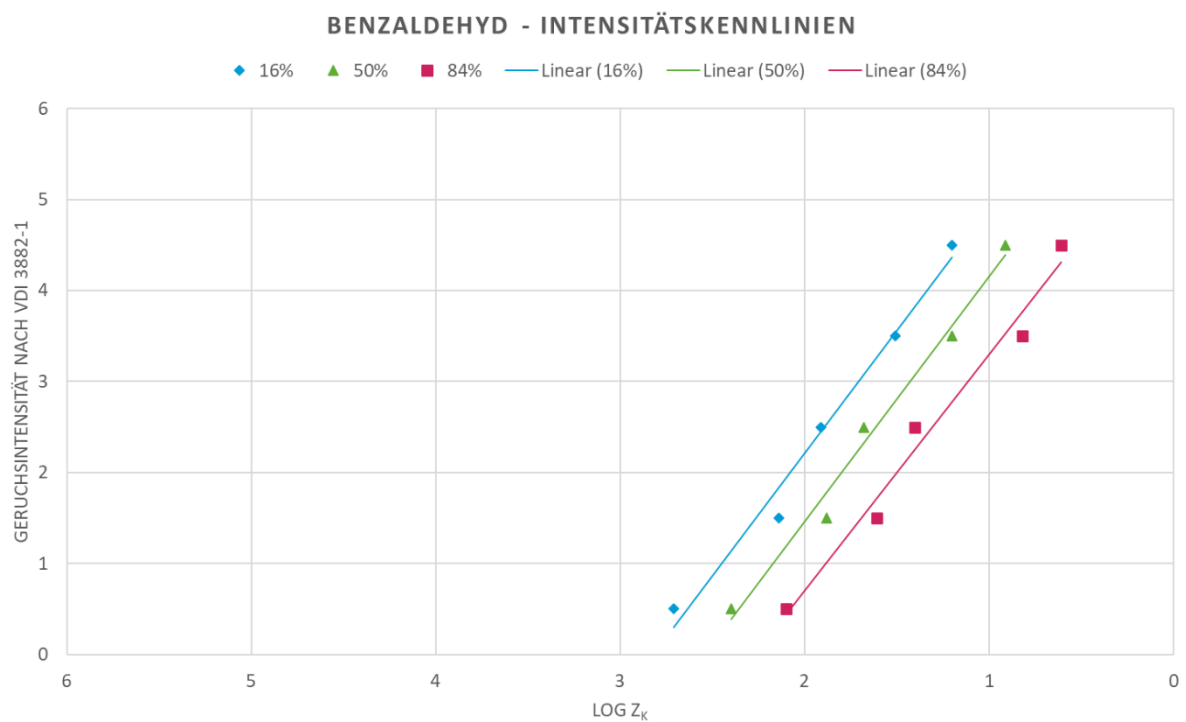
Tabelle 67: Benzaldehyd – Kenngrößen der Intensitätsstufen I_s .

Graphisch ermittelt aus der Auftragung der Häufigkeiten der Intensitätsüberschreitung über die logarithmierten Verdünnungsstufen.

I_s	$I = I_s + 0,5$	$\log Z_{16}$	$\log Z_{50}$	$\log Z_{84}$
0	0,5	2,71	2,40	2,10
1	1,5	2,14	1,88	1,61
2	2,5	1,91	1,68	1,40
3	3,5	1,51	1,20	0,82
4	4,5	1,20	0,91	0,61

Durch Auftragung der Daten aus Tabelle 67 ergibt sich die folgende Abbildung 75.

Abbildung 75: Benzaldehyd– Intensitätskennlinien für $\hat{Z}_{16}$, $\hat{Z}_{50}$ und $\hat{Z}_{84}$ nach VDI 3882-1.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Die Parameter, die sich für diese Kennlinien ergeben sind in der folgenden Tabelle 68 zusammengestellt.

Tabelle 68: Benzaldehyd – Parameter der Geradengleichungen der 16., 50. und 84. Perzentile nach VDI 3882-1.

Angabe der Korrelationskoeffizienten R, der Bestimmtheitsmaße R² sowie der Steigung b und des Achsenabschnittes a

Parameter	Formelzeichen	16 %	50 %	84 %
Korrelationskoeffizient	R	-0,991	-0,992	-0,989
Bestimmtheitsmaß	R ²	0,983	0,985	0,978
Steigung	b	-2,69	-2,69	-2,60
Achsenabschnitt	a	7,60	6,84	5,90

Aus dieser Darstellung lässt sich der Weber-Fechner-Koeffizient mit $k_w = 2,69$ ableiten, sodass sich gemäß Formel (10) in Anhang B.6 der folgende Zusammenhang für Benzaldehyd ergibt:

$$I = 2,69 \cdot \log\left(\frac{c_R}{c_{GS}}\right) \quad (12)$$

mit:

I Intensität

k_w Weber-Fechner-Koeffizient

c_R Substanzkonzentration in der Riechprobe

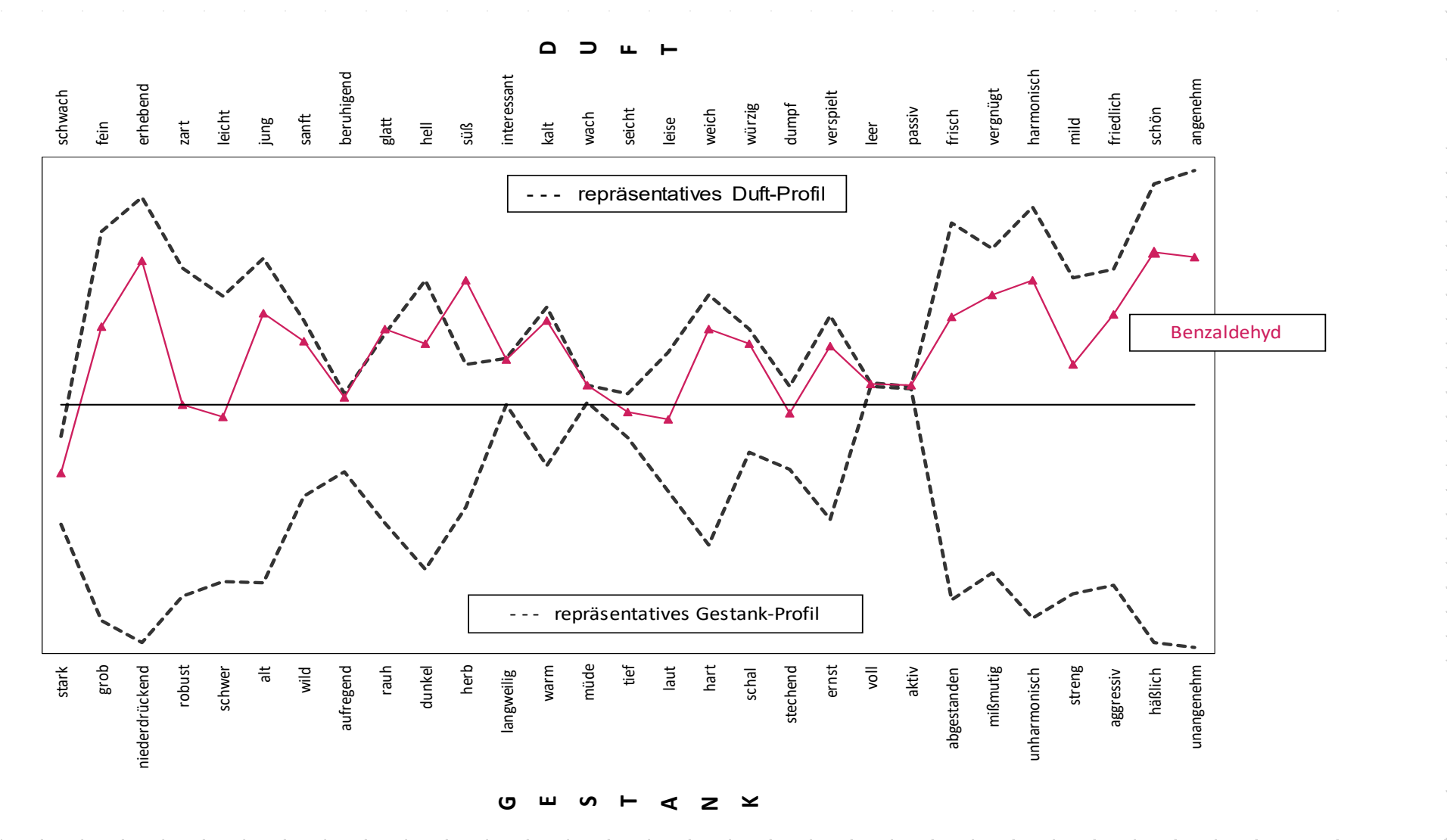
c_{GS} Substanzkonzentration an der Geruchsschwelle

D.2.7 Polaritätenprofil

Das Polaritätenprofil von Benzaldehyd ist in Abbildung 76 zusammen mit repräsentativen Profilen für Duft und Gestank entsprechend VDI 3940 Blatt 4 [4] dargestellt.

Der Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient nach Pearson für das Konzept Duft ergibt sich zu +0,77. Für die Korrelation mit dem Konzept Gestank ergibt sich ein Wert von -0,54. Benzaldehyd ist damit eher einem Duft als einem Gestank zuzuordnen.

Abbildung 76: Polaritätenprofil für Benzaldehyd (N=12), Duft und Gestank.

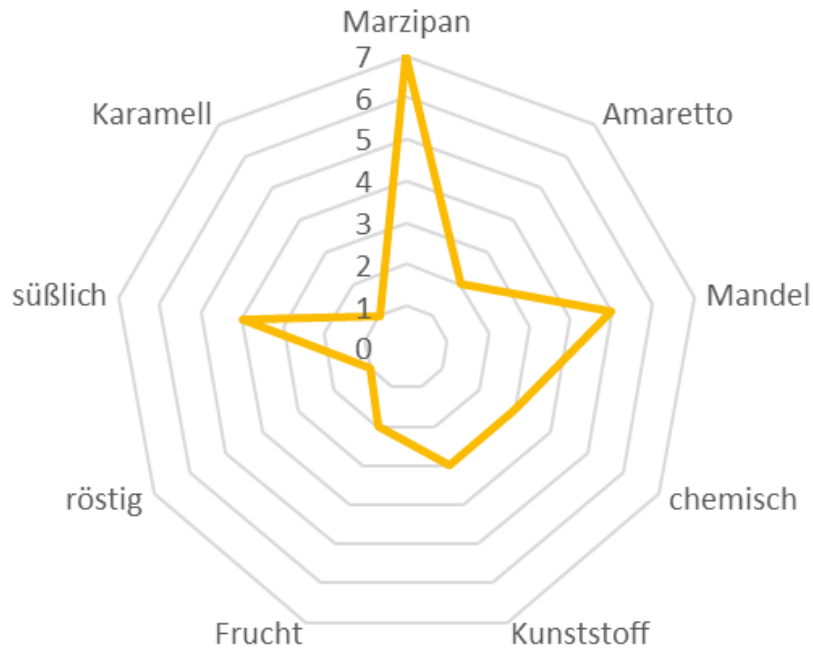


Quelle: eigene Darstellung auf Basis der VDI 3940-4, Olfasense GmbH

D.2.8 Geruchscharakter

Für die Bestimmung des Geruchscharakters wurden die Prüfer:innen gebeten alle beschreibenden Worte anzugeben, die Ihnen für den wahrgenommenen Geruch einfielen. Eine Zusammenfassung dieser Angaben findet sich in der folgenden Abbildung 77 in Form eines Spinnennetz-Diagramms.

Abbildung 77: Übersicht Geruchscharaktere für Benzaldehyd (N=12) mit Angabe der Häufigkeit an Nennungen von 0-7).



D.3 Ethylacetat

D.3.1 Probenaufbereitung

Für Ethylacetat (CAS. Nr. 141-78-6) ist sind AGW von 730 mg/m³ bzw. ein Richtwert II von 6,0 mg/m³ vorhanden [104]. Die Probenaufbereitung wurde entsprechend der folgenden Parameter durchgeführt:

Beutelvolumen:	10 L
Verdampfungstemperatur LiGaVa:	90°C
Substanzmenge injiziert:	80 µL
Durchflussrate nach Injektion:	1 L/min
Reinheit Substanz:	99,70%
Dichte Substanz:	0,902 g/cm ³

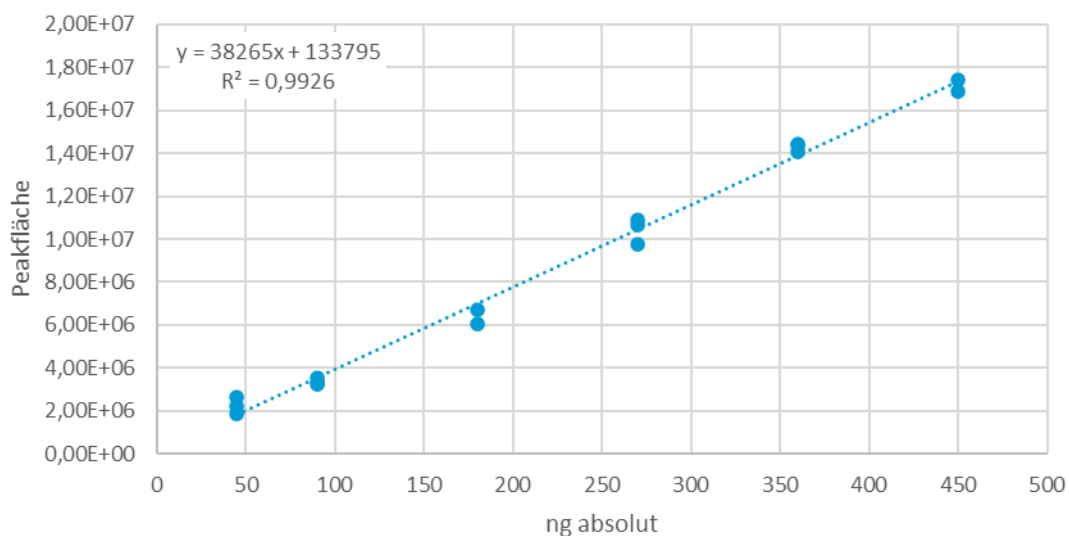
Resultierende rechnerische Konzentration im Mutterbeutel: 7194,35 mg/m³

Die Berechnung der Substanzkonzentration wurde entsprechend der Formeln (4) und (5) aus Anhang B.1 vorgenommen. Insgesamt wurden für jedes Team ein 10 L-Mutterbeutel mit dem beschriebenen Vorgehen vorkonditioniert und vor Beginn jeder Messung frisch befüllt.

D.3.2 Analytische Konzentrationsbestimmung von Ethylacetat

Für die Bestimmung der Konzentration des Ethylacetats wurde eine substanzspezifische 5-Punkt-Kalibrierung jeweils mit Triplikaten erstellt. Nach Bereinigung der Ausreißer ergibt sich folgende Kalibrierkurve (Abbildung 78) für die GC-MS-Messung und die Quantifizierung des Ethylacetats.

Abbildung 78: GC-MS-Kalibrierung Ethylacetat
(6-Punkt-Kalibrierung in Triplikaten abzüglich Ausreißer).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Aufgrund der verhältnismäßig hohen Konzentrationen im Mutterbeutel war eine Analyse dieser Konzentrationen nicht möglich. Eine vorherige Verdünnung in einen weiteren Probenbeutel hätte nicht abschätzbare Wandeffekte beinhaltet, sodass auch diese Analytik nicht durchgeführt wurde. Da zur Bestimmung der Geruchsschwellen vornehmlich die Konzentrationen am Nasentrichter relevant sind, wurden lediglich Messungen direkt am Trichter bei einer definierten Verdünnung von 1:1742 vorgenommen.

Die Ergebnisse aus den GC-MS-Messungen im Vergleich zu rechnerischen Daten stellen sich wie folgt dar:

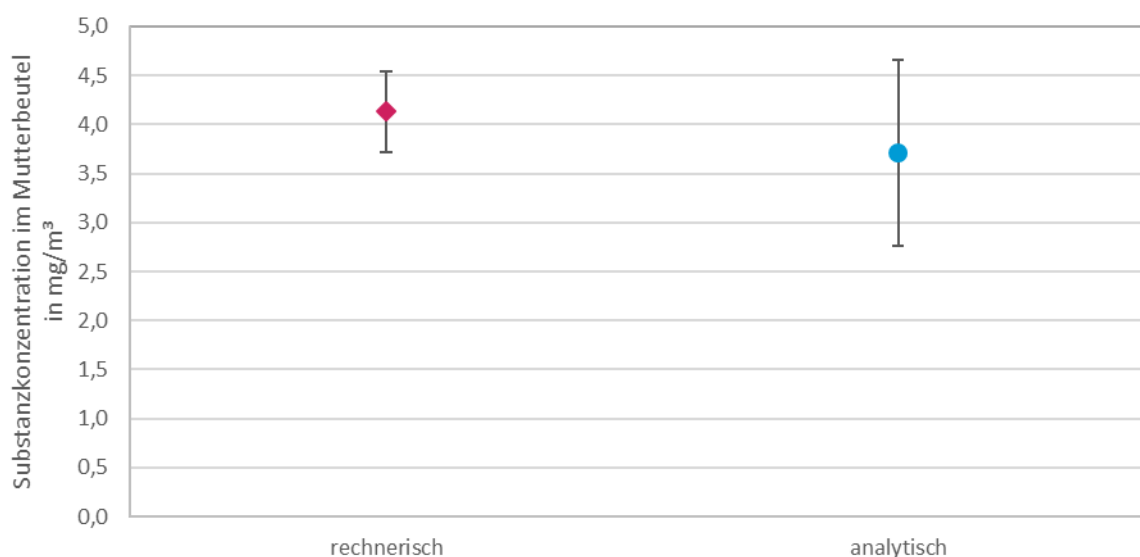
Tabelle 69: Analytische Konzentrationsbestimmung Ethylacetat.

Gegenüberstellung der rechnerischen und analytischen Konzentrationen am Trichter (T) bei einer Verdünnung von 1:1742.

MB rechnerisch / analytisch in mg/m ³	T rechnerisch / analytisch in mg/m ³	Wiederfindungsrate rechnerisch / analytisch in %
7194,35 / 6459,70	4,13 / 3,71	T: 89,79

Mit einer Wiederfindung von knapp 90 % zwischen dem rechnerischen und analytischen Wert am Trichter lässt sich rückschließen, dass für Ethylacetat nur geringe Wandeffekte sowohl im Nalophan®-Beutel, als auch im Olfaktometer auftreten. Basierend auf Erfahrungen aus dem vorangegangenen Projekt des UBA mit dem Titel „Bestimmung von Geruchswahrnehmungsschwellen für Innenraumschadstoffen“ [87] sind diese analytischen Ergebnisse für Ethylacetat als plausibel anzusehen, was auch durch die sich überschneidenden Unsicherheitsbudgets bestätigt wird (vgl. Abbildung 79).

Abbildung 79: Vergleich rechnerischer und analytischer Konzentration am Trichter bei einer Verdünnung von 1:1742 (Ethylacetat).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Insgesamt weisen die analytisch ermittelten Konzentrationen eine Standardabweichung von 12,3 % auf. Diese Schwankung begründet sich insbesondere durch die Aufbereitung im LiGaVa, für die ein Unsicherheitsbudget von 10 % als normaler Wert angenommen wird (vgl. Anhang B.2).

D.3.3 Auswahl des Prüfer:innen-Kollektivs

Die Überprüfung zur Erfüllung der in der DIN EN13725 festgelegten Anforderungen zur Bewertung von n-Butanol wurde vor der Probenbewertung durchgeführt. Individuelle Ergebnisse der einzelnen Prüfer:innen sind in Tabelle 70 dargestellt.

Tabelle 70: Prüfer:innen-Überprüfung nach DIN EN 13725 (Ethylacetat).

Anforderungen für die Bewertung von n-Butanol $20 \leq 10^{\overline{y}_{ITE}} \leq 80$ und $10^{s_{ITE}} \leq 2,3$

Team	Prüfer:innen	Individuelle Empfindlichkeit $10^{\overline{y}_{ITE}}$ in ppb	Individuelle maximale Streuung / Standardabweichung $10^{s_{ITE}}$ in ppb	Kriterium Empfindlichkeit erfüllt	Kriterium Standardabweichung erfüllt
A	144	35,586	1,686	✓	✓
A	337	51,021	1,721	✓	✓
A	015	39,986	1,494	✓	✓
A	118	51,546	1,510	✓	✓
B	211	44,374	1,342	✓	✓
B	161	69,877	1,314	✓	✓
B	308	51,217	1,559	✓	✓
B	904	28,788	1,364	✓	✓
C	102	44,506	1,389	✓	✓
C	249	51,033	1,508	✓	✓
C	146	52,852	1,422	✓	✓
C	030	41,099	1,653	✓	✓

Die Ergebnisse der drei Teams sind in Tabelle 71 zusammengestellt.

Tabelle 71: Geruchsempfindlichkeit der Teams auf n-Butanol nach DIN EN 13725 (Ethylacetat).

Datum	Team	Empfindlichkeit in ppb	Präzision $r \leq 0,477$	Genauigkeit $A \leq 0,217$	Messleiter:in	Prüfer:in 1	Prüfer:in 2	Prüfer:in 3	Prüfer:in 4
10.06.2022	A	41,34	0,3353	0,0943	PEC	144	337	015	118
13.06.2022	B	54,13	0,3402	0,1005	EWM	211	161	308	904
14.06.2022	C	50,85	0,3384	0,0992	PEC	102	249	146	030

Sowohl alle Prüfer:innen, als auch das gesamte Team, erfüllen damit die Anforderungen nach DIN EN 13725 und wurden folglich zur Ermittlung von Geruchsstoffkonzentrationen für ausgewählte Einzelstoffe eingesetzt.

D.3.4 Geruchsstoffkonzentration

Für die Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration wurden 12 Prüfer:innen eingesetzt, die jeweils 10 gültige Schwellenschätzungen zur Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration abgeben mussten. Diese 10 Schwellenschätzungen wurden auf jeweils drei Messungen aufgeteilt (vgl. Kapitel B.3), sodass sich mit drei Teams insgesamt neun Messungen ergeben. Jede Messung erfüllt die normativen Anforderungen und weist ein $\Delta Z \leq 5$ auf.

Die ermittelten Geruchsstoffkonzentrationen für Ethylacetat sind in der folgenden Tabelle 72 zusammengestellt. Die mittlere Geruchsstoffkonzentration liegt bei $1565 \text{ GE}_E/\text{m}^3$.

Tabelle 72: Geruchsstoffkonzentration nach DIN EN 13725 – Ethylacetat.

Einzeldaten für alle Prüfer:innen je Durchgang, aufgeteilt auf jeweils drei Messungen unter Angabe des geometrischen Gesamtmittelwertes und des oberen und unteren Wertes in Abhängigkeit des 95 % Konfidenzintervalls. Anzahl Prüfer:innen = 12 mit einem Durchschnittsalter von 45,8 Jahren

Prüfer:innen Kürzel / Durchgang	Geruchsstoffkonzentration in GE_E/m^3											
	337	015	118	144	211	161	308	904	249	146	030	102
	Team A Messung 1				Team B Messung 1				Team C Messung 1			
1	5142	2512	5142	2512	5142	1188	1188	2512	1188	2512	10519	5142
2	2512	2512	1188	5142	2512	1188	1188	2512	562	2512	5142	2512
3	1188	2512	1188	5142	1188	562	562	1188	1188	1188	2512	5142
	Team A Messung 2				Team B Messung 2				Team C Messung 2			
4	1188	2512	1188	2512	1188	562	562	1188	562	1188	2512	2512
5	1188	5142	1188	5142	1188	562	562	2512	1188	2512	5142	10519
6	562	2512	2512	2512	1188	562	562	1188	1188	2512	2512	5142
7	562	2512	562	2512	1188	562	1188	1188	1188	1188	5142	5142

	Geruchsstoffkonzentration in GE _E /m ³											
	Team A Messung 3				Team B Messung 3				Team C Messung 3			
8	1188	1188	1188	2512	1188	562	1188	1188	1188	1188	2512	2512
9	1188	2512	562	1188	1188	562	562	1188	562	1188	1188	5142
10	1188	2512	562	1188	1188	1188	562	1188	1188	1188	562	2512
Gesamtmittelwert (geometrisch)												1565
95% Konfidenzintervall unterer Wert												1202
95% Konfidenzintervall oberer Wert												2038

D.3.5 Geruchsschwelle

Die Geruchsschwellenkonzentration, die sich aus der ermittelten Geruchsstoffkonzentration (vgl. Anhang D.3.4) und der analytischen Konzentration des Ethylacetats ergibt, ergeben sich damit wie in Tabelle 73 dargestellt.

Tabelle 73: Geruchsstoffkonzentration, Analytik und Geruchsschwelle Ethylacetat.

Darstellung inklusive Berücksichtigung des 95 % Konfidenzintervalls

Geruchsstoffkonz. <i>Obere Grenze</i> Erwartungswert <i>Untere Grenze</i> In GE_E/m³	Rechnerische & Analytische Konzentration am T in mg/m³	Rechnerische & Analytische Konzentration rückgerechnet auf MB in mg/m³	Geruchsschwelle (rechn.) <i>Untere Grenze</i> Erwartungswert <i>obere Grenze</i> in mg/m³	Geruchsschwelle (analyt.) <i>Untere Grenze</i> Erwartungswert <i>obere Grenze</i> in mg/m³
2038	4,13	7194,35	3,53	3,17
1565	3,71	6459,70	4,60	4,13
1202			5,99	5,38

Die rechnerisch ermittelte Geruchsschwelle deckt sich relativ genau mit den von Ueno et al. gefundenen Daten von 4,3 - 4,7 mg/m³ [22], was ebenfalls durch die analytischen Daten bestätigt wird.

D.3.6 Intensitätskennlinie

Die Intensitäten wurden in drei Durchgängen ermittelt. Eine Zusammenstellung der Einzeldaten findet sich in der folgenden Tabelle 74.

Tabelle 74: Ethylacetat – Intensitätsbewertungen.

Zusammenstellung individueller Intensitätsbewertungen in Abhängigkeit der dargebotenen Verdünnungsstufen und unter Angabe der Prüfer:innenkürzel

Nr. Prüfer:in Kürzel	Nr. Wdh.	Intensitätsbewertung für die dargebotenen Verdünnungsstufen								Null- lüfte	
		lg Z ₇₃₀₃	lg Z ₃₆₂₁	lg Z ₁₇₄₂	lg Z ₈₁₀	lg Z ₃₉₀	Lg Z ₁₈₈	lg Z _{92,6}	lg Z ₄₃	1	2
1 337	0	0	1	1	1	3	4	4	5	0	0
	1	1	1	1	1	3	4	4	5	0	0
	2	0	1	1	2	4	4	5	5	0	0
2 015	0	0	2	1	3	4	4	4	5	0	0
	1	0	0	1	1	3	3	5	4	0	0
	2	0	0	1	2	3	3	3	4	0	0
3 118	0	0	0	1	3	2	3	5	6	0	0
	1	1	2	2	2	3	5	4	6	0	0
	2	0	1	1	2	3	4	5	6	0	0
4 144	0	0	1	2	3	3	4	4	5	0	0
	1	1	2	3	4	4	4	5	5	0	0
	2	0	3	3	4	5	3	5	5	0	0
5 211	0	1	0	1	1	2	3	3	5	0	0
	1	0	0	1	1	2	3	3	4	0	0
	2	1	1	1	2	3	3	4	4	0	0
6 161	0	0	1	1	2	3	4	5	5	0	0
	1	0	1	2	2	3	4	4	6	0	0
	2	0	1	0	2	4	4	5	5	0	0
7 308	0	0	0	1	0	2	3	4	3	0	0
	1	0	1	0	0	1	2	3	4	0	0
	2	0	1	0	1	1	2	3	4	0	0
8 904	0	0	0	1	2	3	5	5	6	0	0
	1	0	0	1	2	2	3	4	6	0	0
	2	1	1	0	2	3	3	4	6	0	0
9 249	0	0	1	1	3	2	4	5	5	0	0
	1	0	0	2	1	1	3	4	5	0	0
	2	1	1	0	1	3	3	4	5	0	0
10 146	0	0	1	1	1	2	2	3	4	0	0
	1	0	2	1	1	1	3	4	3	0	0
	2	1	1	0	2	3	3	4	4	0	0
11 030	0	0	0	1	2	3	4	5	6	0	0
	1	0	0	1	2	3	4	5	5	0	0
	2	0	0	1	2	3	4	5	6	0	0

Nr. Prüfer:in Kürzel	Nr. Wdh.	Intensitätsbewertung für die dargebotenen Verdünnungsstufen								Null-lüfte	
12	0	0	0	1	2	4	4	3	4	0	0
102	1	0	1	1	2	3	3	5	5	0	0
	2	0	0	2	2	3	3	3	6	0	0

Aus den Einzelbewertungen der eingesetzten Prüfer:innen ergibt sich durch die Datenaufbereitung entsprechend Kapitel 2.2.3 und Anhang B.6 die Häufigkeit der Intensitätsüberschreitung bezüglich der zugehörigen logarithmierten Verdünnungszahlen wie in Tabelle 75 dargestellt.

Tabelle 75: Ethylacetat – Zuordnung der Häufigkeiten der Intensitätsüberschreitungen zu den vorgegebenen Logarithmen der Verdünnungszahlen.

log Z / Häufigkeit	3,86	3,56	3,24	2,91	2,59	2,27	1,97	1,63
$H(I>0)$	0,22	0,61	0,83	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00
$H(I>1)$	0,00	0,14	0,19	0,67	0,89	1,00	1,00	1,00
$H(I>2)$	0,00	0,03	0,06	0,17	0,69	0,92	1,00	1,00
$H(I>3)$	0,00	0,00	0,00	0,06	0,17	0,47	0,78	0,94
$H(I>4)$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,06	0,39	0,69
$H(I>5)$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28

Durch Auftragung der Intensitätshäufigkeiten über die logarithmierten Verdünnungszahlen ergeben sich für $H(I>0)$ bis $H(I>4)$ fünf einzelne Diagramme, aus denen sich die 16-, 50- und 84-Perzentile $\hat{Z}_{16}$, $\hat{Z}_{50}$ und $\hat{Z}_{84}$ graphisch ableiten lassen (siehe Tabelle 76).

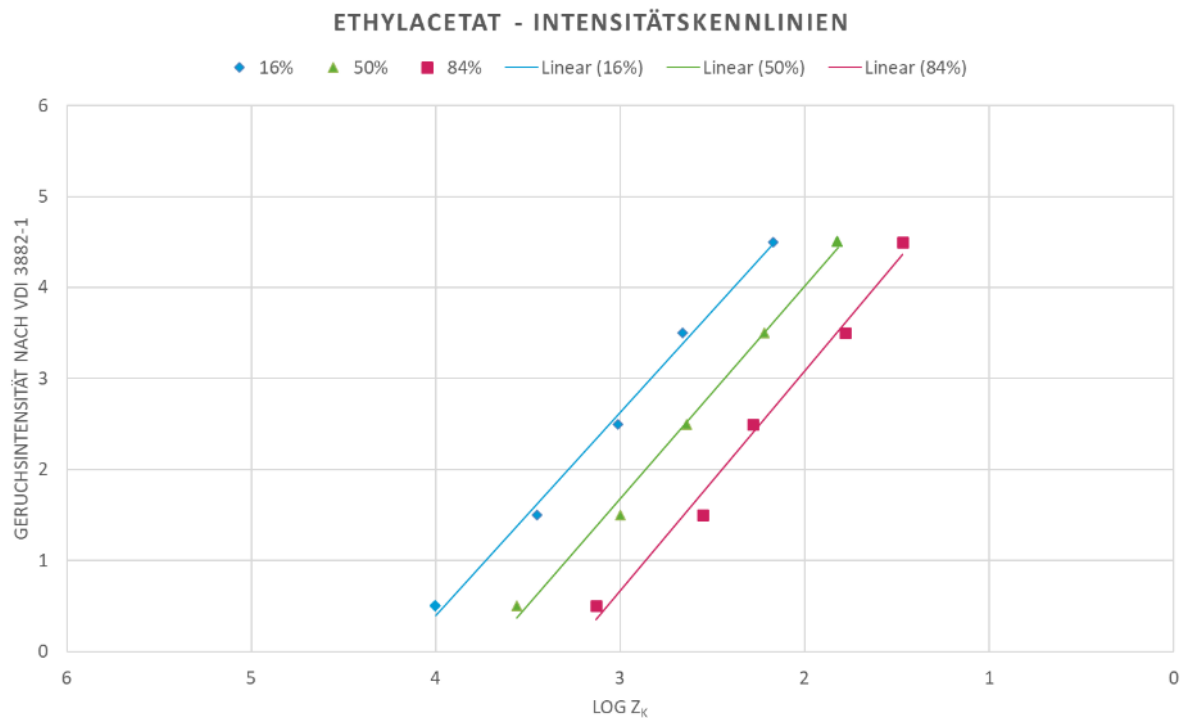
Tabelle 76: Ethylacetat – Kenngrößen der Intensitätsstufen I_s .

Graphisch ermittelt aus der Auftragung der Häufigkeiten der Intensitätsüberschreitung über die logarithmierten Verdünnungsstufen.

I_s	$I = I_s + 0,5$	log Z_{16}	log Z_{50}	log Z_{84}
0	0,5	4,00	3,53	3,11
1	1,5	3,45	3,00	2,55
2	2,5	3,01	2,64	2,28
3	3,5	2,66	2,22	1,78
4	4,5	2,17	1,82	1,47

Durch Auftragung der Daten aus Tabelle 76 ergibt sich die folgende Abbildung 80.

Abbildung 80: Ethylacetat – Intensitätskennlinien für $\hat{Z}_{16}$, $\hat{Z}_{50}$ und $\hat{Z}_{84}$ nach VDI 3882-1.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Die Parameter, die sich für diese Kennlinien ergeben sind in der folgenden Tabelle 77 zusammengestellt.

Tabelle 77: Ethylacetat – Parameter der Geradengleichungen der 16., 50. und 84. Perzentile nach VDI 3882-1.

Angabe der Korrelationskoeffizienten R, der Bestimmtheitsmaße R^2 sowie der Steigung b und des Achsenabschnittes a

Parameter	Formelzeichen	16 %	50 %	84 %
Korrelationskoeffizient	R	-0,997	-0,998	-0,994
Bestimmtheitsmaß	R^2	0,995	0,996	0,989
Steigung	b	-2,24	-2,37	-2,44
Achsenabschnitt	a	9,34	8,77	7,96

Aus dieser Darstellung lässt sich der Weber-Fechner-Koeffizient mit $k_w = 2,37$ ableiten, sodass sich gemäß Formel (10) in Anhang B.6 der folgende Zusammenhang für Ethylacetat ergibt:

$$I = 2,37 \cdot \log\left(\frac{c_R}{c_{GS}}\right) \quad (13)$$

mit:

I Intensität

k_w Weber-Fechner-Koeffizient

c_R Substanzkonzentration in der Riechprobe

c_{GS} Substanzkonzentration an der Geruchsschwelle

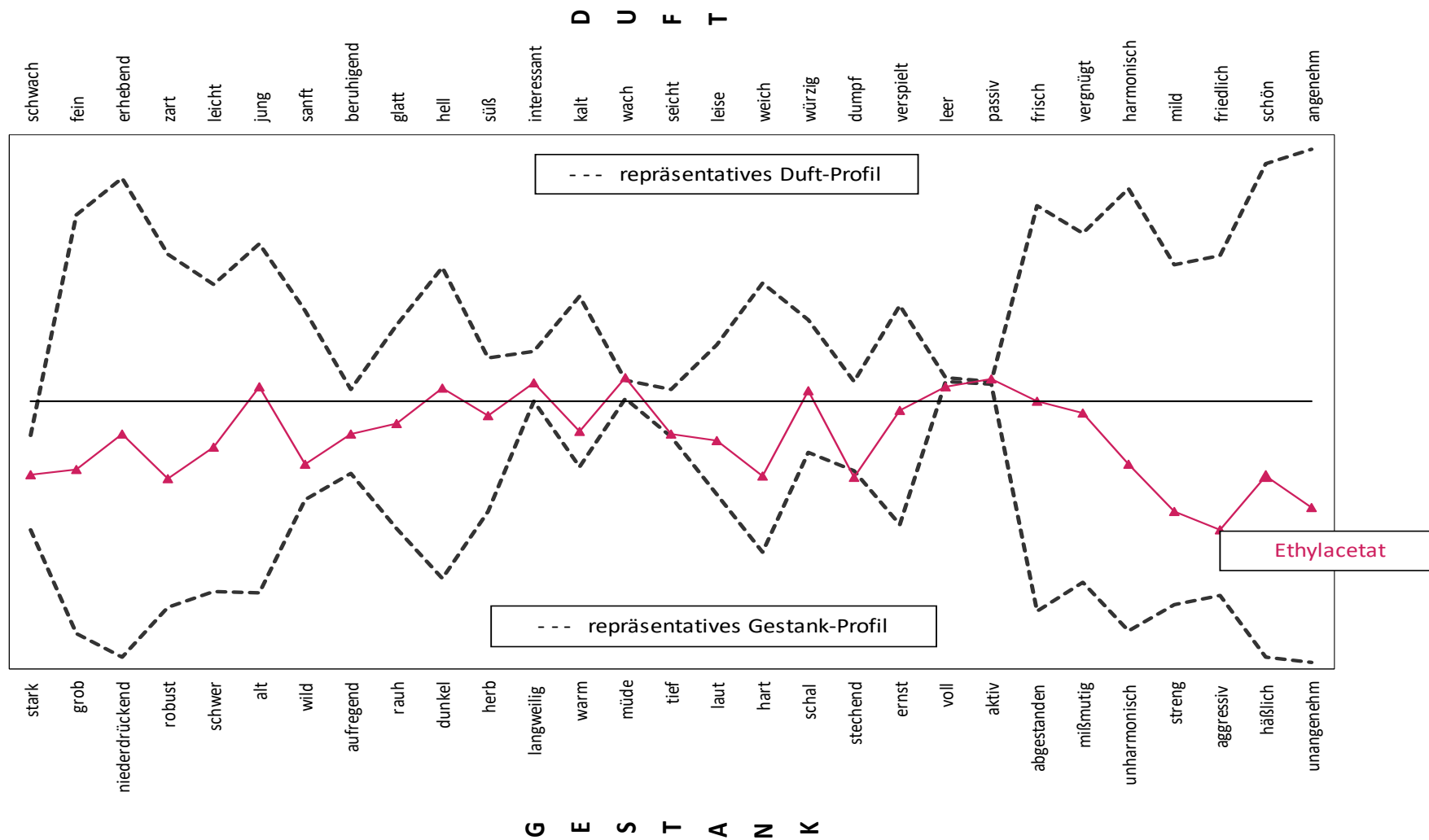
D.3.7 Polaritätenprofil

Das Polaritätenprofil von Ethylacetat ist in Abbildung 81 zusammen mit repräsentativen Profilen für Duft und Gestank entsprechend VDI 3940 Blatt 4 [4] dargestellt.

Der Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient nach Pearson für das Konzept Duft ergibt sich zu -0,34. Für die Korrelation mit dem Konzept Gestank ergibt sich ein Wert von +0,56.

Ethylacetat tendiert damit eher zum Konzept Gestank und ist weniger einem Duft zuzuordnen.

Abbildung 81: Polaritätenprofil für Ethylacetat (N=12), Duft und Gestank.

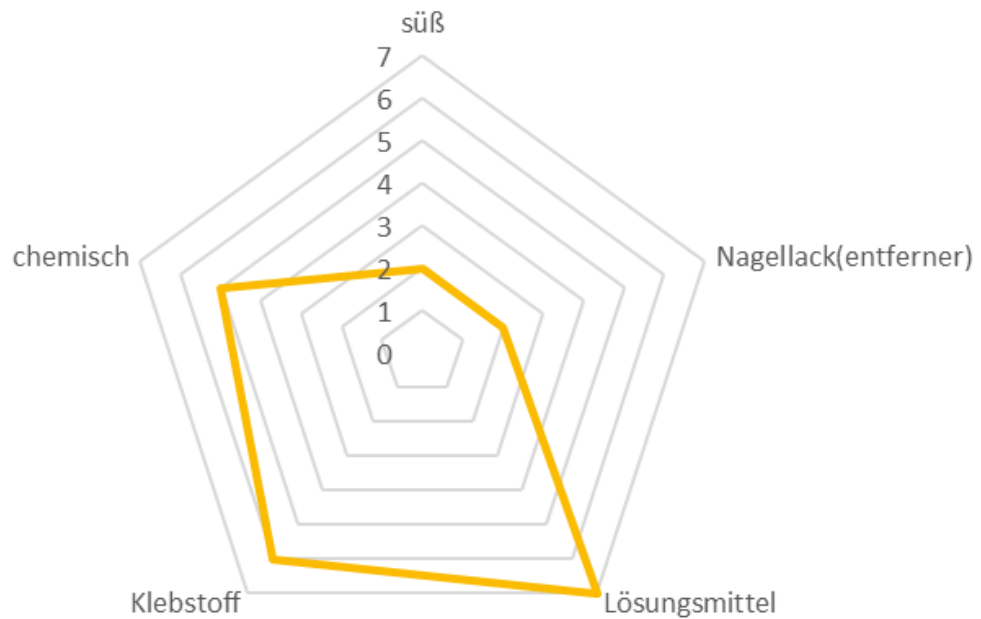


Quelle: eigene Darstellung auf Basis der VDI 3940-4, Olfasense GmbH

D.3.8 Geruchscharakter

Für die Bestimmung des Geruchscharakters wurden die Prüfer:innen gebeten alle beschreibenden Worte anzugeben, die Ihnen für den wahrgenommenen Geruch einfielen. Eine Zusammenfassung dieser Angaben findet sich in der folgenden Abbildung 82 in Form eines Spinnennetz-Diagramms.

Abbildung 82: Übersicht Geruchscharaktere für Ethylacetat (N=12) mit Angabe der Häufigkeit an Nennungen von 0-7.



D.4 2-Butanon

D.4.1 Probenaufbereitung

Für 2-Butanon (CAS. Nr. 78-93-3) ist ein AGW-Wert von 600 mg/m^3 vorhanden [105]. Die Probenaufbereitung wurde entsprechend der folgenden Parameter durchgeführt:

Beutelvolumen:	120 L
Verdampfungstemperatur LiGaVa:	90°C
Substanzmenge injiziert:	540 µL
Durchflussrate nach Injektion:	1 L/min
Reinheit Substanz:	99,7%
Dichte Substanz:	$0,805 \text{ g/cm}^3$

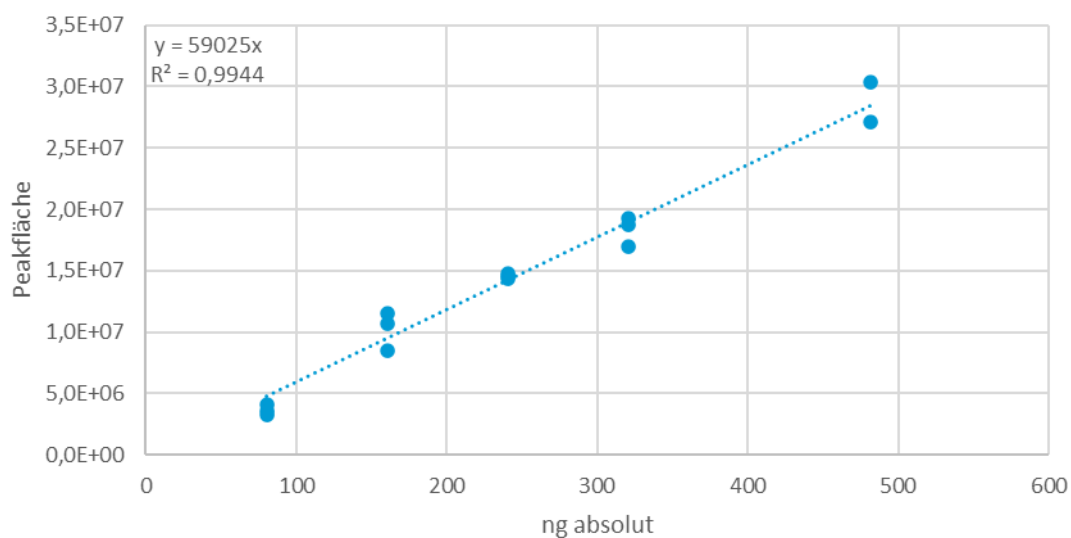
Resultierende rechnerische Konzentration im Mutterbeutel: $3611,63 \text{ mg/m}^3$

Die Berechnung der Substanzkonzentration wurde entsprechend der Formeln (4) und (5) aus Anhang B.1 vorgenommen. Insgesamt wurden für jedes Team ein 120 L-Mutterbeutel mit dem beschriebenen Vorgehen vorkonditioniert und vor Beginn jeder Messung frisch befüllt.

D.4.2 Analytische Konzentrationsbestimmung von 2-Butanon

Für die Bestimmung der Konzentration des 2-Butanons wurde eine substanzspezifische 5-Punkt-Kalibrierung jeweils mit Triplikaten erstellt. Nach Bereinigung der Ausreißer ergibt sich folgende Kalibrierkurve (Abbildung 83) für die GC-MS-Messung und die Quantifizierung des Ethylacetats.

Abbildung 83: GC-MS-Kalibrierung 2-Butanon
(5-Punkt-Kalibrierung in Triplikaten für 2-Butanon abzüglich Ausreißer).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Aufgrund der verhältnismäßig hohen Konzentrationen im Mutterbeutel war eine Analyse dieser Konzentrationen nicht möglich. Eine vorherige Verdünnung in einen weiteren Probenbeutel hätte nicht abschätzbare Wandeffekte beinhaltet, sodass auch diese Analytik nicht durchgeführt wurde. Da zur Bestimmung der Geruchsschwellen vornehmlich die Konzentrationen am Nasentrichter relevant sind, wurden lediglich Messungen direkt am Trichter bei einer definierten Verdünnung von 1:810 vorgenommen.

Die Ergebnisse aus den GC-MS-Messungen im Vergleich zu rechnerischen Daten stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 78: Analytische Konzentrationsbestimmung 2-Butanon.

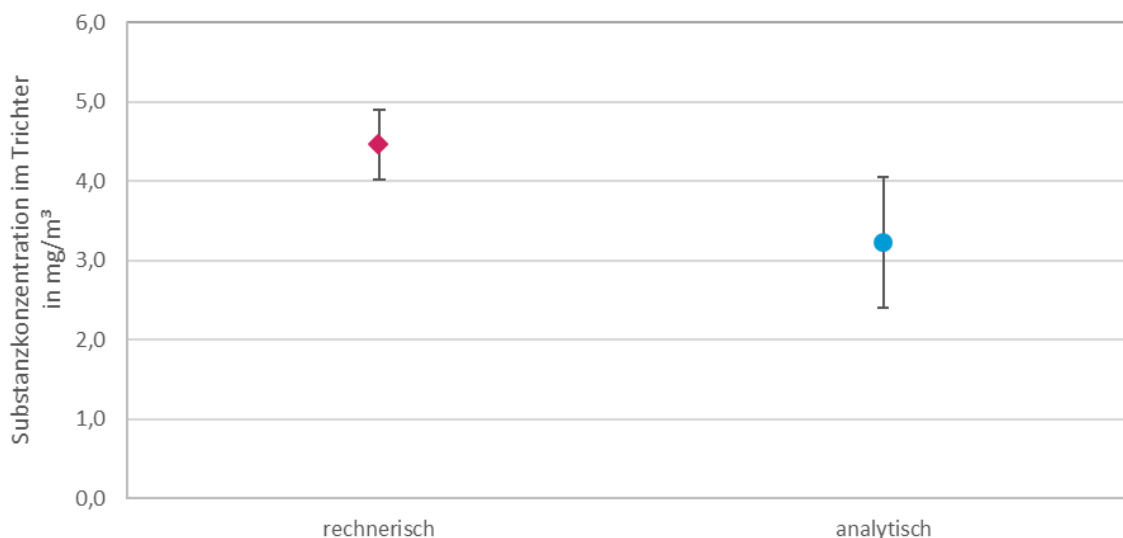
Gegenüberstellung der rechnerischen und analytischen Konzentrationen am Trichter (T) bei einer Verdünnung von 1:1742.

MB rechnerisch in mg/m ³	T rechnerisch / analytisch in mg/m ³	Wiederfindungsrate rechnerisch / analytisch in %
3611,63	4,46 / 3,23	T: 72,5

Wie auch bei den vorangegangenen Substanzen lassen sich für 2-Butanon Verluste zwischen rechnerischen und analytischen Daten feststellen. Insgesamt kann auch für diesen Stoff von entsprechenden Wandeffekten um 20-30 % ausgegangen werden. Für die Bestimmung der Geruchsschwelle von 2-Butanon wird folglich eine Konzentration angenommen, die dem Produkt aus Verdünnung und analytisch bestimmter Konzentration am Trichter entspricht. Diese beträgt 2616,3 mg/m³.

In Anbetracht von Wandeffekten in den Nalophan®-Beuteln und basierend auf Erfahrungen aus dem vorangegangenen Projekt des UBA mit dem Titel „Bestimmung von Geruchswahrnehmungsschwellen für Innenraumschadstoffe“ [87] sind diese analytischen Ergebnisse für 2-Butanon damit als plausibel anzusehen, auch wenn sich die Konzentrationen einschließlich ihrer Unsicherheitsbudgets nicht überschneiden (vgl. Abbildung 84).

Abbildung 84: Vergleich rechnerischer und analytischer Konzentration am Trichter bei einer Verdünnung von 1:810 (2-Butanon).



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Insgesamt weisen die analytisch ermittelten Konzentrationen eine Standardabweichung von 5,8 % auf. Diese Schwankung begründet sich insbesondere durch die Aufbereitung im LiGaVa, für die ein Unsicherheitsbudget von 10 % als normaler Wert angenommen wird (vgl. Anhang B.2).

D.4.3 Auswahl des Prüfer:innen-Kollektivs

Die Überprüfung zur Erfüllung der in der DIN EN13725 festgelegten Anforderungen zur Bewertung von n-Butanol wurde vor der Probenbewertung durchgeführt. Individuelle Ergebnisse der einzelnen Prüfer:innen sind in Tabelle 79 dargestellt.

Tabelle 79: Prüfer:innen-Überprüfung nach DIN EN 13725 (2-Butanon).

Anforderungen für die Bewertung von n-Butanol $20 \leq 10^{\overline{y}_{ITE}} \leq 80$ und $10^{s_{ITE}} \leq 2,3$

Team	Prüfer:innen	Individuelle Empfindlichkeit $10^{\overline{y}_{ITE}}$ in ppb	Individuelle maximale Streuung / Standardabweichung $10^{s_{ITE}}$ in ppb	Kriterium Empfindlichkeit erfüllt	Kriterium Standardabweichung erfüllt
A	249	47,952	1,556	✓	✓
A	904	29,233	1,351	✓	✓
A	290	46,787	1,423	✓	✓
A	030	40,718	1,646	✓	✓
B	211	40,299	1,451	✓	✓
B	102	41,795	1,532	✓	✓
B	312	48,324	1,605	✓	✓
B	144	33,849	1,634	✓	✓
C	313	31,717	1,698	✓	✓
C	015	36,213	1,311	✓	✓
C	117	44,507	1,523	✓	✓
C	047	23,864	1,635	✓	✓

Die Ergebnisse der drei Teams sind in Tabelle 80 zusammengestellt.

Tabelle 80: Geruchsempfindlichkeit der Teams auf n-Butanol nach DIN EN 13725 (2-Butanon).

Datum	Team	Empfindlichkeit in ppb	Präzision $r \leq 0,477$	Genauigkeit $A \leq 0,217$	Messleiter:in	Prüfer:in 1	Prüfer:in 2	Prüfer:in 3	Prüfer:in 4
15.06.2022	A	32,86	0,3484	0,0927	PEC	246	904	290	030
16.06.2022	B	30,87	0,3609	0,0852	BEA	211	102	312	144
20.06.2022	C	29,16	0,3657	0,0847	EWM	313	015	117	047

Sowohl alle Prüfer:innen, als auch das gesamte Team, erfüllen damit die Anforderungen nach DIN EN 13725 und wurden folglich zur Ermittlung von Geruchsstoffkonzentrationen für ausgewählte Einzelstoffe eingesetzt.

D.4.4 Geruchsstoffkonzentration

Für die Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration wurden 12 Prüfer:innen eingesetzt, die jeweils 10 gültige Schwellenschätzungen zur Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration abgeben mussten. Diese 10 Schwellenschätzungen wurden auf jeweils drei Messungen aufgeteilt (vgl. Kapitel B.3), sodass sich mit drei Teams insgesamt neun Messungen ergeben. Jede Messung erfüllt die normativen Anforderungen und weist ein $\Delta Z \leq 5$ auf.

Die ermittelten Geruchsstoffkonzentrationen für 2-Butanon sind in der folgenden Tabelle 81 zusammengestellt. Die mittlere Geruchsstoffkonzentration liegt bei $986 \text{ GE}_E/\text{m}^3$.

Tabelle 81: Geruchsstoffkonzentration nach DIN EN 13725 – 2-Butanon.

Einzeldaten für alle Prüfer:innen je Durchgang, aufgeteilt auf jeweils drei Messungen unter Angabe des geometrischen Gesamtmittelwertes und des oberen und unteren Wertes in Abhängigkeit des 95 % Konfidenzintervalls. Anzahl Prüfer:innen = 12 mit einem Durchschnittsalter von 38,2 Jahren

	Geruchsstoffkonzentration in GE_E/m^3											
Prüfer:innen Kürzel / Durchgang	249	290	030	904	211	102	312	144	313	015	117	047
	Team A Messung 1				Team B Messung 1				Team C Messung 1			
1	562	271	2512	1188	271	2512	562	5142	271	1188	10519	10519
2	562	271	2512	1188	271	2512	562	2512	562	1188	2512	5142
3	562	562	1188	2512	271	1188	132	2512	562	1188	2512	2512
	Team A Messung 2				Team B Messung 2				Team C Messung 2			
4	562	1188	1188	1188	562	2512	1188	2512	562	1188	1188	1188
5	1188	562	2512	1188	562	1188	1188	1188	271	1188	1188	1188
6	562	1188	2512	1188	271	562	271	1188	562	1188	1188	1188
7	1188	1188	1188	1188	271	562	562	1188	562	562	1188	1188
	Team A Messung 3				Team B Messung 3				Team C Messung 3			

	Geruchsstoffkonzentration in GE _E /m ³											
8	271	1188	1188	562	562	1188	1188	2512	562	1188	1188	1188
9	1188	562	1188	1188	271	562	271	1188	562	1188	2512	2512
10	1188	562	1188	1188	271	562	1188	2511	562	1188	2512	2512
Gesamtmittelwert (geometrisch)												986
95% Konfidenzintervall unterer Wert												757
95% Konfidenzintervall oberer Wert												1285

D.4.5 Geruchsschwelle

Die Geruchsschwellenkonzentration, die sich aus der ermittelten Geruchsstoffkonzentration (vgl. Anhang D.3.4) und der analytischen Konzentration des 2-Butanons ergibt, ergeben sich damit wie in Tabelle 82 dargestellt.

Tabelle 82: Geruchsstoffkonzentration, Analytik und Geruchsschwelle 2-Butanon.

Darstellung inklusive Berücksichtigung des 95 % Konfidenzintervalls

Geruchsstoffkonz. <i>Obere Grenze</i> Erwartungswert <i>Untere Grenze</i> In GE _E /m ³	Rechnerische & Analytische Konzentration am T (1:810) in mg/m ³	Rechnerische & Analytische Konzentration rückgerechnet auf MB in mg/m ³	Geruchsschwelle (rechn.) <i>Untere Grenze</i> Erwartungswert <i>obere Grenze</i> in mg/m ³	Geruchsschwelle (analyt.) <i>Untere Grenze</i> Erwartungswert <i>obere Grenze</i> in mg/m ³
1285	4,46	3611,63	2,81	2,04
986	3,23	2616,30	3,66	2,65
757			4,77	3,45

D.4.6 Intensitätskennlinie

Die Intensitäten wurden in drei Durchgängen ermittelt. Eine Zusammenstellung der Einzeldaten findet sich in der folgenden Tabelle 83.

Tabelle 83: 2-Butanon – Intensitätsbewertungen.

Zusammenstellung individueller Intensitätsbewertungen in Abhängigkeit der dargebotenen Verdünnungsstufen und unter Angabe der Prüfer:innenkürzel

Nr. Prüfer:in Kürzel	Nr. Wdh .	Intensitätsbewertung für die dargebotenen Verdünnungsstufen								Null- lüfte	
		lg Z ₃₆₂₁	lg Z ₁₇₄₂	lg Z ₈₁₀	lg Z ₃₉₀	lg Z ₁₈₈	lg Z _{92,6}	lg Z ₄₃	lg Z _{20,3}	1	2
1 249	0	0	1	1	2	3	4	4	4	0	0
	1	0	0	0	1	3	3	4	4	0	0
	2	0	0	0	1	2	3	3	4	0	0
2 290	0	1	0	0	1	2	4	5	6	0	0
	1	2	0	1	3	3	3	4	6	0	0
	2	0	0	1	3	2	3	4	6	0	0
3 030	0	0	0	1	4	3	4	5	5	0	0
	1	0	1	1	2	2	3	4	5	0	0
	2	0	1	1	2	2	3	4	5	0	0
4 904	0	0	0	1	2	2	4	5	6	0	0
	1	1	0	0	2	2	4	4	5	0	0
	2	0	1	0	2	2	3	4	6	0	0
5 211	0	0	0	0	1	2	3	4	4	0	0
	1	0	0	0	1	1	3	3	4	0	0
	2	0	0	1	1	1	2	4	4	0	0
6 102	0	0	1	1	2	3	4	6	5	0	0
	1	0	1	1	2	3	3	4	6	0	0
	2	0	0	1	2	3	3	5	4	0	0
7 312	0	1	1	3	2	3	3	4	6	0	0
	1	0	2	2	1	2	4	5	5	0	0
	2	0	1	1	2	3	4	5	5	0	0
8 144	0	2	3	3	4	4	4	5	5	0	0
	1	2	1	3	4	4	4	4	5	0	0
	2	0	2	3	4	4	4	4	5	0	0
9 313	0	0	0	0	1	2	4	4	6	0	0
	1	0	0	0	1	2	3	4	5	0	0
	2	0	0	0	0	3	3	4	5	0	0
10 015	0	1	1	2	2	4	5	5	5	0	0
	1	0	1	1	1	2	3	5	5	0	0
	2	0	1	2	3	2	3	5	4	0	0
11 117	0	0	1	1	4	3	5	6	6	0	0
	1	0	0	3	2	3	5	5	6	0	0
	2	0	0	1	2	3	4	4	6	0	0
12 047	0	0	1	2	3	5	5	6	6	0	0
	1	2	2	4	3	4	4	5	6	0	0
	2	1	1	2	3	5	5	6	6	0	0

Aus den Einzelbewertungen der eingesetzten Prüfer:innen ergibt sich durch die Datenaufbereitung entsprechend Kapitel 2.2.3 und Anhang B.6 die Häufigkeit der Intensitätsüberschreitung bezüglich der zugehörigen logarithmierten Verdünnungszahlen wie in Tabelle 84 dargestellt.

Tabelle 84: 2-Butanon – Zuordnung der Häufigkeiten der Intensitätsüberschreitungen zu den vorgegebenen Logarithmen der Verdünnungszahlen.

log Z / Häufigkeit	3,86	3,56	3,24	2,91	2,59	2,27	1,97	1,63
$H(I>0)$	0,25	0,53	0,72	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00
$H(I>1)$	0,11	0,11	0,31	0,69	0,94	1,00	1,00	1,00
$H(I>2)$	0,00	0,03	0,17	0,31	0,56	0,97	1,00	1,00
$H(I>3)$	0,00	0,00	0,03	0,14	0,19	0,53	0,94	1,00
$H(I>4)$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,14	0,44	0,78
$H(I>5)$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,39

Durch Auftragung der Intensitätshäufigkeiten über die logarithmierten Verdünnungszahlen ergeben sich für $H(I>0)$ bis $H(I>4)$ fünf einzelne Diagramme, aus denen sich die 16-, 50- und 84-Perzentile $\hat{Z}_{16}$, $\hat{Z}_{50}$ und $\hat{Z}_{84}$ graphisch ableiten lassen (siehe Tabelle 85).

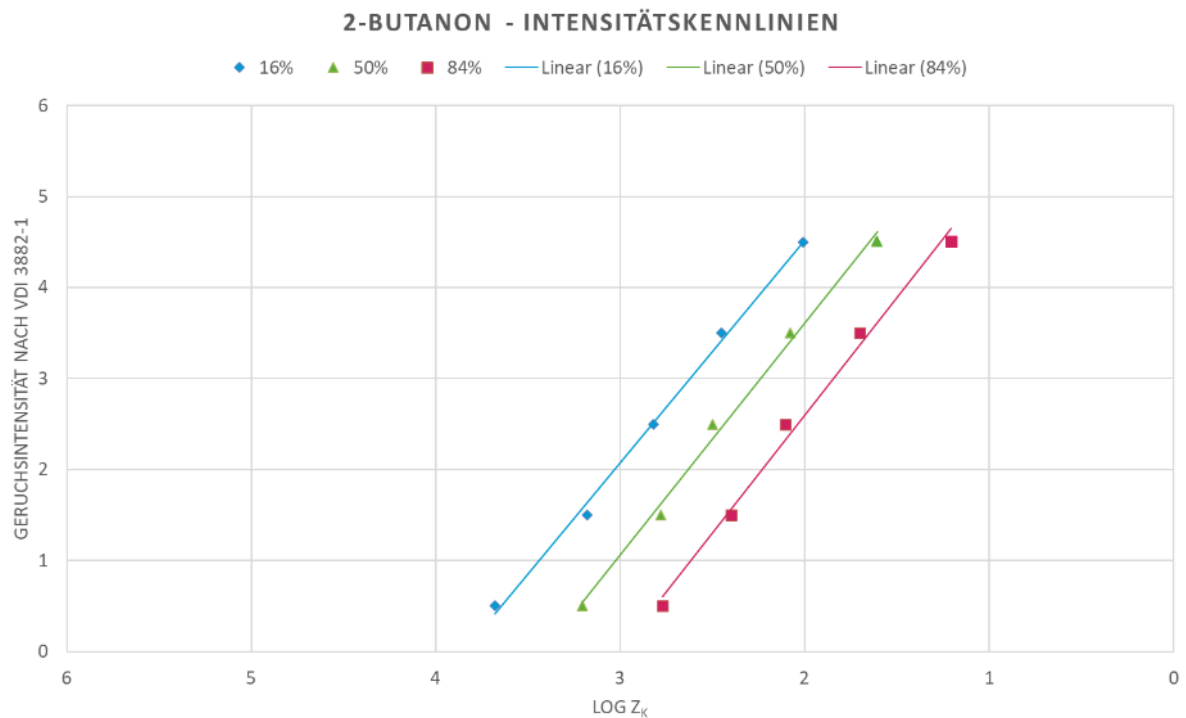
Tabelle 85: 2-Butanon – Kenngrößen der Intensitätsstufen I_s .

Graphisch ermittelt aus der Auftragung der Häufigkeiten der Intensitätsüberschreitung über die logarithmierten Verdünnungsstufen.

I_s	$I = I_s + 0,5$	log Z_{16}	log Z_{50}	log Z_{84}
0	0,5	3,68	3,21	2,77
1	1,5	3,18	2,78	2,40
2	2,5	2,82	2,50	2,11
3	3,5	2,45	2,08	1,70
4	4,5	2,01	1,61	1,21

Durch Auftragung der Daten aus Tabelle 85 ergibt sich die folgende Abbildung 85.

Abbildung 85: 2-Butanon – Intensitätskennlinien für $\hat{Z}_{16}$, $\hat{Z}_{50}$ und $\hat{Z}_{84}$ nach VDI 3882-1.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Die Parameter, die sich für diese Kennlinien ergeben sind in der folgenden Tabelle 86 zusammengestellt.

Tabelle 86: 2-Butanon – Parameter der Geradengleichungen der 16., 50. und 84. Perzentile nach VDI 3882-1.

Angabe der Korrelationskoeffizienten R , der Bestimmtheitsmaße R^2 sowie der Steigung b und des Achsenabschnittes a

Parameter	Formelzeichen	16 %	50 %	84 %
Korrelationskoeffizient	R	-0,998	-0,997	-0,996
Bestimmtheitsmaß	R^2	0,997	0,993	0,991
Steigung	b	-2,45	-2,55	-2,59
Achsenabschnitt	a	9,43	8,70	7,77

Aus dieser Darstellung lässt sich der Weber-Fechner-Koeffizient mit $k_w = 2,55$ ableiten, sodass sich gemäß Formel (10) in Anhang B.6 der folgende Zusammenhang für 2-Butanon ergibt:

$$I = 2,55 \cdot \log\left(\frac{c_R}{c_{GS}}\right) \quad (14)$$

mit:

I Intensität

k_w Weber-Fechner-Koeffizient

c_R Substanzkonzentration in der Riechprobe

c_{GS} Substanzkonzentration an der Geruchsschwelle

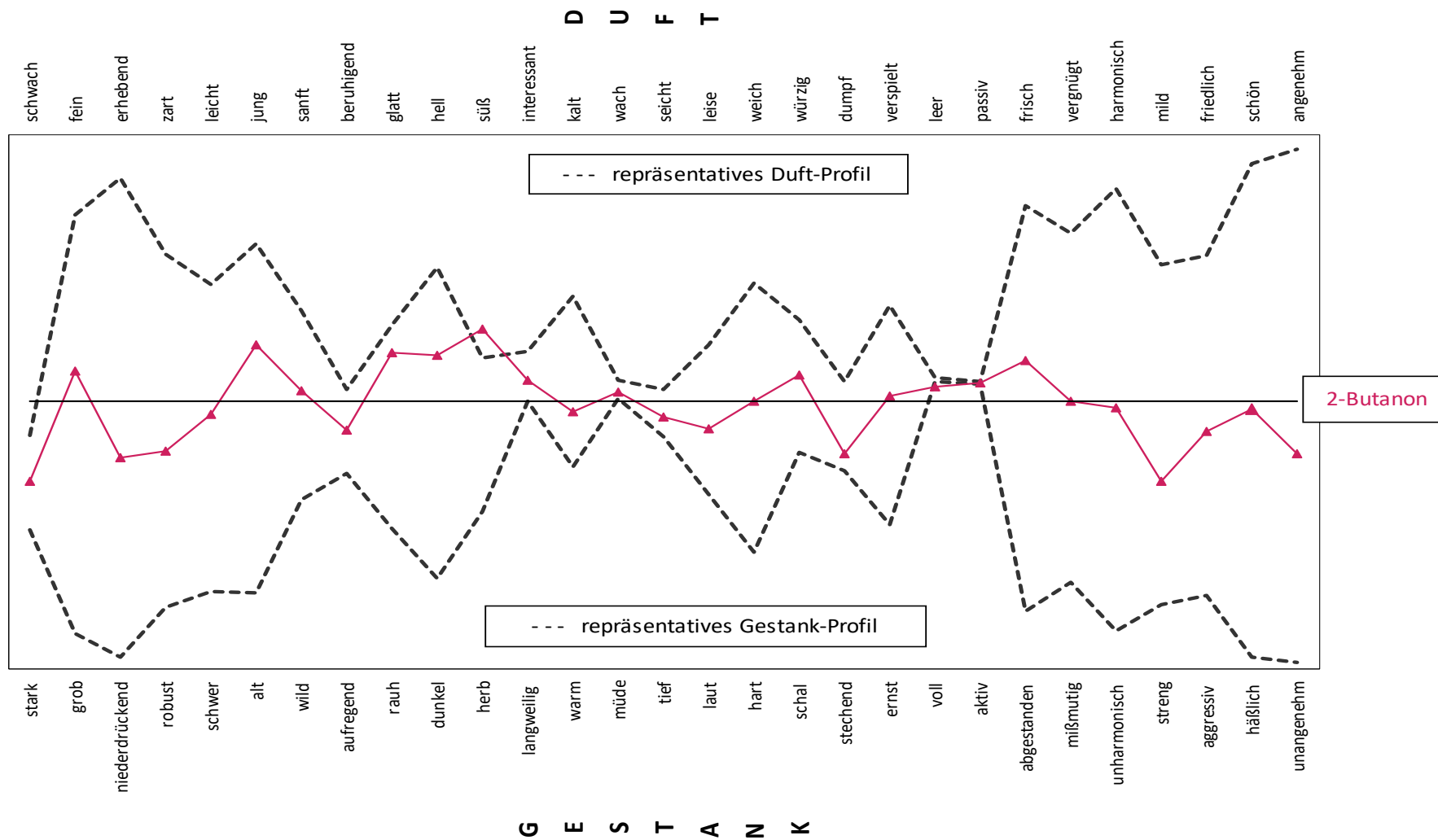
D.4.7 Polaritätenprofil

Das Polaritätenprofil von 2-Butanon ist in Abbildung 86 zusammen mit repräsentativen Profilen für Duft und Gestank entsprechend VDI 3940 Blatt 4 [4] dargestellt.

Der Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient nach Pearson für das Konzept Duft ergibt sich zu -0,02. Für die Korrelation mit dem Konzept Gestank ergibt sich ein Wert von +0,21.

2-Butanon ist damit weder einem Gestank, noch einem Duft zuzuordnen.

Abbildung 86: Polaritätenprofil für 2-Butanon (N=12), Duft und Gestank.

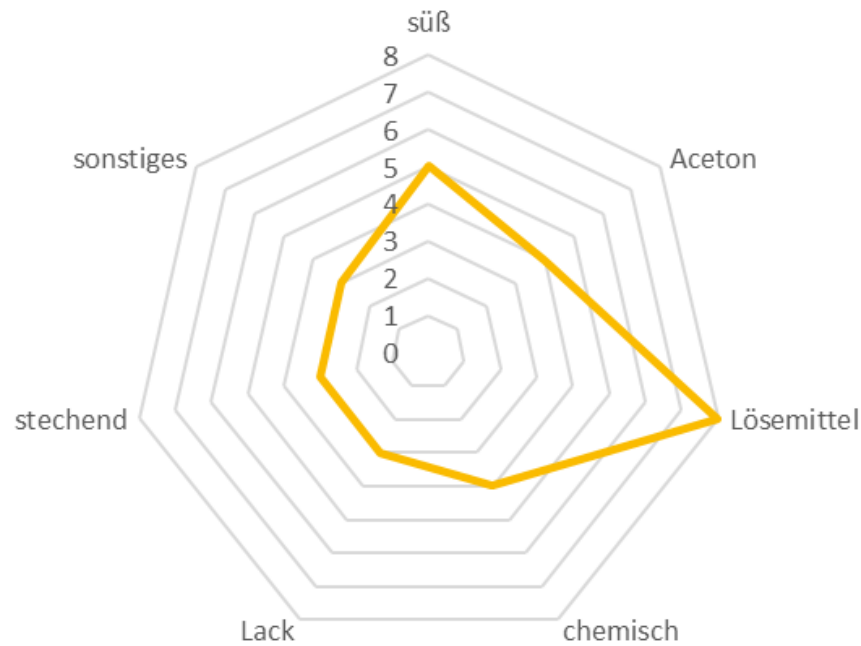


Quelle: eigene Darstellung auf Basis der VDI 3940-4, Olfasense GmbH

D.4.8 Geruchscharakter

Für die Bestimmung des Geruchscharakters wurden die Prüfer:innen gebeten alle beschreibenden Worte anzugeben, die Ihnen für den wahrgenommenen Geruch einfielen. Eine Zusammenfassung dieser Angaben findet sich in der folgenden Abbildung 87 in Form eines Spinnennetz-Diagramms.

Abbildung 87: Übersicht Geruchscharaktere für 2-Butanon (N=12) mit Angabe der Häufigkeit an Nennungen von 0-7).



D.5 2-Propanol

D.5.1 Probenaufbereitung

Für 2-Propanol (CAS. Nr. 67-63-0) ist ein AGW-Wert von 500 mg/m^3 vorhanden [104]. Die Probenaufbereitung wurde entsprechend der folgenden Parameter durchgeführt:

Beutelvolumen:	10 L
Verdampfungstemperatur LiGaVa:	95°C
Substanzmenge injiziert:	30 μL
Durchflussrate nach Injektion:	1 L/min
Reinheit Substanz:	99,90%
Dichte Substanz:	$0,785 \text{ g/cm}^3$

Resultierende rechnerische Konzentration im Mutterbeutel: $2352,65 \text{ mg/m}^3$

Die Berechnung der Substanzkonzentration wurde entsprechend der Formeln (4) und (5) aus Anhang B.1 vorgenommen.

D.5.2 Analytische Konzentrationsbestimmung von 2-Propanol

Die Bestimmung der Konzentration von 2-Propanol mittels GC-MS Analytik war im notwendigen Konzentrationsbereich messtechnisch nicht möglich.

D.5.3 Auswahl des Prüfer:innen-Kollektivs

In Vorversuchen zeichnete sich ab, dass 2-Propanol aufgrund des intensiven Geruches und der hohen Geruchsschwelle schwerlich am Olfaktometer zur Geruchsschwellenbestimmung verwendet werden kann. Daher wurde zunächst mit dem Team A aus der Bestimmung von 2-Butanon eine Testmessung vorgenommen. Die Überprüfung nach DIN EN 13725 und die Geruchsempfindlichkeit am Tag der Prüfung (15.06.2022) können daher dem Anhang D.4.3 entnommen werden.

D.5.4 Geruchsstoffkonzentration

Für 2-Propanol wurde lediglich eine orientierende Geruchsstoffkonzentration mit 4 Prüfer:innen und drei gültigen Schwellenschätzungen ermittelt. Diese Messung erfüllt die normativen Anforderungen und weist ein $\Delta Z \leq 5$ auf.

Die ermittelten Geruchsstoffkonzentrationen für 2-Propanol sind in der folgenden Tabelle 87 zusammengestellt. Die mittlere Geruchsstoffkonzentration liegt bei $55,6 \text{ GE}_E/\text{m}^3$.

Tabelle 87: Geruchsstoffkonzentration nach DIN EN 13725 – 2-Propanol.

Einzeldaten für alle Prüfer:innen je Durchgang, aufgeteilt auf jeweils drei Messungen unter Angabe des geometrischen Gesamtmittelwertes und des oberen und unteren Wertes in Abhängigkeit des 95 % Konfidenzintervalls. Anzahl Prüfer:innen = 4 mit einem Durchschnittsalter von 32,5 Jahren

Prüfer:innen Kürzel / Durchgang	Geruchsstoffkonzentration in GE _E /m ³											
	249	290	030	904	-	-	-	-	-	-	-	-
	Team A Messung 1				Team B Messung 1				Team C Messung 1			
1	63,1	63,1	63,1	63,1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	63,1	63,1	63,1	63,1	-	-	-	-	-	-	-	-
3	29,5	63,1	63,1	29,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Gesamtmittelwert (geometrisch)												55,6
95% Konfidenzintervall unterer Wert												42,7
95% Konfidenzintervall oberer Wert												72,4

D.5.5 Geruchsschwelle

Die Geruchsschwellenkonzentration, die sich aus der ermittelten Geruchsstoffkonzentration (vgl. Anhang D.5.4) und der rechnerischen Konzentration des 2-Propanols ergibt, ergeben sich damit wie in Tabelle 88 dargestellt.

Tabelle 88: Geruchsstoffkonzentration und Geruchsschwelle 2-Propanol.

Darstellung inklusive Berücksichtigung des 95 % Konfidenzintervalls

Geruchsstoffkonz. Obere Grenze Erwartungswert Untere Grenze In GE _E /m ³	Rechnerische Konzentration im MB in mg/m ³	Geruchsschwelle (rechn.) Untere Grenze Erwartungswert obere Grenze in mg/m ³
72,4 55,6 42,7	2352,65	32,50 42,31 55,10

Auf Basis analytischer Daten sind geringere Geruchsschwellenwerte zu erwarten. In Anbetracht der weiteren untersuchten Substanzen scheint ein Wert zwischen 30 und 70 % des rechnerischen Wertes realistisch.

D.5.6 Intensitätskennlinie

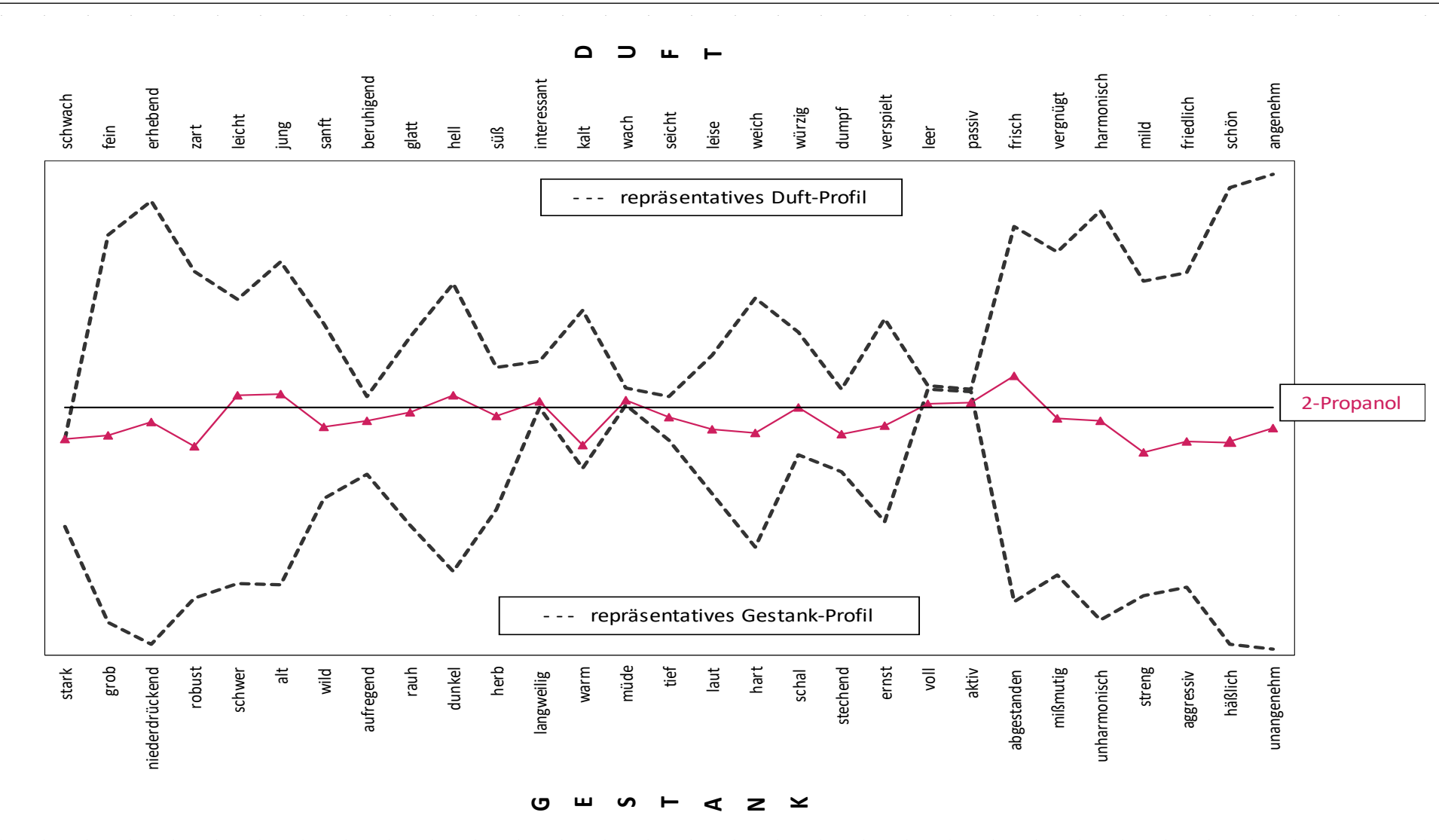
Aufgrund der geringen Verdünnungen bei der Bestimmung der Geruchsschwelle und der dort bereits hohen Intensitäten und Konzentrationen, wurde für 2-Propanol auf die Bewertung der Intensitäten verzichtet.

D.5.7 Polaritätenprofil

Das Polaritätenprofil von 2-Propanol ist in Abbildung 88 zusammen mit repräsentativen Profilen für Duft und Gestank entsprechend VDI 3940 Blatt 4 [4] dargestellt. Die Profile wurden mit lediglich 4 Prüfer:innen ermittelt, sodass die Daten nur eine geringe Aussagekraft aufweisen.

Der Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient nach Pearson für das Konzept Duft ergibt sich zu -0,11. Für die Korrelation mit dem Konzept Gestank ergibt sich ein Wert von +0,27. 2-Propanol ist damit weder einem Gestank, noch einem Duft zuzuordnen.

Abbildung 88: Polaritätenprofil für 2-Propanol (N=4), Duft und Gestank.

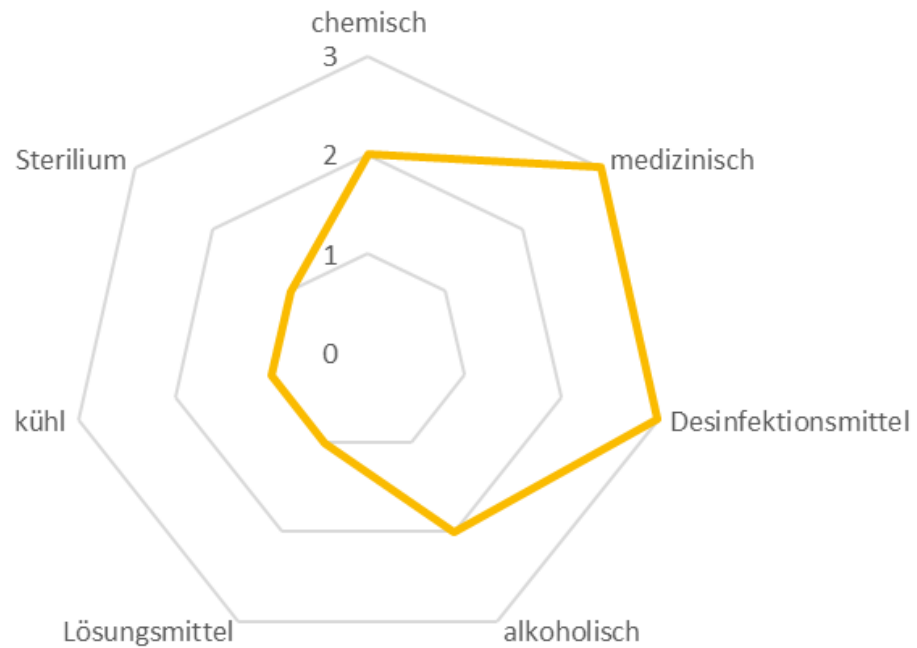


Quelle: eigene Darstellung auf Basis der VDI 3940-4, Olfasense GmbH

D.5.8 Geruchscharakter

Für die Bestimmung des Geruchscharakters wurden die Prüfer:innen gebeten alle beschreibenden Worte anzugeben, die Ihnen für den wahrgenommenen Geruch einfielen. Eine Zusammenfassung dieser Angaben findet sich in der folgenden Abbildung 87 in Form eines Spinnennetz-Diagramms.

Abbildung 89: Übersicht Geruchscharaktere für 2-Propanol (N=4) mit Angabe der Häufigkeit an Nennungen von 0-3.



E Geruchsräder Entwurf, Arbeitsversion und finale Version

E.1 Zweiter Entwurf / erste Arbeitsversion Geruchsrads (Version 1)

Abbildung 90: Zweiter Entwurf / erste Arbeitsversion des Geruchsrads (Version 1) für typische Innenraumgerüche in Pastell.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

E.2 Arbeitsversion Geruchsrads

Abbildung 91: Arbeitsversion des Geruchsrads (Version 2) für typische Innenraumgerüche in Pastell mit Bildwelten zur dritten Ebene.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

E.3 Finale Version des Geruchsrads

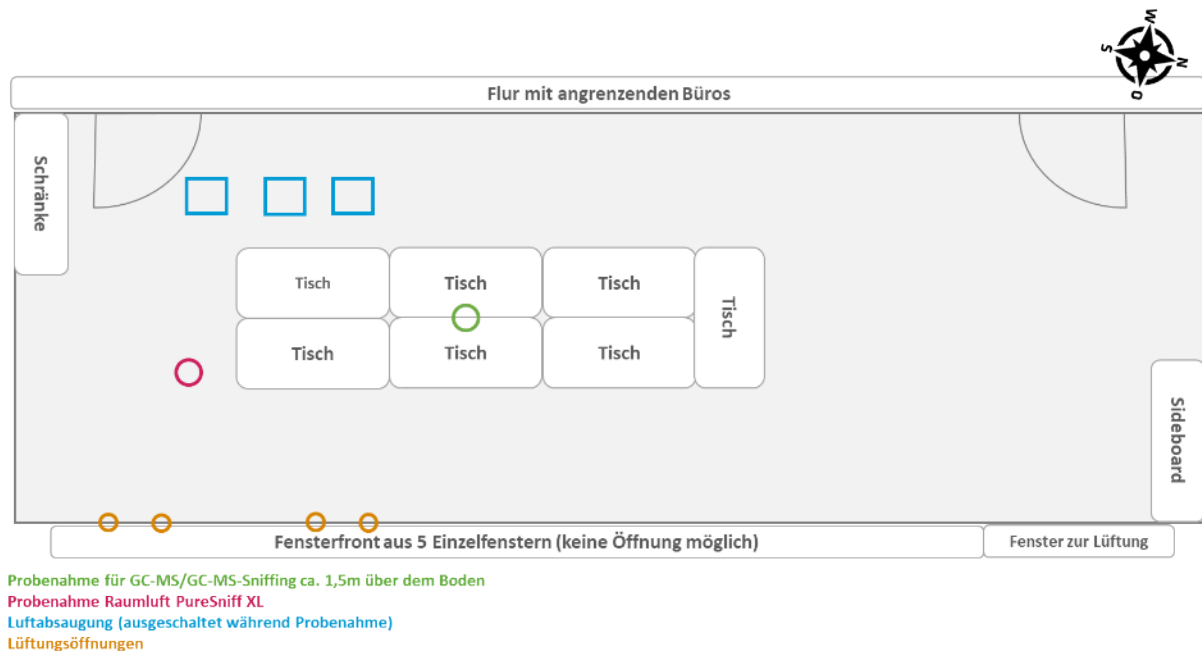
Abbildung 92: Finale Version (Version 3) des Geruchsrads für typische Innenraumgerüche in Pastell mit Bildwelten zur dritten Ebene.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

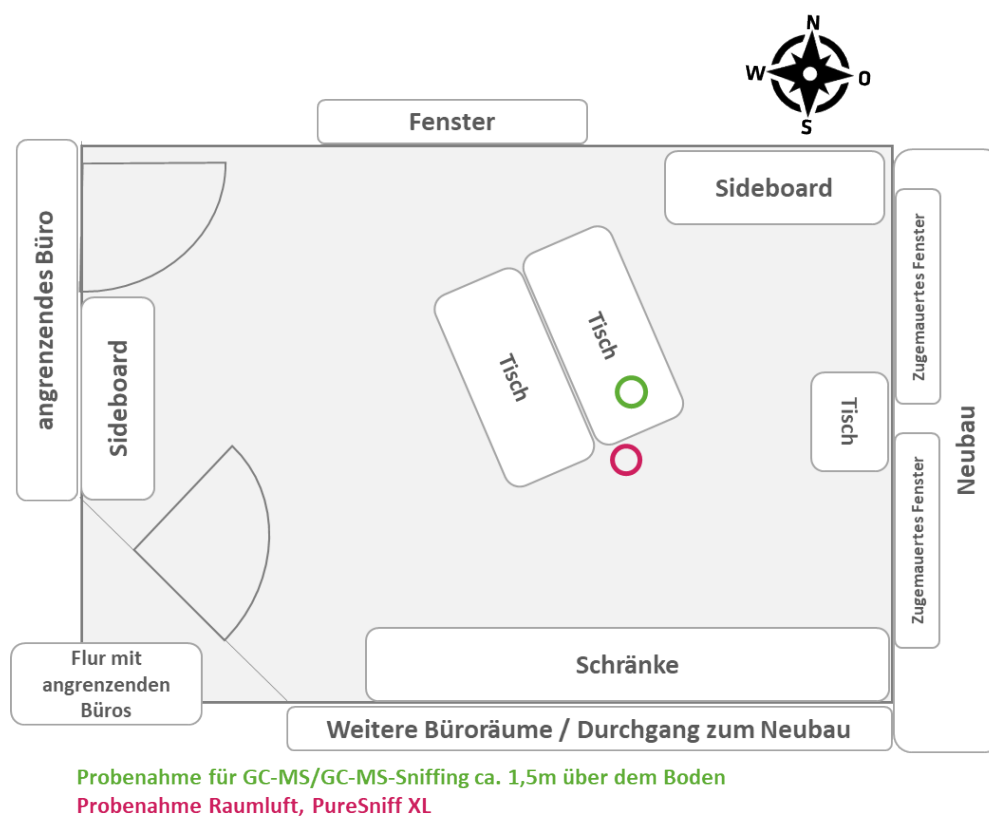
F Grundrisse Innenräume

Abbildung 93: Raum 1 - Grundriss und Probenahmestellen. Besprechungsraum I.



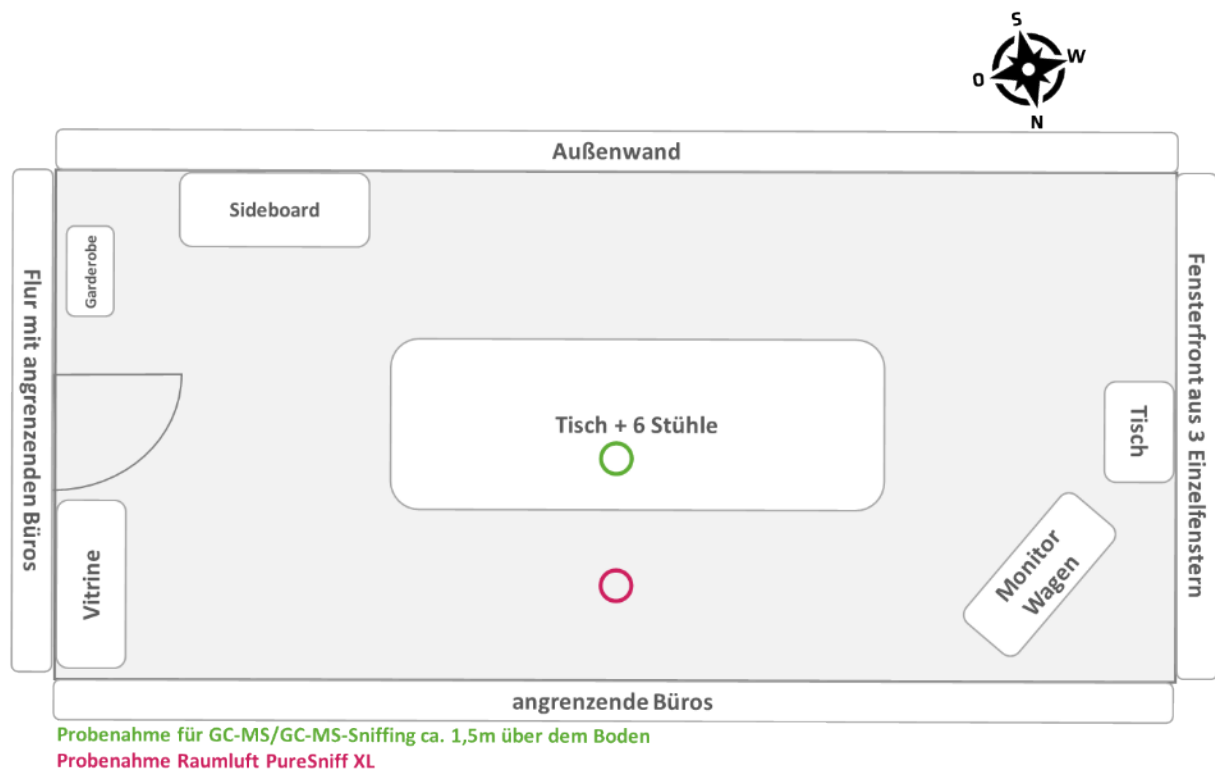
Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 94: Raum 2 - Grundriss und Probenahmestellen. Büro I.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 95: Raum 3 - Grundriss und Probenahmestellen. Besprechungsraum II.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

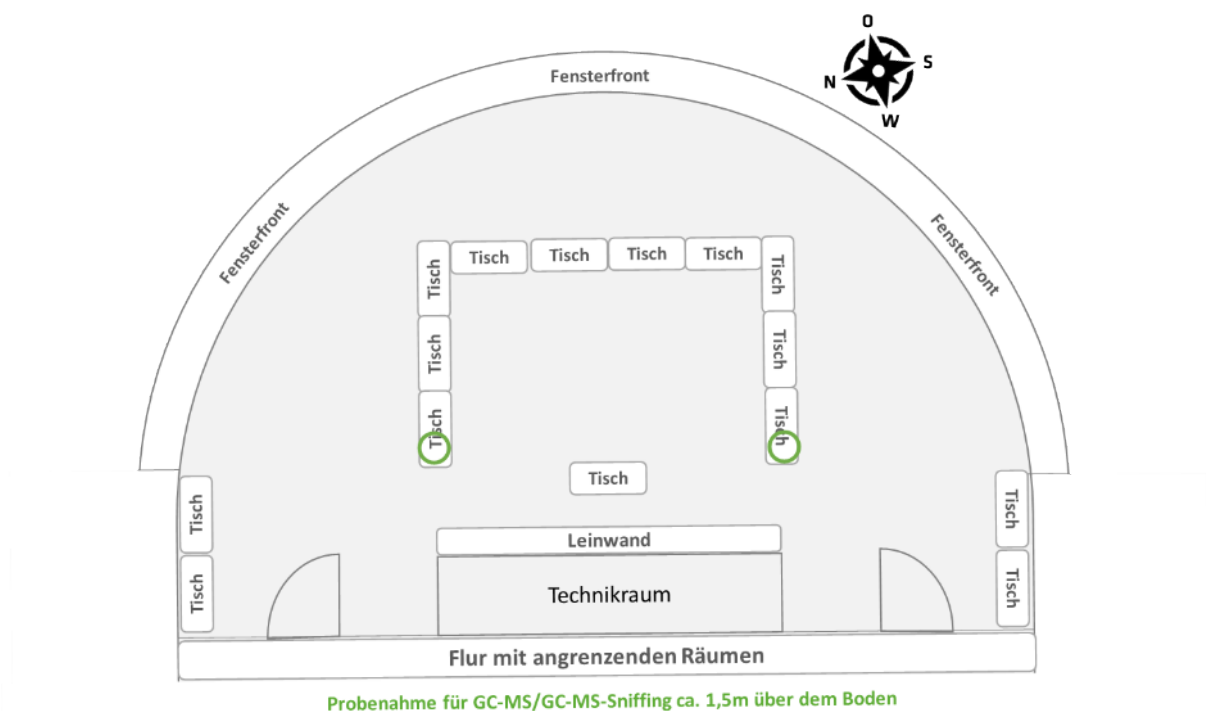


Abbildung 96: Raum 4 - Grundriss und Probenahmestellen. Konferenzraum.

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 97: Raum 5 - Grundriss und Probenahmestellen. Brücke/Flur I.



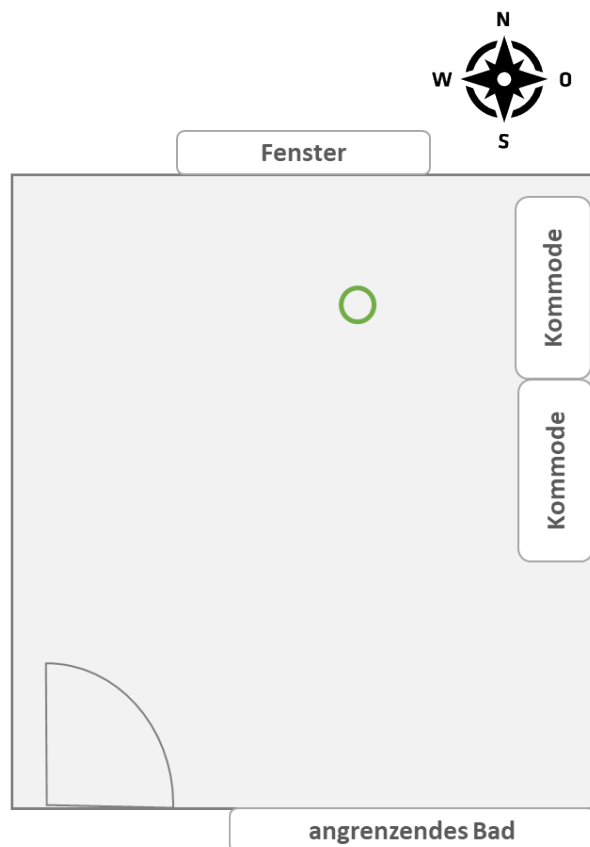
Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 98: Raum 6 - Grundriss und Probenahmestelle. Besprechungsraum III.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

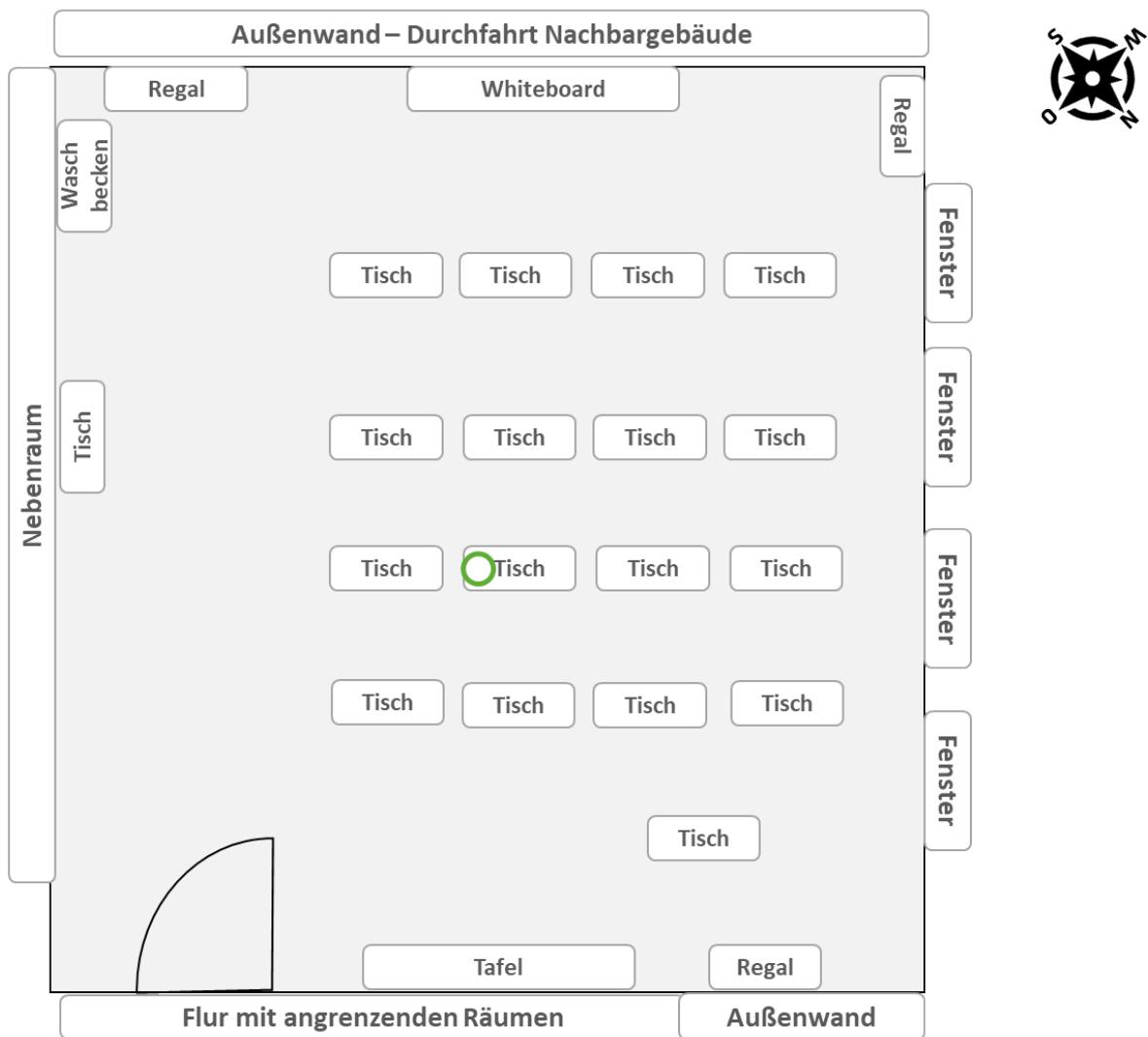
Abbildung 99: Raum 7 - Grundriss und Probenahmestelle. Wohnraum.



Probenahme für GC-MS/GC-MS-Sniffing ca. 1,5m über dem Boden

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

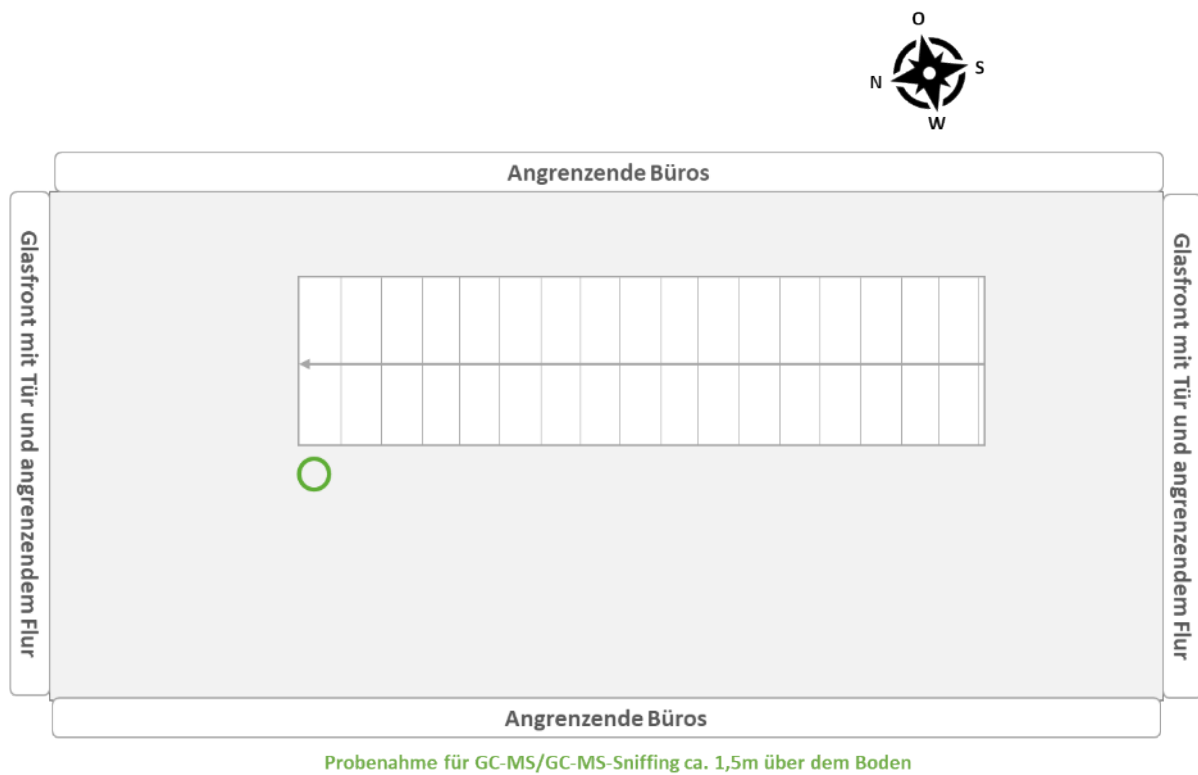
Abbildung 100: Raum 8 - Grundriss und Probenahmestelle. Schulzimmer.



Probenahmestelle für GC-MS/GC-MS-Sniffing ca. 1,5m über dem Boden

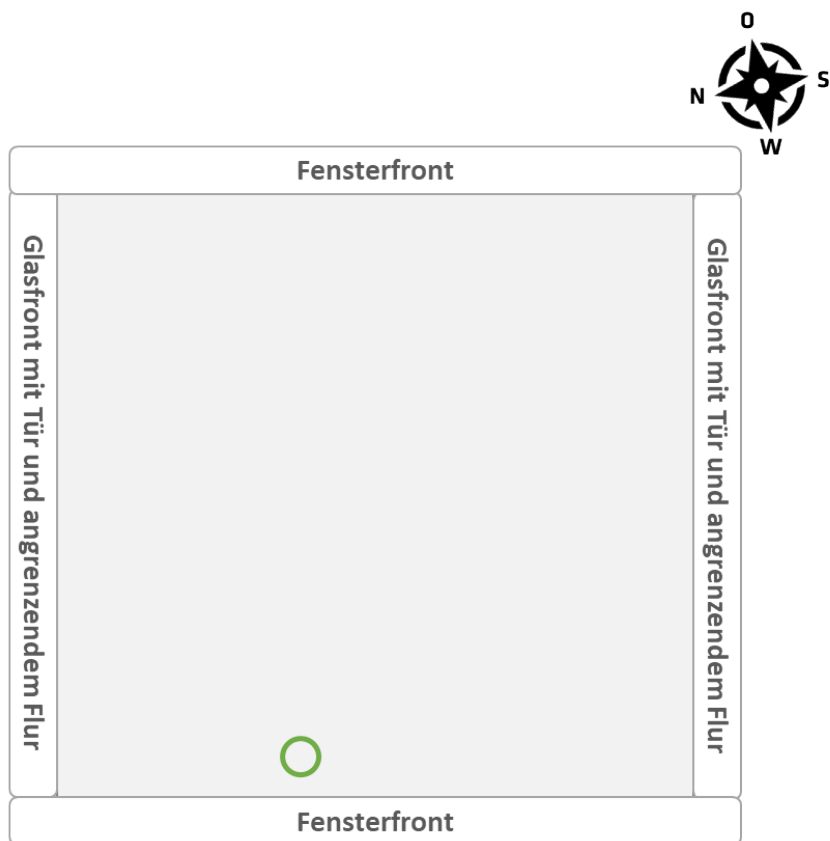
Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 101: Raum 9 - Grundriss und Probenahmestelle. Lichthof.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 102: Raum 10 - Grundriss und Probenahmestelle. Flur/Brücke II.



Probenahme für GC-MS/GC-MS-Sniffing ca. 1,5m über dem Boden

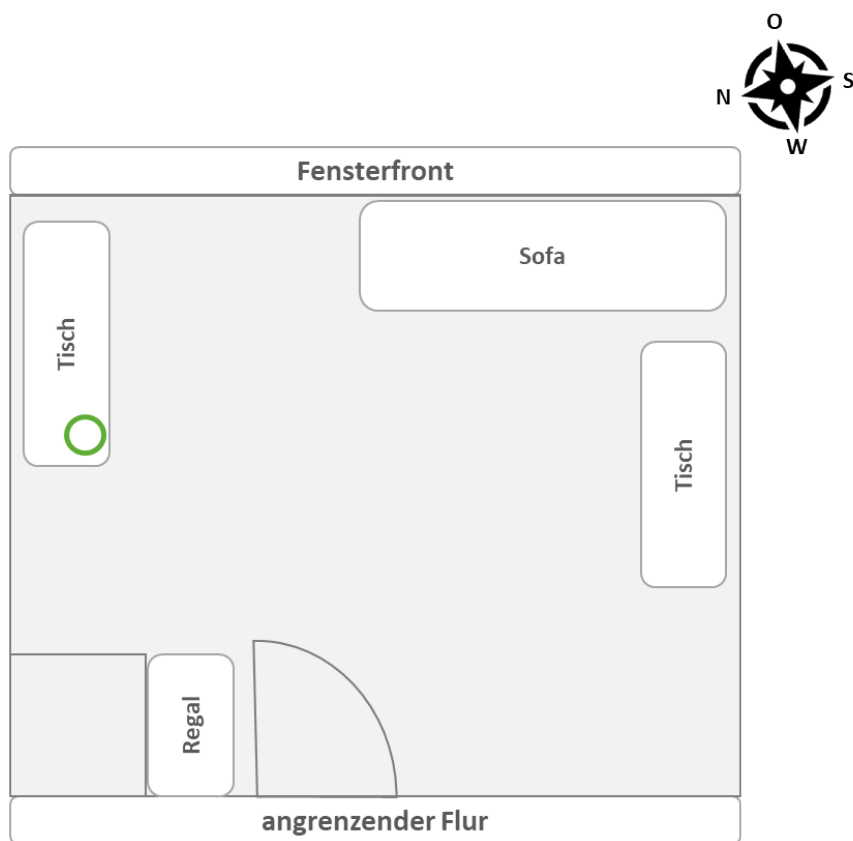
Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 103: Raum 11 - Grundriss und Probenahmestelle. Flur mit Lichthof.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

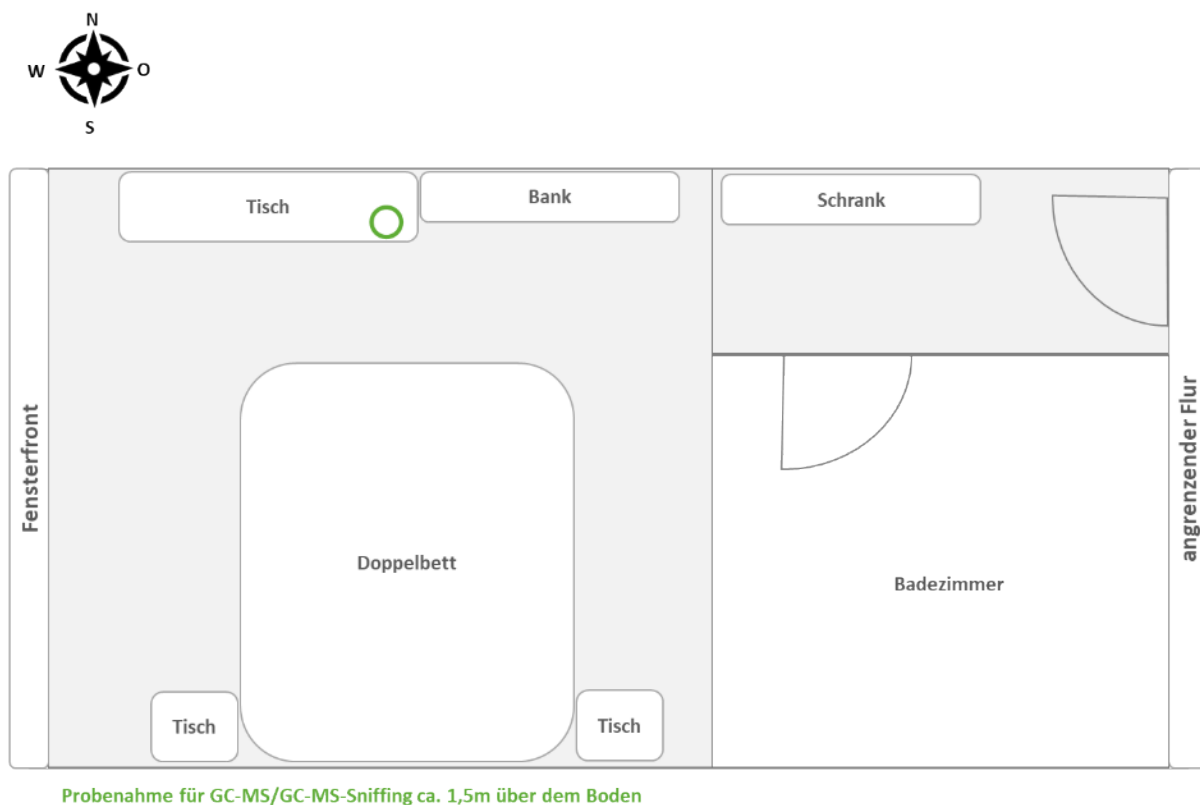
Abbildung 104: Raum 12 - Grundriss und Probenahmestelle. Büro II.



Probenahme für GC-MS/GC-MS-Sniffing ca. 1,5m über dem Boden

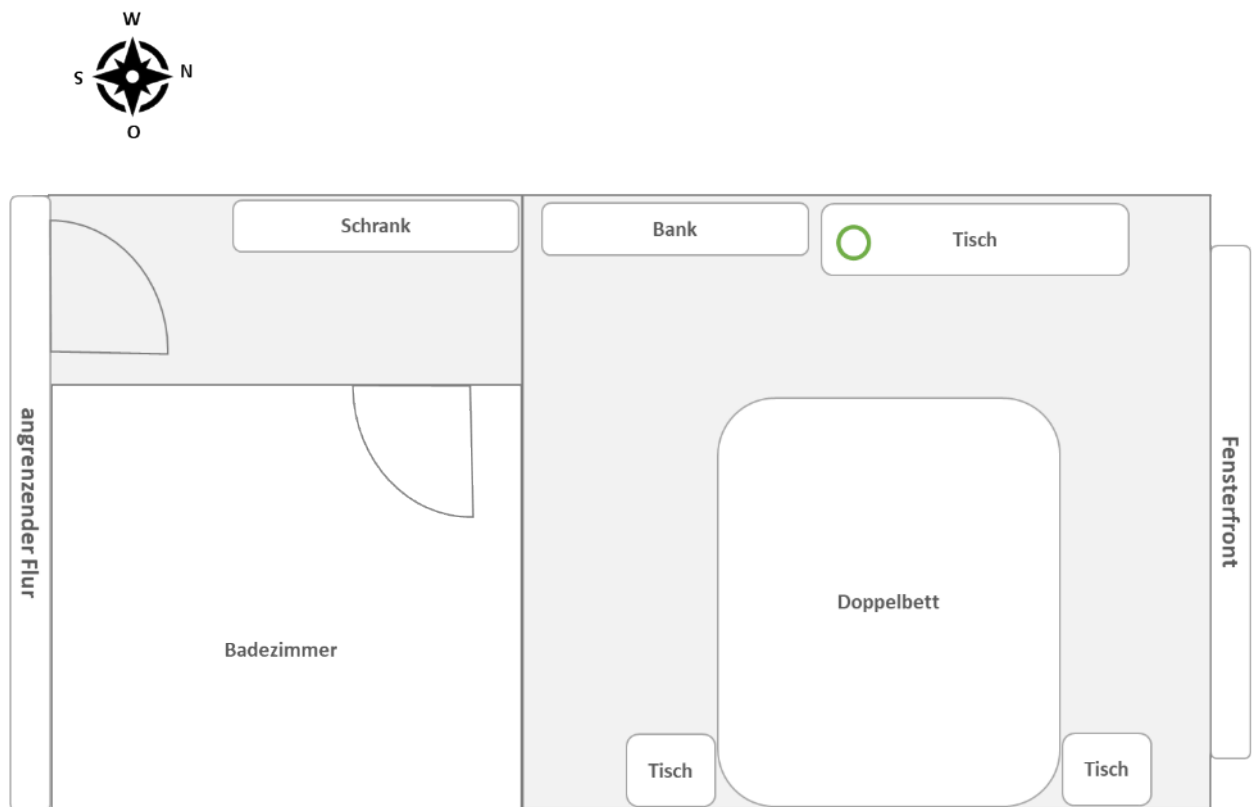
Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 105: Raum 13 - Grundriss und Probenahmestelle. Zimmer mit Bad I.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 106: Raum 14 - Grundriss und Probenahmestelle. Zimmer mit Bad II.



Probenahme für GC-MS/GC-MS-Sniffing ca. 1,5m über dem Boden

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 107: Raum 15 - Grundriss und Probenahmestelle. Abfall-Sammelraum.



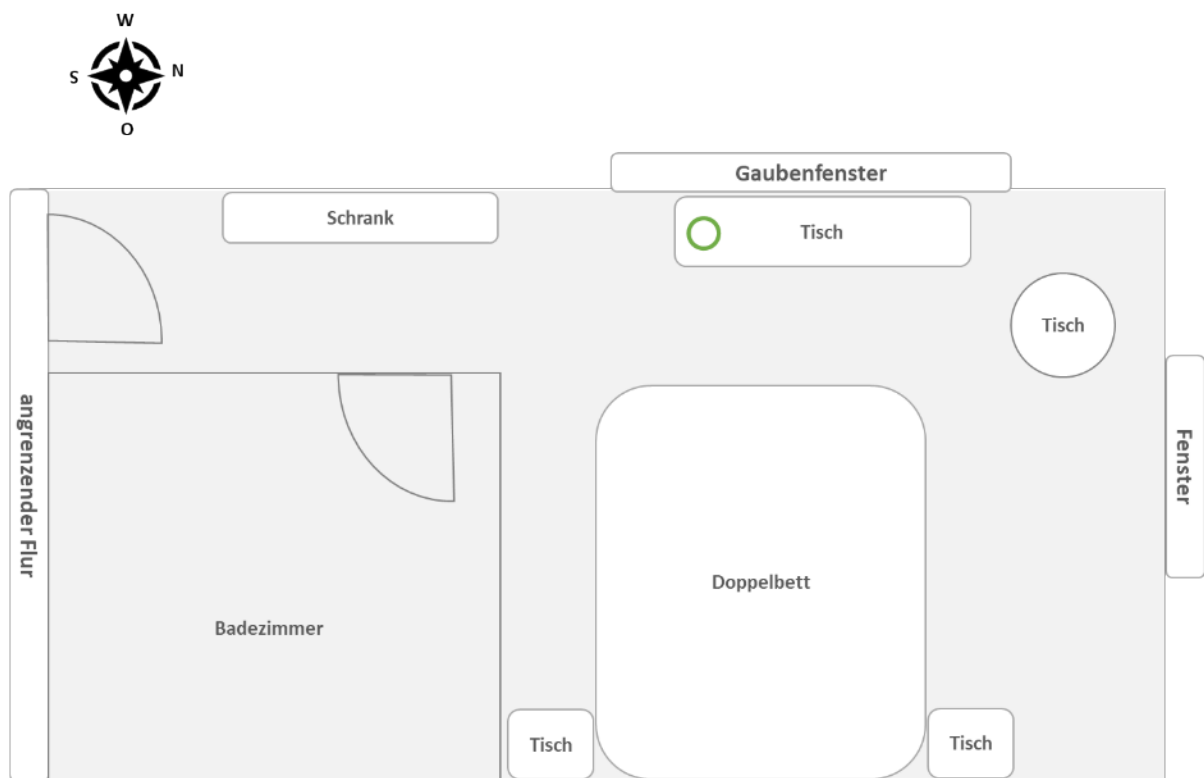
Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 108: Raum 16 - Grundriss und Probenahmestelle. Suite mit Kochnische und Wohnzimmer.



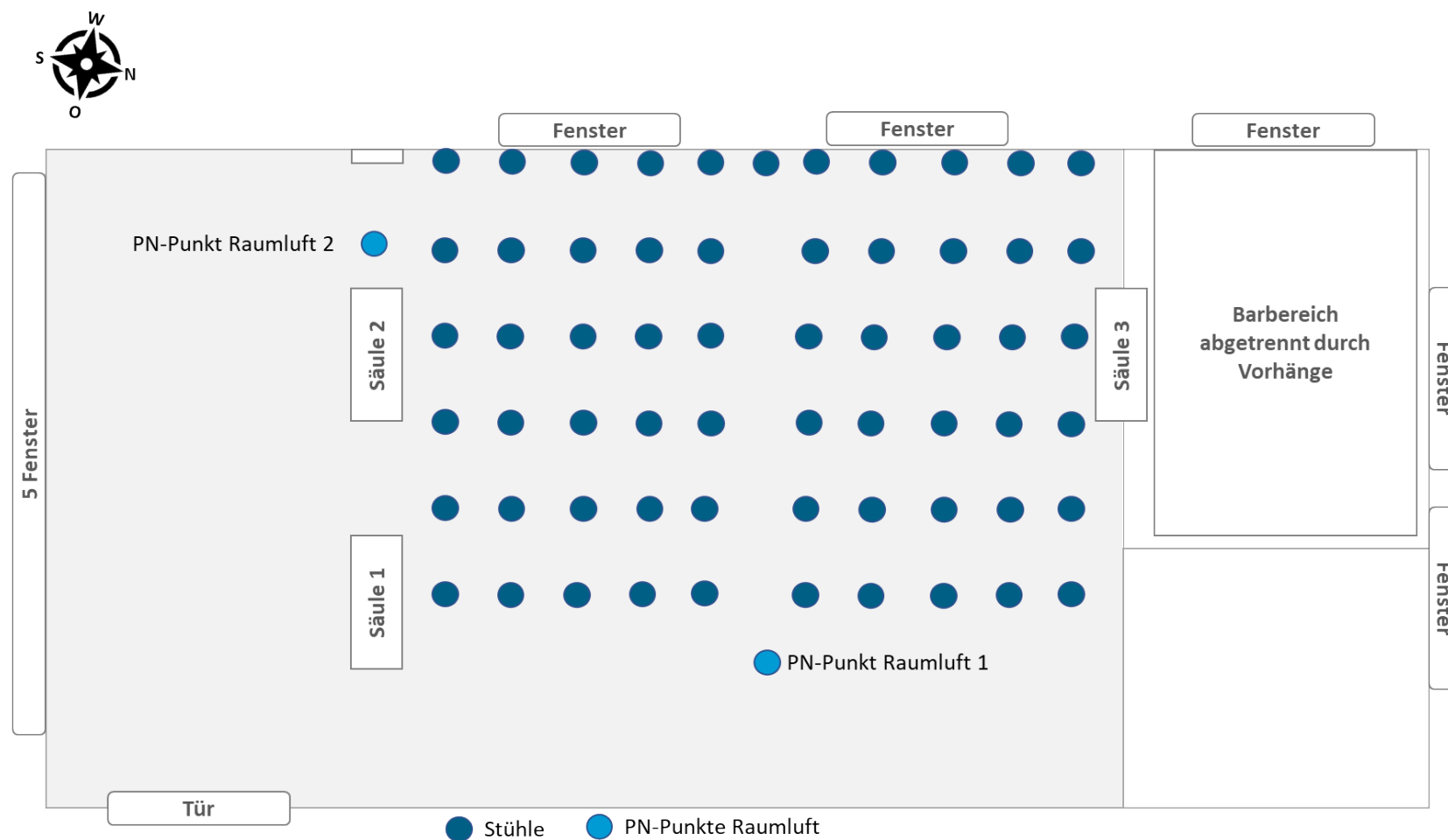
Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 109: Raum 17 - Grundriss und Probenahmestelle. Zimmer mit Bad III.



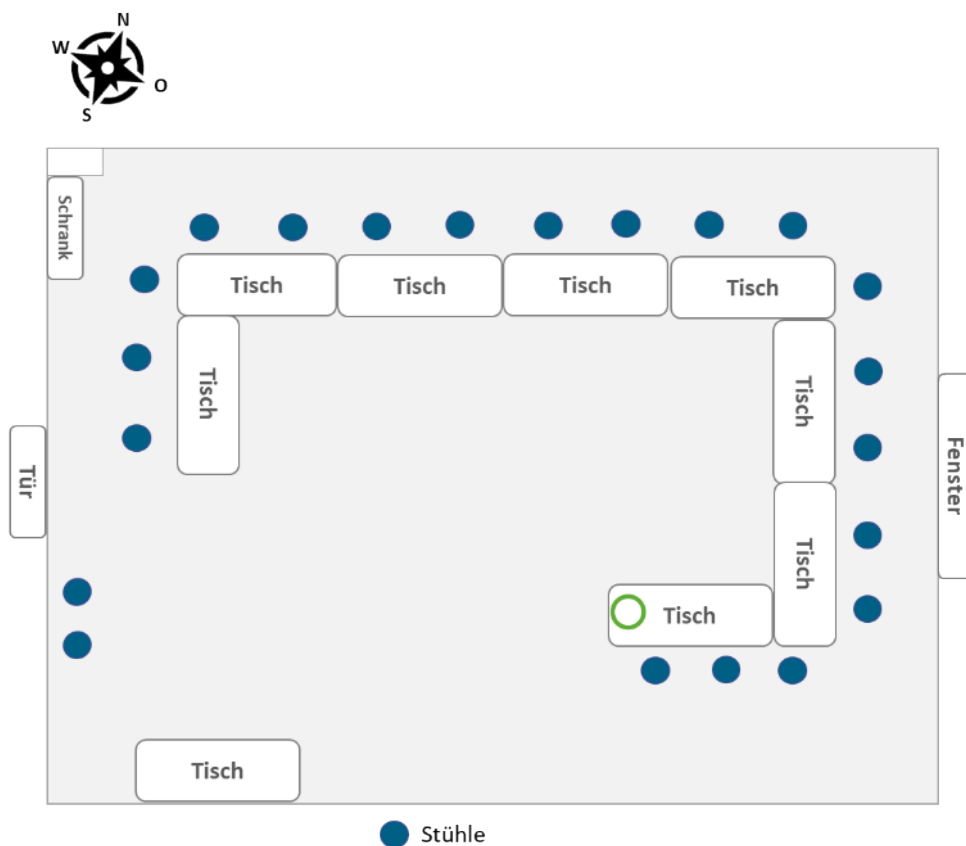
Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 110: Raum 18 - Grundriss und Probenahmestelle. Saal.



Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

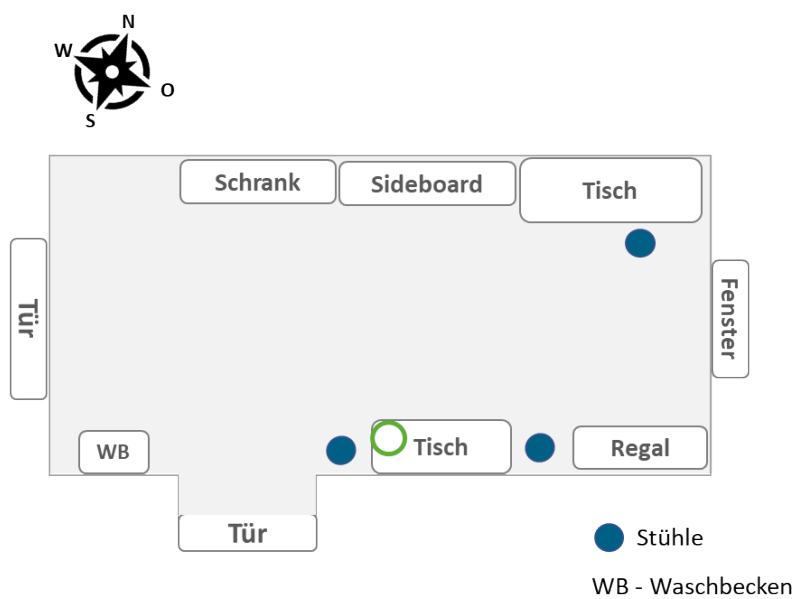
Abbildung 111: Raum 19 - Grundriss und Probenahmestelle. Besprechungsraum IV.



Probenahme für GC-MS/GC-MS-Sniffing ca. 1,5m über dem Boden

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

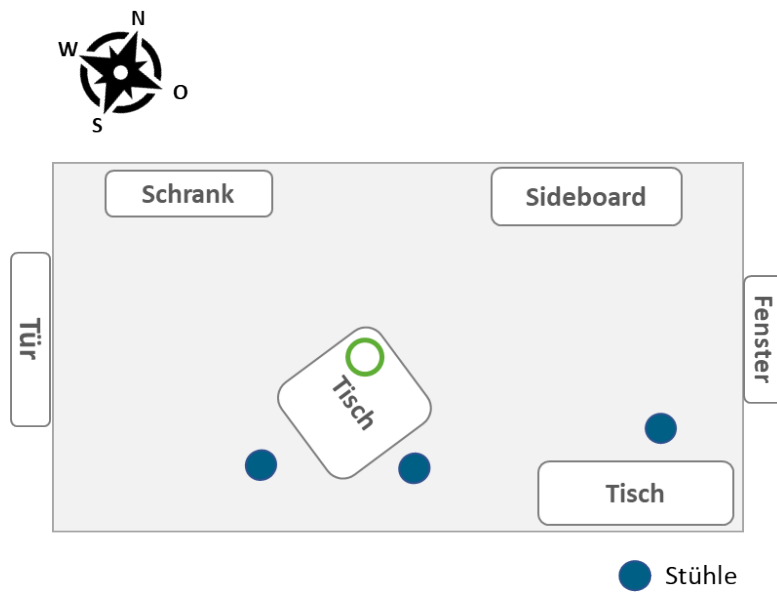
Abbildung 112: Raum 20 - Grundriss und Probenahmestelle. Büro III.



Probenahme für GC-MS/GC-MS-Sniffing ca. 1,5m über dem Boden

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

Abbildung 113: Raum 21 - Grundriss und Probenahmestelle. Büro IV.



Probenahme für GC-MS/GC-MS-Sniffing ca. 1,5m über dem Boden

Quelle: eigene Darstellung, Olfasense GmbH

G Daten trainierter und untrainierter Prüfer:innen

Tabelle 89: Übersicht über trainierte Prüfer:innen – Räume 1 bis 10.

Angabe aller trainierten Prüfer:innen mit Kürzel, Alter, Geschlecht, Nachweis der Riechfähigkeit in Anlehnung an EN 13725 (Kriterien $20 \leq 10^{y_{ITE}} \leq 80$ und $10\sigma \leq 2,3$) sowie Dokumentation der jeweils bewerteten Innenräume. „x“ markiert die Teilnahme einer Prüferin/eines Prüfers bei der Geruchsbewertung im jeweiligen Raum.

Kürzel	Alter	Geschlecht	$10^{y_{ITE}}$	10σ	Datum Nachweis	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
VAS	23	w	50,17	1,56	21.06.2023			x					x		
LÜV	22	w	57,44	1,62	27.03.2023								x		
BAM	41	w	29,95	1,56	27.10.2023			x	x	x	x		x	x	x
GAL	23	w	40,22	1,51	21.03.2023								x		
STB	55	w	39,49	1,62	30.06.2023	x	x	x					x	x	x
KUJ	24	w	46,90	1,60	20.11.2023						x		x		
BRC	42	w	50,17	1,38	28.09.2023								x	x	x
LBR	37	w	31,54	1,54	27.09.2023	x	x	x					x	x	x
KOR	30	w	31,08	1,62	27.09.2023	x		x	x	x			x	x	x
BEA	30	w	49,79	1,41	26.06.2023	x	x		x	x	x		x		
GRC	57	w	39,56	1,44	28.09.2023		x							x	x
HAU	57	w	44,55	1,44	05.10.2023									x	x
DRJ	44	w	33,48	1,53	06.10.2023										
EWM	25	w	34,99	1,87	27.09.2023	x	x	x	x	x	x				
KUE	25	w	47,97	1,31	21.09.2023										

Kürzel	Alter	Geschlecht	$10^{y_{ITE}}$	10σ	Datum Nachweis	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
SPC	53	w	53,93	1,51	14.11.2023										
NAA	44	w	57,21	1,23	07.11.2023		x								
HHA	56	w	*	*	*	x	x					x			
TÄM	30	w	49,90	1,66	14.03.2022						x				
GÜJ	28	w	35,56	1,67	06.10.2022						x				
SVS	38	w	*	*	*						x				
MÜS	40	w	48,63	1,55	27.10.2022				x	x					
KÄS	51	w	41,92	1,77	27.10.2022		x		x	x					
MIP	44	w	24,64	1,36	29.06.2021				x	x					
HÄM	23	w	41,51	1,49	21.10.2022				x	x					
LIS	28	w	62,14	1,38	25.08.2022				x	x					
KRN	23	w	42,23	1,44	27.10.2022				x	x	x				
RÜS	54	w	71,28	1,54	05.08.2022			x							
SCL	33	w	52,18	1,56	19.07.2022			x							
HIN	33	w	58,34	1,43	09.06.2022		x								
WIP	58	w	61,32	1,48	19.05.2022		x								
SCK2	48	w	52,95	1,88	10.12.2021		x								
SES	55	w	32,54	1,78	28.07.2021	x									
MAG	17	w	45,56	1,53	22.07.2022						x				

Kürzel	Alter	Geschlecht	$10^{y_{ITE}}$	10σ	Datum Nachweis	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
RIP	24	w	42,19	1,40	06.05.2022	x									
DOH	29	m	46,91	1,45	09.08.2022			x	x	x	x				
BOH	53	m	47,20	1,75	08.11.2023								x	x	x
SCO	53	m	50,44	1,70	06.10.2023								x	x	x
MAB	51	m	*	*	*	x	x	x	x	x	x		x	x	x
MAD	56	m	*	*	*								x		
SRG	51	m	*	*	*		x	x	x	x	x		x	x	x
FEM	43	m	*	*	*			x	x	x	x			x	x
ANM	41	m	*	*	*			x	x	x	x			x	x
PEC	55	m	48,09	1,46	13.09.2023									x	x
GST	48	m	36,45	1,65	14.11.2023									x	x
MAC	41	m	*	*	*										
GRK	55	m	*	*	*							x			
HAJ	32	m	*	*	*							x			
VEL	43	m	*	*	*				x	x					
ADS	28	m	45,64	1,49	15.09.2022			x							
SUC	24	m	39,67	1,47	06.05.2022	x									

Kürzel	Alter	Geschlecht	10^{YTE}	10σ	Datum Nachweis	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
	Ø 40 Ø w 38 Ø m 44	$\Sigma w=25$ $\Sigma w=16$				8w & 2m	11w & 2m	8w & 6m	10w & 6m	10w & 6m	9w & 5m	1w & 2m	10w & 5m	7w & 8m	7w & 8m

* Es liegt kein Nachweis der Riechfähigkeit nach DIN EN 13725 vor, dennoch werden die Prüfer:innen als Olfasense-Mitarbeitende, die regelmäßig mit Geruchsproben arbeiten, hier als trainierte Prüfer:innen eingesetzt.

Tabelle 90: Übersicht über trainierte Prüfer:innen – Räume 11 bis 21.

Angabe aller trainierten Prüfer:innen mit Kürzel, Alter, Geschlecht, Nachweis der Riechfähigkeit in Anlehnung an EN 13725 (Kriterien $20 \leq 10^{YTE} \leq 80$ und $10\sigma \leq 2,3$) sowie Dokumentation der jeweils bewerteten Innenräume. „x“ markiert die Teilnahme einer Prüferin/eines Prüfers bei der Geruchsbewertung im jeweiligen Raum.

Kürzel	Alter	Geschlecht	10^{YTE}	10σ	Datum Nachweis	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
VAS	23	w	50,17	1,56	21.06.2023											
LÜV	22	w	57,44	1,62	27.03.2023											
BAM	41	w	29,95	1,56	27.10.2023	x	x				x	x	x			
GAL	23	w	40,22	1,51	21.03.2023											
STB	55	w	39,49	1,62	30.06.2023	x	x									
KUJ	24	w	46,90	1,60	20.11.2023									x	x	x
BRC	42	w	50,17	1,38	28.09.2023	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LBR	37	w	31,54	1,54	27.09.2023	x	x							x	x	x
KOR	30	w	31,08	1,62	27.09.2023	x	x	x	x	x	x	x	x			
BEA	30	w	49,79	1,41	26.06.2023		x									

Kürzel	Alter	Geschlecht	10^{YTE}	10σ	Datum Nachweis	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
GRC	57	w	39,56	1,44	28.09.2023	x	x	x	x	x						
HAU	57	w	44,55	1,44	05.10.2023	x		x	x	x						
DRJ	44	w	33,48	1,53	06.10.2023		x				x	x	x			
EWM	25	w	34,99	1,87	27.09.2023		x									
KUE	25	w	47,97	1,31	21.09.2023			x	x	x	x	x	x			
SPC	53	w	53,93	1,51	14.11.2023			x	x	x				x	x	x
NAA	44	w	57,21	1,23	07.11.2023									x	x	x
HHA	56	w	*	*	*											
TÄM	30	w	49,90	1,66	14.03.2022											
GÜJ	28	w	35,56	1,67	06.10.2022											
SVS	38	w	*	*	*											
MÜS	40	w	48,63	1,55	27.10.2022											
KÄS	51	w	41,92	1,77	27.10.2022											
MIP	44	w	24,64	1,36	29.06.2021											
HÄM	23	w	41,51	1,49	21.10.2022											
LIS	28	w	62,14	1,38	25.08.2022											
KRN	23	w	42,23	1,44	27.10.2022											
RÜS	54	w	71,28	1,54	05.08.2022											
SCL	33	w	52,18	1,56	19.07.2022											

Kürzel	Alter	Geschlecht	10^{YTE}	10σ	Datum Nachweis	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
HIN	33	w	58,34	1,43	09.06.2022											
WIP	58	w	61,32	1,48	19.05.2022											
SCK2	48	w	52,95	1,88	10.12.2021											
SES	55	w	32,54	1,78	28.07.2021											
MAG	17	w	45,56	1,53	22.07.2022											
RIP	24	w	42,19	1,40	06.05.2022											
DOH	29	m	46,91	1,45	09.08.2022											
BOH	53	m	47,20	1,75	08.11.2023	x	x	x	x	x				x	x	x
SCO	53	m	50,44	1,70	06.10.2023	x	x	x	x	x						
MAB	51	m	*	*	*	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
MAD	56	m	*	*	*											
SRG	51	m	*	*	*	x	x				x	x	x	x	x	x
FEM	43	m	*	*	*	x										
ANM	41	m	*	*	*	x		x	x	x	x	x	x			
PEC	55	m	48,09	1,46	13.09.2023	x	x				x	x	x	x	x	x
GST	48	m	36,45	1,65	14.11.2023	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
MAC	41	m	*	*	*			x	x	x						
GRK	55	m	*	*	*											
HAJ	32	m	*	*	*											

Kürzel	Alter	Geschlecht	$10^{y_{ITE}}$	10σ	Datum Nachweis	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
VEL	43	m	*	*	*											
ADS	28	m	45,64	1,49	15.09.2022											
SUC	24	m	39,67	1,47	06.05.2022											
	Ø 40 Ø w 38 Ø m 44	$\Sigma w=25$ $\Sigma w=16$				7w & 8m	9w & 5m	6w & 6m	6w & 6m	6w & 6m	5w & 5m	5w & 5m	5w & 5m	5w & 5m	5w & 5m	5w & 5m

Für untrainierte Prüfer:innen, die nicht Teil des Olfasense Proband:innen Pools sind, sind Daten wie das Alter teils nicht vorhanden. Prüfer:innen, die perspektivisch für nur einen Raum eingesetzt wurden, sind folgend in Gruppen zusammengefasst (z. B. w1 für die erste Gruppe weiblicher Prüfer) und lediglich nach Geschlecht aufgeschlüsselt. Die Anzahl der teilnehmenden Prüfer:innen ist in Klammern hinter der Geschlechtsangabe vermerkt.

Tabelle 91: Übersicht über untrainierte Prüfer:innen – Räume 1 bis 10.

Angabe aller untrainierten Prüfer:innen mit Kürzel, Alter, Geschlecht sowie Dokumentation der jeweils bewerteten Innenräume. „x“ markiert die Teilnahme einer Prüferin/eines Prüfers bei der Geruchsbewertung im jeweiligen Raum. m (N) und w (N) fassen männliche und weibliche Prüfer:innen zusammen, die nur einmalig an einer Messung in einem bestimmten Innenraum teilgenommen haben.

Kürzel	Alter	Geschlecht	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
001	27	w	x	x	x	x	x	x		x	x	x
002	24	w								x		
003	47	w			x	x	x	x		x		
004	63	w			x	x	x			x		
005	62	w								x		
006	23	w								x		
007	32	w								x		
008	55	w								x		
009	31	w			x							
010	32	w			x	x	x					
011	28	w				x						
012	41	w			x	x	x			x		
013	64	w			x					x		
014	55	w		x	x	x	x	x		x	x	x
015	45	w									x	x

Kürzel	Alter	Geschlecht	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
016	61	w									x	x
017	22	w									x	x
018	40	w		x	x			x			x	x
019	48	w									x	x
020	24	w									x	x
021	61	w									x	x
022	37	w			x			x				
023	25	w			x	x	x	x				
024	50	w						x				
025	55	w						x			x	x
026		w			x							
027		w						x				
028	69	w				x	x					
029	30	w									x	x
030	34	w										
031	54	w										
032	30	w										
033	24	w										
034	29	w										
035	33	w										

Kürzel	Alter	Geschlecht	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
036	42	w			x							
037	32	w				x	x					
038	-		x									
039	58	w	x									
040	-	w	x									
041	-	w	x									
042	41	w	x									
043	33	w	x									
044	43	w	x									
045	48	w			x							
046	49	w			x	x	x					
047	26	w										
048	30	w										
049	18	w										
050	48	w			x			x				
051	38	w										
052	27	w										
053	39	m				x	x			x		
054	37	m		x	x	x	x	x		x	x	x
055	27	m								x		

Kürzel	Alter	Geschlecht	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
056	64	m		x		x	x	x		x	x	x
057	21	m			x	x	x			x		
058	73	m		x		x	x	x		x	x	x
059	27	m			x	x	x	x		x		
060	59	m		x	x	x	x	x		x		
061	48	m								x	x	x
062	23	m			x	x	x	x		x		
063	29	m				x	x			x	x	x
064	52	m								x		
065	33	m									x	x
066	38	m			x						x	x
067	-	m			x							
068	32	m						x				
069	27	m				x	x	x			x	x
070	41	m									x	x
071	69	m									x	x
072	28	m					x	x				
073	23	m			x			x				
074	30	m				x	x	x				
075	28	m			x	x	x	x				

Kürzel	Alter	Geschlecht	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
076	36	m										
077	59	m				x	x	x				
078	34	m										
079	43	m										
080	38	m										
081	31	m		x		x	x	x				
082	34	m										
083	38	m										
084	60	m										
085	21	m										
086	-	m										
087	53	m	x									
088	39	m	x									
089	55	m										
090	62	m			x	x	x	x				
091	32	m	x									
092	-	m	x									
093	70	m										
w1 (3)	-	w	x									
w2 (10)	-	w		x								

Kürzel	Alter	Geschlecht	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
w3 (8)	-	w							x			
w4 (9)	-	w										
m1 (5)	-	m	x									
m2 (6)	-	m		x								
m3 (9)	-	m							x			
m4 (10)	-	m										
	Ø 40 Ø w 40 Ø m 41	Σw=82 Σw=71	11w & 9m	14w & 11m	16w & 10m	11w & 15m	10w & 16m	10w & 15m	8w & 9m	11w & 12m	11w & 10m	11w & 10m

Tabelle 92: Übersicht über untrainierte Prüfer:innen – Räume 11 bis 21.

Angabe aller untrainierten Prüfer:innen mit Kürzel, Alter, Geschlecht sowie Dokumentation der jeweils bewerteten Innenräume. „x“ markiert die Teilnahme einer Prüferin/eines Prüfers bei der Geruchsbewertung im jeweiligen Raum. m (N) und w (N) fassen männliche und weibliche Prüfer:innen zusammen, die nur einmalig an einer Messung in einem bestimmten Innenraum teilgenommen haben.

Kürzel	Alter	Geschlecht	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
001	27	w	x								x	x	x
002	24	w											
003	47	w											
004	63	w			x	x	x						
005	62	w											
006	23	w											
007	32	w			x	x	x	x	x	x			
008	55	w											
009	31	w											
010	32	w											
011	28	w											
012	41	w						x	x	x			
013	64	w		x									
014	55	w	x	x	x	x	x						
015	45	w	x										
016	61	w	x										
017	22	w	x	x									

Kürzel	Alter	Geschlecht	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
018	40	w	x	x	x	x	x						
019	48	w	x										
020	24	w	x		x	x	x	x	x	x			
021	61	w	x										
022	37	w											
023	25	w											
024	50	w											
025	55	w	x										
026		w											
027		w											
028	69	w											
029	30	w	x										
030	34	w		x									
031	54	w		x	x	x	x	x	x	x			
032	30	w		x	x	x	x	x	x	x			
033	24	w		x	x	x	x	x	x	x			
034	29	w		x									
035	33	w		x	x	x	x						
036	42	w											
037	32	w			x	x	x	x	x	x			

Kürzel	Alter	Geschlecht	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
038	-												
039	58	w											
040	-	w											
041	-	w											
042	41	w											
043	33	w											
044	43	w											
045	48	w											
046	49	w			x	x	x						
047	26	w			x	x	x						
048	30	w			x	x	x						
049	18	w			x	x	x						
050	48	w						x	x	x			
051	38	w						x	x	x			
052	27	w						x	x	x			
053	39	m											
054	37	m	x										
055	27	m											
056	64	m	x	x				x	x	x			
057	21	m						x	x	x			

Kürzel	Alter	Geschlecht	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
058	73	m	x		x	x	x	x	x	x			
059	27	m											
060	59	m											
061	48	m	x										
062	23	m											
063	29	m	x					x	x	x			
064	52	m											
065	33	m	x										
066	38	m	x	x				x	x	x			
067	-	m											
068	32	m											
069	27	m	x	x	x	x	x						
070	41	m	x										
071	69	m	x										
072	28	m											
073	23	m											
074	30	m											
075	28	m		x	x	x	x						
076	36	m		x									
077	59	m		x	x	x	x	x	x	x			

Kürzel	Alter	Geschlecht	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
078	34	m		x				x	x	x			
079	43	m		x	x	x	x						
080	38	m		x									
081	31	m		x									
082	34	m			x	x	x	x	x	x			
083	38	m			x	x	x						
084	60	m		x	x	x	x						
085	21	m			x	x	x						
086	-	m			x	x	x						
087	53	m											
088	39	m											
089	55	m						x	x	x			
090	62	m											
091	32	m											
092	-	m											
093	70	m						x	x	x			
w1 (3)	-	w											
w2 (10)	-	w											
w3 (8)	-	w											
w4 (9)	-	w									x	x	x

Kürzel	Alter	Geschlecht	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
m1 (5)	-	m											
m2 (6)	-	m											
m3 (9)	-	m											
m4 (10)	-	m									x	x	x
	Ø 40 Ø w 40 Ø m 41	Σw=82 Σw=71	11w & 10m	10w & 11m	14w & 10m	14w & 10m	14w & 10m	10w & 10m	10w & 10m	10w & 10m	10w & 10m	10w & 10m	10w & 10m

H Zusammenstellung: Anzahl der Nennungen im Geruchsrads je Prüfer:in

Tabelle 93: Übersicht über die Anzahl an Nennungen im Geruchsrads je Prüfer:in – Räume 1 bis 10.

Angabe der Nennungen im Geruchsrads über alle Prüfer:innen (N) und im Mittel je Prüfer:in und Innenraum. Zusätzliche Untergliederung nach Geschlechtern, Trainingsstatus und Ebene des Geruchsrads.

Prüfer:innen Gruppen nach Trainingsstatus und Geschlecht	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
alle Prüfer:innen	N= 203 6,77	N= 179 4,84	N= 223 5,58	N= 265 6,31	N= 308 7,33	N= 230 5,9	N= 96 4,8	N= 295 7,76	N= 149 4,14	N= 202 5,61
alle Prüfer:innen - Ebene 1	N= 51 1,7	N= 53 1,43	N= 74 1,85	N= 79 1,88	N= 92 2,19	N= 67 1,72	N= 26 1,3	N= 71 1,87	N= 48 1,33	N= 58 1,61
alle Prüfer:innen - Ebene 2	N= 76 2,53	N= 66 1,78	N= 89 2,23	N= 108 2,57	N= 121 2,88	N= 92 2,36	N= 36 1,8	N= 113 2,97	N= 51 1,42	N= 76 2,11
alle Prüfer:innen - Ebene 3	N= 76 2,53	N= 60 1,62	N= 60 1,5	N= 78 1,86	N= 95 2,26	N= 71 1,82	N= 34 1,7	N= 111 2,92	N= 50 1,39	N= 68 1,89
Prüfer:innen - nur trainierte	N= 75 7,5	N= 72 5,54	N= 88 6,29	N= 118 7,38	N= 131 8,19	N= 104 7,43	N= 15 5	N= 125 8,33	N= 68 4,53	N= 124 8,27
Prüfer:innen - nur trainierte - Ebene 1	N= 19 1,9	N= 21 1,62	N= 30 2,14	N= 34 2,13	N= 35 2,19	N= 26 1,86	N= 4 1,33	N= 30 2	N= 23 1,53	N= 32 2,13
Prüfer:innen - nur trainierte - Ebene 2	N= 27 2,7	N= 26 2	N= 34 2,43	N= 48 3	N= 49 3,06	N= 40 2,86	N= 6 2	N= 48 3,2	N= 23 1,53	N= 46 3,07
Prüfer:innen - nur trainierte - Ebene 3	N= 29 2,9	N= 25 1,92	N= 24 1,71	N= 36 2,25	N= 47 2,94	N= 38 2,71	N= 5 1,67	N= 47 3,13	N= 22 1,47	N= 46 3,07
Prüfer:innen - nur untrainierte	N= 120 6	N= 107 4,46	N= 135 5,19	N= 147 5,65	N= 177 6,81	N= 126 5,04	N= 81 4,76	N= 170 7,39	N= 81 3,86	N= 78 3,71

Prüfer:innen Gruppen nach Trainingsstatus und Geschlecht	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
Prüfer:innen - nur untrainierte - Ebene 1	N= 31 1,55	N= 32 1,33	N= 44 1,69	N= 45 1,73	N= 57 2,19	N= 41 1,64	N= 22 1,29	N= 41 1,78	N= 25 1,19	N= 26 1,24
Prüfer:innen - nur untrainierte - Ebene 2	N= 45 2,25	N= 40 1,67	N= 55 2,12	N= 60 2,31	N= 72 2,77	N= 52 2,08	N= 30 1,76	N= 65 2,83	N= 28 1,33	N= 30 1,43
Prüfer:innen - nur untrainierte - Ebene 3	N= 44 2,2	N= 35 1,46	N= 36 1,38	N= 42 1,62	N= 48 1,85	N= 33 1,32	N= 29 1,71	N= 64 2,78	N= 28 1,33	N= 22 1,05
alle Prüferinnen	N= 134 7,05	N= 127 5,29	N= 126 5,25	N= 128 6,1	N= 141 7,05	N= 124 6,53	N= 43 4,78	N= 182 8,67	N= 76 4,22	N= 112 6,22
alle Prüferinnen - Ebene 1	N= 35 1,84	N= 37 1,54	N= 40 1,67	N= 38 1,81	N= 43 2,15	N= 33 1,74	N= 12 1,33	N= 42 2	N= 25 1,39	N= 29 1,61
alle Prüferinnen - Ebene 2	N= 48 2,53	N= 49 2,04	N= 50 2,08	N= 50 2,38	N= 54 2,7	N= 49 2,58	N= 17 1,89	N= 69 3,29	N= 25 1,39	N= 44 2,44
alle Prüferinnen - Ebene 3	N= 51 2,68	N= 41 1,71	N= 36 1,5	N= 40 1,9	N= 44 2,2	N= 42 2,21	N= 14 1,56	N= 71 3,38	N= 26 1,44	N= 39 2,17
Prüferinnen - nur trainierte	N= 65 8,13	N= 61 5,55	N= 45 5,63	N= 72 7,2	N= 74 7,4	N= 71 7,89	N= 4 4	N= 93 9,3	N= 31 4,43	N= 70 10
Prüferinnen - nur trainierte - Ebene 1	N= 16 2	N= 19 1,73	N= 14 1,75	N= 21 2,1	N= 21 2,1	N= 17 1,89	N= 1 1	N= 22 2,2	N= 11 1,57	N= 16 2,29
Prüferinnen - nur trainierte - Ebene 2	N= 23 2,88	N= 22 2	N= 15 1,88	N= 28 2,8	N= 28 2,8	N= 27 3	N= 2 2	N= 36 3,6	N= 10 1,43	N= 27 3,86
Prüferinnen - nur trainierte - Ebene 3	N= 26 3,25	N= 20 1,82	N= 16 2	N= 23 2,3	N= 25 2,5	N= 27 3	N= 1 1	N= 35 3,5	N= 10 1,43	N= 27 3,86

Prüfer:innen Gruppen nach Trainingsstatus und Geschlecht	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
Prüferinnen - nur untrainierte	N= 69 6,27	N= 66 5,08	N= 81 5,06	N= 56 5,09	N= 67 6,7	N= 53 5,3	N= 39 4,88	N= 89 8,09	N= 45 4,09	N= 42 3,82
Prüferinnen - nur untrainierte - Ebene 1	N= 19 1,73	N= 18 1,38	N= 26 1,63	N= 17 1,55	N= 22 2,2	N= 16 1,6	N= 11 1,38	N= 20 1,82	N= 14 1,27	N= 13 1,18
Prüferinnen - nur untrainierte - Ebene 2	N= 25 2,27	N= 27 2,08	N= 35 2,19	N= 22 2	N= 26 2,6	N= 22 2,2	N= 15 1,88	N= 33 3	N= 15 1,36	N= 17 1,55
Prüferinnen - nur untrainierte - Ebene 3	N= 25 2,27	N= 21 1,62	N= 20 1,25	N= 17 1,55	N= 19 1,9	N= 15 1,5	N= 13 1,63	N= 36 3,27	N= 16 1,45	N= 12 1,09
	N= 0	N= 0	N= 0	N= 0	N= 0	N= 0	N= 0	N= 0	N= 0	N= 0
alle Prüfer	N= 69 6,27	N= 52 4	N= 97 6,06	N= 137 6,52	N= 167 7,59	N= 106 5,3	N= 53 4,82	N= 113 6,65	N= 73 4,06	N= 90 5
alle Prüfer - Ebene 1	N= 16 1,45	N= 16 1,23	N= 34 2,13	N= 41 1,95	N= 49 2,23	N= 34 1,7	N= 14 1,27	N= 29 1,71	N= 23 1,28	N= 29 1,61
alle Prüfer - Ebene 2	N= 28 2,55	N= 17 1,31	N= 39 2,44	N= 58 2,76	N= 67 3,05	N= 43 2,15	N= 19 1,73	N= 44 2,59	N= 26 1,44	N= 32 1,78
alle Prüfer - Ebene 3	N= 25 2,27	N= 19 1,46	N= 24 1,5	N= 38 1,81	N= 51 2,32	N= 29 1,45	N= 20 1,82	N= 40 2,35	N= 24 1,33	N= 29 1,61
Prüfer - nur trainierte	N= 10 5	N= 11 5,5	N= 43 7,17	N= 46 7,67	N= 57 9,5	N= 33 6,6	N= 11 5,5	N= 32 6,4	N= 37 4,63	N= 54 6,75
Prüfer - nur trainierte - Ebene 1	N= 3 1,5	N= 2 1	N= 16 2,67	N= 13 2,17	N= 14 2,33	N= 9 1,8	N= 3 1,5	N= 8 1,6	N= 12 1,5	N= 16 2

Prüfer:innen Gruppen nach Trainingsstatus und Geschlecht	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
Prüfer - nur trainierte - Ebene 2	N= 4 2	N= 4 2	N= 19 3,17	N= 20 3,33	N= 21 3,5	N= 13 2,6	N= 4 2	N= 12 2,4	N= 13 1,63	N= 19 2,38
Prüfer - nur trainierte - Ebene 3	N= 3 1,5	N= 5 2,5	N= 8 1,33	N= 13 2,17	N= 22 3,67	N= 11 2,2	N= 4 2	N= 12 2,4	N= 12 1,5	N= 19 2,38
Prüfer - nur untrainierte	N= 59 6,56	N= 41 3,73	N= 54 5,4	N= 91 6,07	N= 110 6,88	N= 73 4,87	N= 42 4,67	N= 81 6,75	N= 36 3,6	N= 36 3,6
Prüfer - nur untrainierte - Ebene 1	N= 13 1,44	N= 14 1,27	N= 18 1,8	N= 28 1,87	N= 35 2,19	N= 25 1,67	N= 11 1,22	N= 21 1,75	N= 11 1,1	N= 13 1,3
Prüfer - nur untrainierte - Ebene 2	N= 24 2,67	N= 13 1,18	N= 20 2	N= 38 2,53	N= 46 2,88	N= 30 2	N= 15 1,67	N= 32 2,67	N= 13 1,3	N= 13 1,3
Prüfer - nur untrainierte - Ebene 3	N= 22 2,44	N= 14 1,27	N= 16 1,6	N= 25 1,67	N= 29 1,81	N= 18 1,2	N= 16 1,78	N= 28 2,33	N= 12 1,2	N= 10 1

Tabelle 94: Übersicht über die Anzahl an Nennungen im Geruchsrads je Prüfer:in – Räume 11 bis 21.

Angabe der Nennungen im Geruchsrads über alle Prüfer:innen (N) und im Mittel je Prüfer:in und Innenraum. Zusätzliche Untergliederung nach Geschlechtern, Trainingsstatus und Ebene des Geruchsrads.

Prüfer:innen Gruppen nach Trainingsstatus und Geschlecht	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
alle Prüfer:innen	N= 212 5,89	N= 212 6,06	N= 224 6,22	N= 218 6,06	N= 320 8,89	N= 182 6,07	N= 165 5,5	N= 202 6,73	N= 195 6,5	N= 231 7,7	N= 262 8,73
alle Prüfer:innen - Ebene 1	N= 65 1,81	N= 65 1,86	N= 67 1,86	N= 58 1,61	N= 75 2,08	N= 54 1,8	N= 53 1,77	N= 49 1,63	N= 53 1,77	N= 57 1,9	N= 67 2,23
alle Prüfer:innen - Ebene 2	N= 81 2,25	N= 81 2,31	N= 82 2,28	N= 80 2,22	N= 120 3,33	N= 66 2,2	N= 62 2,07	N= 75 2,5	N= 73 2,43	N= 85 2,83	N= 94 3,13
alle Prüfer:innen - Ebene 3	N= 66 1,83	N= 66 1,89	N= 75 2,08	N= 80 2,22	N= 125 3,47	N= 62 2,07	N= 50 1,67	N= 78 2,6	N= 69 2,3	N= 89 2,97	N= 101 3,37
Prüfer:innen - nur trainierte	N= 113 7,53	N= 113 8,07	N= 85 7,08	N= 79 6,58	N= 113 9,42	N= 69 6,9	N= 66 6,6	N= 80 8	N= 78 7,8	N= 106 10,6	N= 103 10,3
Prüfer:innen - nur trainierte - Ebene 1	N= 31 2,07	N= 31 2,21	N= 24 2	N= 20 1,67	N= 24 2	N= 21 2,1	N= 20 2	N= 17 1,7	N= 20 2	N= 25 2,5	N= 24 2,4
Prüfer:innen - nur trainierte - Ebene 2	N= 44 2,93	N= 44 3,14	N= 30 2,5	N= 28 2,33	N= 44 3,67	N= 22 2,2	N= 25 2,5	N= 29 2,9	N= 30 3	N= 38 3,8	N= 37 3,7
Prüfer:innen - nur trainierte - Ebene 3	N= 38 2,53	N= 38 2,71	N= 31 2,58	N= 31 2,58	N= 45 3,75	N= 26 2,6	N= 21 2,1	N= 34 3,4	N= 28 2,8	N= 43 4,3	N= 42 4,2
Prüfer:innen - nur untrainierte	N= 99 4,71	N= 99 4,71	N= 139 5,79	N= 139 5,79	N= 207 8,63	N= 113 5,65	N= 99 4,95	N= 122 6,1	N= 117 5,85	N= 125 6,25	N= 159 7,95
Prüfer:innen - nur untrainierte - Ebene 1	N= 34 1,62	N= 34 1,62	N= 43 1,79	N= 38 1,58	N= 51 2,13	N= 33 1,65	N= 33 1,65	N= 32 1,6	N= 33 1,65	N= 32 1,6	N= 43 2,15

Prüfer:innen Gruppen nach Trainingsstatus und Geschlecht	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
Prüfer:innen - nur untrainierte - Ebene 2	N= 37 1,76	N= 37 1,76	N= 52 2,17	N= 52 2,17	N= 76 3,17	N= 44 2,2	N= 37 1,85	N= 46 2,3	N= 43 2,15	N= 47 2,35	N= 57 2,85
Prüfer:innen - nur untrainierte - Ebene 3	N= 28 1,33	N= 28 1,33	N= 44 1,83	N= 49 2,04	N= 80 3,33	N= 36 1,8	N= 29 1,45	N= 44 2,2	N= 41 2,05	N= 46 2,3	N= 59 2,95
alle Prüferinnen	N= 129 7,17	N= 129 6,79	N= 120 6	N= 113 5,65	N= 183 9,15	N= 95 6,33	N= 85 5,67	N= 114 7,6	N= 106 7,07	N= 118 7,87	N= 163 10,87
alle Prüferinnen - Ebene 1	N= 37 2,06	N= 37 1,95	N= 37 1,85	N= 30 1,5	N= 43 2,15	N= 29 1,93	N= 28 1,87	N= 28 1,87	N= 27 1,8	N= 30 2	N= 40 2,67
alle Prüferinnen - Ebene 2	N= 51 2,83	N= 51 2,68	N= 46 2,3	N= 40 2	N= 67 3,35	N= 36 2,4	N= 32 2,13	N= 43 2,87	N= 41 2,73	N= 44 2,93	N= 59 3,93
alle Prüferinnen - Ebene 3	N= 41 2,28	N= 41 2,16	N= 37 1,85	N= 43 2,15	N= 73 3,65	N= 30 2	N= 25 1,67	N= 43 2,87	N= 38 2,53	N= 44 2,93	N= 64 4,27
Prüferinnen – nur trainierte	N= 71 10,14	N= 71 7,89	N= 47 7,83	N= 38 6,33	N= 62 10,33	N= 32 6,4	N= 31 6,2	N= 44 8,8	N= 41 8,2	N= 48 9,6	N= 63 12,6
Prüferinnen - nur trainierte - Ebene 1	N= 20 2,86	N= 20 2,22	N= 13 2,17	N= 9 1,5	N= 14 2,33	N= 9 1,8	N= 10 2	N= 9 1,8	N= 11 2,2	N= 12 2,4	N= 13 2,6
Prüferinnen - nur trainierte - Ebene 2	N= 28 4	N= 28 3,11	N= 18 3	N= 14 2,33	N= 23 3,83	N= 10 2	N= 12 2,4	N= 16 3,2	N= 16 3,2	N= 18 3,6	N= 24 4,8
Prüferinnen - nur trainierte - Ebene 3	N= 23 3,29	N= 23 2,56	N= 16 2,67	N= 15 2,5	N= 25 4,17	N= 13 2,6	N= 9 1,8	N= 19 3,8	N= 14 2,8	N= 18 3,6	N= 26 5,2
Prüferinnen - nur untrainierte	N= 58 5,27	N= 58 5,8	N= 73 5,21	N= 75 5,36	N= 121 8,64	N= 63 6,3	N= 54 5,4	N= 70 7	N= 65 6,5	N= 70 7	N= 100 10
Prüferinnen - nur untrainierte - Ebene 1	N= 17 1,55	N= 17 1,7	N= 24 1,71	N= 21 1,5	N= 29 2,07	N= 20 2	N= 18 1,8	N= 19 1,9	N= 16 1,6	N= 18 1,8	N= 27 2,7

Prüfer:innen Gruppen nach Trainingsstatus und Geschlecht	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
Prüferinnen - nur untrainierte - Ebene 2	N= 23 2,09	N= 23 2,3	N= 28 2	N= 26 1,86	N= 44 3,14	N= 26 2,6	N= 20 2	N= 27 2,7	N= 25 2,5	N= 26 2,6	N= 35 3,5
Prüferinnen - nur untrainierte - Ebene 3	N= 18 1,64	N= 18 1,8	N= 21 1,5	N= 28 2	N= 48 3,43	N= 17 1,7	N= 16 1,6	N= 24 2,4	N= 24 2,4	N= 26 2,6	N= 38 3,8
	N= 0	N= 0	N= 0	N= 0	N= 0	N= 0	N= 0	N= 0	N= 0	N= 0	N= 0
alle Prüfer	N= 83 4,61	N= 83 5,19	N= 104 6,5	N= 105 6,56	N= 137 8,56	N= 87 5,8	N= 80 5,33	N= 88 5,87	N= 89 5,93	N= 113 7,53	N= 99 6,6
alle Prüfer - Ebene 1	N= 28 1,56	N= 28 1,75	N= 30 1,88	N= 28 1,75	N= 32 2	N= 25 1,67	N= 25 1,67	N= 21 1,4	N= 26 1,73	N= 27 1,8	N= 27 1,8
alle Prüfer - Ebene 2	N= 30 1,67	N= 30 1,88	N= 36 2,25	N= 40 2,5	N= 53 3,31	N= 30 2	N= 30 2	N= 32 2,13	N= 32 2,13	N= 41 2,73	N= 35 2,33
alle Prüfer - Ebene 3	N= 25 1,39	N= 25 1,56	N= 38 2,38	N= 37 2,31	N= 52 3,25	N= 32 2,13	N= 25 1,67	N= 35 2,33	N= 31 2,07	N= 45 3	N= 37 2,47
Prüfer - nur trainierte	N= 42 5,25	N= 42 8,4	N= 38 6,33	N= 41 6,83	N= 51 8,5	N= 37 7,4	N= 35 7	N= 36 7,2	N= 37 7,4	N= 58 11,6	N= 40 8
Prüfer - nur trainierte - Ebene 1	N= 11 1,38	N= 11 2,2	N= 11 1,83	N= 11 1,83	N= 10 1,67	N= 12 2,4	N= 10 2	N= 8 1,6	N= 9 1,8	N= 13 2,6	N= 11 2,2
Prüfer - nur trainierte - Ebene 2	N= 16 2	N= 16 3,2	N= 12 2	N= 14 2,33	N= 21 3,5	N= 12 2,4	N= 13 2,6	N= 13 2,6	N= 14 2,8	N= 20 4	N= 13 2,6
Prüfer - nur trainierte - Ebene 3	N= 15 1,88	N= 15 3	N= 15 2,5	N= 16 2,67	N= 20 3,33	N= 13 2,6	N= 12 2,4	N= 15 3	N= 14 2,8	N= 25 5	N= 16 3,2
Prüfer – nur untrainierte	N= 41 4,1	N= 41 3,73	N= 66 6,6	N= 64 6,4	N= 86 8,6	N= 50 5	N= 45 4,5	N= 52 5,2	N= 52 5,2	N= 55 5,5	N= 59 5,9

Prüfer:innen Gruppen nach Trainingsstatus und Geschlecht	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
Prüfer - nur untrainierte - Ebene 1	N= 17 1,7	N= 17 1,55	N= 19 1,9	N= 17 1,7	N= 22 2,2	N= 13 1,3	N= 15 1,5	N= 13 1,3	N= 17 1,7	N= 14 1,4	N= 16 1,6
Prüfer - nur untrainierte - Ebene 2	N= 14 1,4	N= 14 1,27	N= 24 2,4	N= 26 2,6	N= 32 3,2	N= 18 1,8	N= 17 1,7	N= 19 1,9	N= 18 1,8	N= 21 2,1	N= 22 2,2
Prüfer - nur untrainierte - Ebene 3	N= 10 1	N= 10 0,91	N= 23 2,3	N= 21 2,1	N= 32 3,2	N= 19 1,9	N= 13 1,3	N= 20 2	N= 17 1,7	N= 20 2	N= 21 2,1

I Zusammenstellung rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten

In den folgenden Tabellen finden sich Einzeldaten zur Wiederfindung von rein humansensorischen Daten aus der Geruchsradanwendung (Nennungen durch Prüfer:innen) sowie aus der HPLC, GC-MS und GC-MS-Sniffing Analyse. Für die HPLC/GC-MS wurden Daten zugrunde gelegt, bei denen eine Detektion der Stoffe in relevanten Konzentrationen im Innenraum möglich war. Berücksichtigt sind hier also solche Stoffe, die nachweislich in Konzentrationen vorlagen, die nicht geringer als Faktor 10 unterhalb der angenommenen Geruchsschwellen lagen. Daten aus dem GC-MS-Sniffing wurden aufgeführt, sobald ein im Sniffing wahrgenommener Geruch mit hoher Sicherheit einer Einzelsubstanz zugeordnet werden konnte. Für Substanzen, die geruchlich wahrgenommen wurden, aber analytisch nicht detektierbar waren, wurde diese Zuordnung in Abhängigkeit der Retentionszeit und des Retentionsindex vorgenommen.

Tabelle 95: Prüfer:innenbewertungen, HPLC, GC-MS und GC-MS-Sniffing – Wiederfindung der im Geruchsrاد hinterlegten Substanzen in untersuchten Innenräumen – Räume 1 bis 7.

Detektion durch Prüfer:innen in der Bewertung mittels Geruchsrاد (P), in der HPLC/GC-MS (x) und geruchliche Bestätigung im GC-MS-Sniffing (o). Substanzen, die mehreren Geruchsnoten zugeordnet sind, sind im Folgenden entsprechend mehrfach aufgeführt, um die Zuordnung „P“ zutreffend vorzunehmen. Grün hinterlegte Felder kennzeichnen Kombinationen aus analytischen (HPLC/GC-MS oder GC-MS-Sniffing) und rein humansensorischen Daten (Nennungen im Geruchsrاد). Weiße Felder mit *kursiver* Schrift kennzeichnen Felder, die keine Überschneidung von sensorischen und rein analytischen Daten aufweisen. Leere weiße Felder kennzeichnen, dass weder analytische, noch sensorische Detektionen gegeben sind.

Nr.	Relevanz	Substanz – ggf. mit Geruchsnote	CAS-Nr.	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7
1	1	(+)-alpha-Pinen	7785-70-8			P	P			P
2	2	(E)-2-Nonenal/(E)-2-Decenal	18829-56-6	x / o / P	P	P	P	P	P	P
3	3	1,2,3-Trimethylbenzol	526-73-8	P	P	P	P	P		P
4	1	1-Butanol – chemisch süß	71-36-3	x / P	x / P	x / P	P	P	x / P	P
4	1	1-Butanol – stechend	71-36-3	x / P	x / P	x / P	P	P	x / P	
4	1	1-Butanol – stechend, beißend	71-36-3	x / P	x	x		P	x	
5	2	1-Butoxy-2-propanol	5131-66-8	o	o / P	P	o / P	P	o / P	
6	1	1-Chlornaphthalin - muffig	90-13-1	P	P	P	P	P	P	P
6	1	1-Chlornaphthalin – alt	90-13-1	P	P	P	P	P	P	
7	2	1-Methylnaphthalin – muffig	90-12-0	P	P	P	P	P	P	P
7	2	1-Methylnaphthalin – alt	90-12-0	P	P	P	P	P	P	

Nr.	Relevanz	Substanz – ggf. mit Geruchsnote	CAS-Nr.	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7
8		1,4-Dimethylnaphthalin – muffig	571-58-4	P	P	P	P	P	P	P
8		1,4-Dimethylnaphthalin – modrig	571-58-4	P	P	P	P	P	P	P
9	2	2,3,4,5,6-Pentachloranisol	1825-21-4	P	P	P	P	P		P
10	2	2,3,4,6-Tetrachloroanisol	938-22-7	P	P	P	P	P		P
11	2	2,3,4-Trichloranisol	54135-80-7	P	P	P	P	P		P
12	2	2,3,6-Trichloranisol	50375-10-5	P	P	P	P	P		P
13	2	2,4,6-Trichloranisol	87-40-1	P	P	P	P	P		P
14	2	2-Butanon – fruchtig süß	78-93-3		P	P	P	P	P	P
14	2	2-Butanon – chemisch süß	78-93-3	P	P	P	P	P	P	P
15		2-Butanonoxim	96-29-7	P	P	P	P	P	P	P
16	1	2-Butoxyethanol – ranzig	111-76-2	P	P			P	P	
16	1	2-Butoxyethanol – chemisch süß	111-76-2	P	P	P	P	P	P	P
17	1	2-Ethylhexanol – mentholig	104-76-7		x	x / o		P	P	x
17	1	2-Ethylhexanol – PVC	104-76-7	P	x / P	x / o / P	P	P	P	x / P
17	1	2-Ethylhexanol – Gummi	104-76-7	P	x / P	x / o / P	P	P		x / P
18	2	2-Methyl-1-propanol	78-83-1	P	P	P	P	P	P	
19	2	2-Methylnaphthalin – muffig	91-57-6	P	P	P	P	P	P	P
19	2	2-Methylnaphthalin – modrig	91-57-6	P	P	P	P	P	P	P
19	2	2-Methylnaphthalin – alt	91-57-6	P	P	P	P	P	P	
20	2	2-Phenoxyethanol – Gummi	122-99-6	P	P	P	P	P		P
20	2	2-Phenoxyethanol – stechend	122-99-6	P	P	P	P	P	P	
20	2	2-Phenoxyethanol – stechend, beißend	122-99-6	P				P		
21	3	2-Propanol (Isopropanol) – medizinisch	67-63-0	P			P	P	P	
21	3	2-Propanol (Isopropanol) – Desinfektion	67-63-0			P		P	P	

Nr.	Relevanz	Substanz – ggf. mit Geruchsnote	CAS-Nr.	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7
22	1	Acetaldehyd – blumig	75-07-0	x / o	x / P	x	x / o / P	x / P	x / o / P	x
22	1	Acetaldehyd – stechend	75-07-0	x / o / P	x / P	x / P	x / o / P	x / P	x / o / P	x
23		Aceton	67-64-1	P	P	P				
24	3	Acetophenon	98-86-2	x / P	P	P	P	P	P	P
25	3	Acrolein (Acrylaldehyd) – chemisch süß	107-02-8	x / P	x / P	o / P	P	P	P	P
25	3	Acrolein (Acrylaldehyd) – verbrannt	107-02-8	x / P	x	o			P	
26	1	alpha-Pinen (Dimer)	80-56-8	o		P	P	o		P
27	1	Benzaldehyd	100-52-7			o				
28	2	Benzothiazol	95-16-9	P	P	P	o / P	P	o	P
29	1	beta-Pinen	127-91-3			P	P			P
30	1	Butansäure	107-92-6	x / o		o			o	
31	1	Butyraldehyd (Butanal)	123-72-8	x / o / P	x / o / P	x / o / P	x / o / P	x / o / P	x / o / P	x / o
32	1	Capronsäure – ziegig	142-62-1				P	P		
32	1	Capronsäure – schweißig	142-62-1	P	P		P	P	P	
33	1	Decanal – krautig	112-31-2	x	x / P		x / o	x / P	x / P	x
33	1	Decanal – fruchtig Zitrus	112-31-2	x	x	P	x / o / P	x	x	x
34	2	delta-3-Caren – harzig	13466-78-9			P	P			P
34	2	delta-3-Caren – chemisch süß	13466-78-9	P	P	P	P	P	P	P
35	1	DL-Limonen – fruchtig Zitrus	7705-14-8			P	P			
35	1	DL-Limonen – chemisch Zitrus	7705-14-8			P	P	P		
36	1	Essigsäure	64-19-7	x / o	o	o	o	P	o	o
37	1	Ethylacetat	141-78-6	P	P	P				
38	2	Ethylbenzol	100-41-4	P		x / P				
39	1	Formaldehyd	50-00-0			x / P		P	P	
40	1	Geosmin	19700-21-1	P	P	P	P	P		o / P
41	1	Heptanal	111-71-7	x / o	x / o	x / P	x / P	x	x	x

Nr.	Relevanz	Substanz – ggf. mit Geruchsnote	CAS-Nr.	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7
42	1	Heptansäure	111-14-8	P	P			P	P	
43	1	Hexanal (Capronaldehyd) – krautig	66-25-1	x/o	x/o/P	x/o	x	x/o/P	x/o/P	x
43	1	Hexanal (Capronaldehyd) – ranzig	66-25-1	x/o/P	x/o/P	x/o	x	x/o/P	x/o/P	x
44	1	Limonen – fruchtig Zitrus	138-86-3			P	P			
44	1	Limonen – chemisch Zitrus	138-86-3			P	P	P		
45	1	m/p-Xylol	1330-20-7	P	P	P	P	P	P	P
46	1	m-Kresol – pflanzlich Kork	108-39-4	x/o/P		P	P	P	P	P
46	1	m-Kresol – Pferdestall	108-39-4	x/o/P		P	P	P		
46	1	m-Kresol – muffig Kork	108-39-4	x/o		P	P		P	P
47	1	Naphthalin – Teer	91-20-3	x/o/P		x/P		o/P		x/o
47	1	Naphthalin – muffig	91-20-3	x/o/P	P	x/P	P	o/P	P	x/o/P
47	1	Naphthalin – alt	91-20-3	x/o/P	P	x/P	P	o/P	P	x/o
48	1	n-Butylacetat – Banane	123-86-4			P				
48	1	n-Butylacetat – Lacke	123-86-4	P	P	P	P	P	P	P
49	1	Nonanal – krautig	124-19-6	x/o	x/o/P	x/o	x	x/P	x/o/P	x/o
49	1	Nonanal – fruchtig Zitrus	124-19-6	x/o	x/o	x/o/P	x/P	x	x/o	x/o
50	1	Octanal – fruchtig Zitrus	124-13-0	x/o	x/o	x/o/P	x/o/P	x/o	x/o	x/o
50	1	Octanal – fettig	124-13-0	x/o	x/o	x/o	x/o	x/o/P	x/o	x/o
51	2	o-Xylol – chemisch süß	95-47-6	P	P	o/P	P	o/P	P	P
51	2	o-Xylol – verbrannt süß	95-47-6	P	P	o/P		o	P	
52	1	Phenol – Teer	108-95-2	P	o	P		P		
52	1	Phenol – chemisch süß	108-95-2	P	o/P	P	P	P	P	P
53	1	p-Kresol	106-44-5	P		P	P	P		o
54	1	Propionaldehyd (Propanal)	123-38-6	x/P	x/P	P	P	P	P	
55	1	R-Limonen – fruchtig Zitrus	5989-27-5			P	P			
55	1	R-Limonen – chemisch Zitrus	5989-27-5			P	P	P		

Nr.	Relevanz	Substanz – ggf. mit Geruchsnote	CAS-Nr.	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7
56	1	Styrol – chemisch süß	100-42-5	P	P	x / P	P	P	P	P
56	1	Styrol – stechend, beißend	100-42-5	P		x		P		
56	1	Styrol – Kunststoff, Plastik	100-42-5			x / P	P	P	P	P
57	1	Toluol – chemisch süß	108-88-3	P	P	P	P	P	P	P
57	1	Toluol – stechend, beißend	108-88-3	P				P		
58	2	Trimethylamin	75-50-3							
59	1	Valeraldehyd (Pentanal) – fruchtig	110-62-3	x	x / P	P	P	P	P	x
59	1	Valeraldehyd (Pentanal) – muffig	110-62-3	x / P	x / P	P	P	P	P	x / P
60		3-methyl-Butanal - rauchig, röstig	590-86-3	x / o	x / o	P	x / P	P	x / o	x
61		2-methyl-Propanal - rauchig, röstig	78-84-2	x / o	x	x / P	P	P	x	x
62		2-Ethylhexylacetat - rauchig, röstig	103-09-3		x	P	P	P		
63		1-Pentanol - Kunststoff, Plastik	71-41-0			P	P	P	P	P
64		Trichloromonofluoromethan - sonstige Reinigungsmittel	75-69-4				P	P	P	

Tabelle 96: Prüfer:innenbewertungen, HPLC, GC-MS und GC-MS-Sniffing – Wiederfindung der im Geruchsrads hinterlegten Substanzen in untersuchten Innenräumen – Räume 8 bis 14.

Detektion durch Prüfer:innen in der Bewertung mittels Geruchsrads (P), in der HPLC/GC-MS (x) und geruchliche Bestätigung im GC-MS-Sniffing (o). Substanzen, die mehreren Geruchsnoten zugeordnet sind, sind im Folgenden entsprechend mehrfach aufgeführt, um die Zuordnung „P“ zutreffend vorzunehmen. Grün hinterlegte Felder kennzeichnen Kombinationen aus analytischen (HPLC/GC-MS oder GC-MS-Sniffing) und rein humansensorischen Daten (Nennungen im Geruchsrads). Weiße Felder mit *kursiver* Schrift kennzeichnen Felder, die keine Überschneidung von sensorischen und rein analytischen Daten aufweisen. Leere weiße Felder kennzeichnen, dass weder analytische, noch sensorische Detektionen gegeben sind.

Lfn. Nr.	Relevanz	Substanz – ggf. mit Geruchsnote	CAS-Nr.	Raum 8	Raum 9	Raum 10	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14
1	1	(+)-alpha-Pinen	7785-70-8			<i>P</i>		<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>
2	2	(E)-2-Nonenal/(E)-2-Decenal	18829-56-6		<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	o / P	<i>P</i>	
3	3	1,2,3-Trimethylbenzol	526-73-8	<i>P</i>	<i>P</i>	o / P	o / P	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>
4	1	1-Butanol – chemisch süß	71-36-3	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	x / P	<i>x</i>	x / P
4	1	1-Butanol – stechend	71-36-3	<i>P</i>		<i>P</i>	<i>P</i>	x / P	x / P	x / P
4	1	1-Butanol – stechend, beißend	71-36-3	<i>P</i>		<i>P</i>		<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>
5	2	1-Butoxy-2-propanol	5131-66-8		o / P	<i>P</i>	<i>o</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>
6	1	1-Chlornaphthalin - muffig	90-13-1	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>
6	1	1-Chlornaphthalin – alt	90-13-1	<i>P</i>		<i>P</i>		<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>
7	2	1-Methylnaphthalin – muffig	90-12-0	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	o / P	<i>P</i>	<i>P</i>
7	2	1-Methylnaphthalin – alt	90-12-0	<i>P</i>		<i>P</i>		o / P	<i>P</i>	<i>P</i>
8		1,4-Dimethylnaphthalin – muffig	571-58-4	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>
8		1,4-Dimethylnaphthalin – modrig	571-58-4	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>
9	2	2,3,4,5,6-Pentachloranisol	1825-21-4	<i>P</i>	<i>P</i>			<i>P</i>		<i>P</i>

Lfn. Nr.	Relevanz	Substanz – ggf. mit Geruchsnote	CAS-Nr.	Raum 8	Raum 9	Raum 10	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14
10	2	2,3,4,6-Tetrachloroanisol	938-22-7	P	P			P		P
11	2	2,3,4-Trichloroanisol	54135-80-7	P	P			P		P
12	2	2,3,6-Trichloroanisol	50375-10-5	P	P			P		P
13	2	2,4,6-Trichloroanisol	87-40-1	P	P			P		P
14	2	2-Butanon – fruchtig süß	78-93-3		P	P	P	P	P	P
14	2	2-Butanon – chemisch süß	78-93-3	P	P	P	P	P		P
15		2-Butanonoxim	96-29-7	P	P	P	P	P		P
16	1	2-Butoxyethanol – ranzig	111-76-2	P		P	P		P	P
16	1	2-Butoxyethanol – chemisch süß	111-76-2	P	P	P	P	P		P
17	1	2-Ethylhexanol – mentholig	104-76-7	x	P				x / P	P
17	1	2-Ethylhexanol – PVC	104-76-7	x / P	P	P	P	P	x / P	P
17	1	2-Ethylhexanol – Gummi	104-76-7	x / P	P	P	P	P	x / P	P
18	2	2-Methyl-1-propanol	78-83-1	P	P		P	P		
19	2	2-Methylnaphthalin – muffig	91-57-6	x / P	P	P	P	P	P	P
19	2	2-Methylnaphthalin – modrig	91-57-6	x / P	P	P	P	P	P	P
19	2	2-Methylnaphthalin – alt	91-57-6	x / P		P		P	P	P
20	2	2-Phenoxyethanol – Gummi	122-99-6	P	P	P	P	P	P	P
20	2	2-Phenoxyethanol – stechend	122-99-6	P		P	P	P	P	P
20	2	2-Phenoxyethanol – stechend, beißend	122-99-6	P		P				

Lfn. Nr.	Relevanz	Substanz – ggf. mit Geruchsnote	CAS-Nr.	Raum 8	Raum 9	Raum 10	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14
21	3	2-Propanol (Isopropanol) – medizinisch	67-63-0	P	P	P	P	P	P	P
21	3	2-Propanol (Isopropanol) – Desinfektion	67-63-0	P	P				P	P
22	1	Acetaldehyd – blumig	75-07-0	x / P	x / o / P	x / P	x / P	x	x / P	x / P
22	1	Acetaldehyd – stechend	75-07-0	x / P	x / o	x / P	x / P	x / P	x / P	x / P
23		Aceton	67-64-1	P	x / o		P			
24	3	Acetophenon	98-86-2	P	x / o / P	x / P	x / o / P	x / o / P	x / o	x / P
25	3	Acrolein (Acrylaldehyd) – chemisch süß	107-02-8	P	P	P	P	P	x	x / P
25	3	Acrolein (Acrylaldehyd) – verbrannt	107-02-8						x	x
26	1	alpha-Pinen (Dimer)	80-56-8			P		x / o / P	P	o / P
27	1	Benzaldehyd	100-52-7		P					
28	2	Benzothiazol	95-16-9	P	o / P	P	P	o / P	P	P
29	1	beta-Pinen	127-91-3			P		P	P	P
30	1	Butansäure	107-92-6				P		x	
31	1	Butyraldehyd (Butanal)	123-72-8	x / P	x / o	x / o / P	x / o / P	x / P	x / P	x / P
32	1	Capronsäure – ziegig	142-62-1			P			x	
32	1	Capronsäure – schweißig	142-62-1	P	P	P	P		x / P	P
33	1	Decanal – krautig	112-31-2	x	x / o / P	x	x / P	x	x	x / P
33	1	Decanal – fruchtig Zitrus	112-31-2	x	x / o	x	x / P	x	x / P	x / P
34	2	delta-3-Caren – harzig	13466-78-9			P		P	P	P

Lfn. Nr.	Relevanz	Substanz – ggf. mit Geruchsnote	CAS-Nr.	Raum 8	Raum 9	Raum 10	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14
34	2	delta-3-Caren – chemisch süß	13466-78-9	P	P	P	P	P		P
35	1	DL-Limonen – fruchtig Zitrus	7705-14-8				P		P	P
35	1	DL-Limonen – chemisch Zitrus	7705-14-8	P				P		P
36	1	Essigsäure	64-19-7	o / P	x	P	x / o / P	x	x / P	x / P
37	1	Ethylacetat	141-78-6	P			P			
38	2	Ethylbenzol	100-41-4	x / P						
39	1	Formaldehyd	50-00-0	P	x / P			x	x / P	x / P
40	1	Geosmin	19700-21-1	P	P			P		P
41	1	Heptanal	111-71-7	x	x / o	x	x / P	x	x / P	x / P
42	1	Heptansäure	111-14-8	P		P	P		P	P
43	1	Hexanal (Capronaldehyd) – krautig	66-25-1	x / o	x / o / P	x / o	x / o / P	x / o	x	x / o / P
43	1	Hexanal (Capronaldehyd) – ranzig	66-25-1	x / o / P	x / o	x / o / P	x / o / P	x / o	x / P	x / o / P
44	1	Limonen – fruchtig Zitrus	138-86-3				P		P	o / P
44	1	Limonen – chemisch Zitrus	138-86-3	P				P		o / P
45	1	m/p-Xylol	1330-20-7	P	P	P	P	P		P
46	1	m-Kresol – pflanzlich Kork	108-39-4		P	P	P	P	P	P
46	1	m-Kresol – Pferdestall	108-39-4							
46	1	m-Kresol – muffig Kork	108-39-4	P		P	P	P	P	P
47	1	Naphthalin – Teer	91-20-3	x / o				x / o	x	x

Lfn. Nr.	Relevanz	Substanz – ggf. mit Geruchsnote	CAS-Nr.	Raum 8	Raum 9	Raum 10	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14
47	1	Naphthalin – muffig	91-20-3	x / o / P	P	P	P	x / o / P	x / P	x / P
47	1	Naphthalin – alt	91-20-3	x / o / P		P		x / o / P	x / P	x / P
48	1	n-Butylacetat – Banane	123-86-4						P	
48	1	n-Butylacetat – Lacke	123-86-4	P	P	P	P	P		P
49	1	Nonanal – krautig	124-19-6	x	x / P	x	x / P		x / o	x / o / P
49	1	Nonanal – fruchtig Zitrus	124-19-6	x	x	x	x / P		x / o / P	x / o / P
50	1	Octanal – fruchtig Zitrus	124-13-0	x / o	x	x	x / P	x / o	P	x / o / P
50	1	Octanal – fettig	124-13-0	x / o	x	x / P	x / P	x / o		x / o
51	2	o-Xylol – chemisch süß	95-47-6	P	P	P	o / P	P		P
51	2	o-Xylol – verbrannt süß	95-47-6	P			o / P			
52	1	Phenol – Teer	108-95-2							
52	1	Phenol – chemisch süß	108-95-2	P	P	P	P	P		P
53	1	p-Kresol	106-44-5							
54	1	Propionaldehyd (Propanal)	123-38-6	P		P	P	x / P	P	P
55	1	R-Limonen – fruchtig Zitrus	5989-27-5				o / P	x / o	x / o / P	P
55	1	R-Limonen – chemisch Zitrus	5989-27-5	P			o	x / o / P	x / o	P
56	1	Styrol – chemisch süß	100-42-5	P	P	P	o / P	P		P
56	1	Styrol – stechend, beißend	100-42-5	P		P	o			
56	1	Styrol – Kunststoff, Plastik	100-42-5	P	P	P	o / P	P	P	P

Lfn. Nr.	Relevanz	Substanz – ggf. mit Geruchsnote	CAS-Nr.	Raum 8	Raum 9	Raum 10	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14
57	1	Toluol – chemisch süß	108-88-3	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>		<i>o / P</i>
57	1	Toluol – stechend, beißend	108-88-3	<i>P</i>		<i>P</i>				<i>o</i>
58	2	Trimethylamin	75-50-3							
59	1	Valeraldehyd (Pentanal) – fruchtig	110-62-3	<i>x</i>	<i>x / P</i>	<i>x / o / P</i>	<i>x</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>
59	1	Valeraldehyd (Pentanal) – muffig	110-62-3	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / o / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>
60		3-Methyl-Butanal - rauchig, röstig	590-86-3			<i>x</i>	<i>x</i>		<i>x</i>	<i>x</i>
61		2-Methyl-Propanal - rauchig, röstig	78-84-2		<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>		<i>x</i>	<i>x</i>
62		2-Ethylhexylacetat - rauchig, röstig	103-09-3						<i>o</i>	
63		1-Pentanol - Kunststoff, Plastik	71-41-0	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>o / P</i>	<i>x / P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>
64		Trichloromonoflouromethan - sonstige Reinigungsmittel	75-69-4	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>

Tabelle 97: Prüfer:innenbewertungen, HPLC, GC-MS und GC-MS-Sniffing – Wiederfindung der im Geruchsrads hinterlegten Substanzen in untersuchten Innenräumen – Räume 15 bis 21.

Detektion durch Prüfer:innen in der Bewertung mittels Geruchsrads (P), in der HPLC/GC-MS (x) und geruchliche Bestätigung im GC-MS-Sniffing (o). Substanzen, die mehreren Geruchsnoten zugeordnet sind, sind im Folgenden entsprechend mehrfach aufgeführt, um die Zuordnung „P“ zutreffend vorzunehmen. Grün hinterlegte Felder kennzeichnen Kombinationen aus analytischen (HPLC/GC-MS oder GC-MS-Sniffing) und rein humansensorischen Daten (Nennungen im Geruchsrads). Weiße Felder mit *kursiver* Schrift kennzeichnen Felder, die keine Überschneidung von sensorischen und rein analytischen Daten aufweisen. Leere weiße Felder kennzeichnen, dass weder analytische, noch sensorische Detektionen gegeben sind.

Lfn. Nr.	Relevanz	Substanz – ggf. mit Geruchsnote	CAS-Nr.	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
1	1	(+)-alpha-Pinen	7785-70-8		<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>			
2	2	(E)-2-Nonenal/(E)-2-Decenal	18829-56-6	<i>P</i>	<i>x</i>		<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	
3	3	1,2,3-Trimethylbenzol	526-73-8	<i>P</i>	<i>P</i>		<i>P</i>	<i>P</i>		<i>P</i>
4	1	1-Butanol – chemisch süß	71-36-3	<i>o / P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>			<i>x / P</i>	<i>x / P</i>
4	1	1-Butanol – stechend	71-36-3	<i>o / P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>
4	1	1-Butanol – stechend, beißend	71-36-3	<i>o / P</i>					<i>x / P</i>	<i>x / P</i>
5	2	1-Butoxy-2-propanol	5131-66-8		<i>P</i>	<i>P</i>		<i>P</i>		<i>P</i>
6	1	1-Chlornaphthalin - muffig	90-13-1	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>
6	1	1-Chlornaphthalin – alt	90-13-1	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>
7	2	1-Methylnaphthalin – muffig	90-12-0	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>
7	2	1-Methylnaphthalin – alt	90-12-0	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>
8		1,4-Dimethylnaphthalin – muffig	571-58-4	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>
8		1,4-Dimethylnaphthalin – modrig	571-58-4	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>
9	2	2,3,4,5,6-Pentachloranisol	1825-21-4	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>

Lfn. Nr.	Relevanz	Substanz – ggf. mit Geruchsnote	CAS-Nr.	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
10	2	2,3,4,6-Tetrachloroanisol	938-22-7	P	P	P	P	P	P	P
11	2	2,3,4-Trichloranisol	54135-80-7	P	P	P	P	P	P	P
12	2	2,3,6-Trichloranisol	50375-10-5	P	P	P	P	P	P	P
13	2	2,4,6-Trichloranisol	87-40-1	P	P	P	P	P	P	P
14	2	2-Butanon – fruchtig süß	78-93-3	P	P	P		P	P	P
14	2	2-Butanon – chemisch süß	78-93-3	P	P	P			P	P
15		2-Butanonoxim	96-29-7		P		P	P	P	P
16	1	2-Butoxyethanol – ranzig	111-76-2	P			P			
16	1	2-Butoxyethanol – chemisch süß	111-76-2	P	P	P			P	P
17	1	2-Ethylhexanol – mentholig	104-76-7		x	P	x		x	x / P
17	1	2-Ethylhexanol – PVC	104-76-7		x / P	P	x / P	P	x / P	x / P
17	1	2-Ethylhexanol – Gummi	104-76-7	P	x / P		x / P	P	x	x / P
18	2	2-Methyl-1-propanol	78-83-1	P	P	P	P		P	P
19	2	2-Methylnaphthalin – muffig	91-57-6	P	P	P	P	P	x / o / P	P
19	2	2-Methylnaphthalin – modrig	91-57-6	P	P	P	P	P	x / o / P	P
19	2	2-Methylnaphthalin – alt	91-57-6	P	P	P	P	P	x / o / P	P
20	2	2-Phenoxyethanol – Gummi	122-99-6	P	P		P	P		P
20	2	2-Phenoxyethanol – stechend	122-99-6	P	P	P	P	P	P	P
20	2	2-Phenoxyethanol – stechend, beißend	122-99-6	P					P	P

Lfn. Nr.	Relevanz	Substanz – ggf. mit Geruchsnote	CAS-Nr.	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
21	3	2-Propanol (Isopropanol) – medizinisch	67-63-0	<i>o</i>		<i>P</i>			<i>P</i>	<i>P</i>
21	3	2-Propanol (Isopropanol) – Desinfektion	67-63-0	<i>o</i>		<i>P</i>				<i>P</i>
22	1	Acetaldehyd – blumig	75-07-0	<i>x / o</i>	<i>x</i>	<i>x / P</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x / P</i>
22	1	Acetaldehyd – stechend	75-07-0	<i>x / o / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>
23		Aceton	67-64-1		<i>P</i>					
24	3	Acetophenon	98-86-2	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x / P</i>	<i>x / o / P</i>
25	3	Acrolein (Acrylaldehyd) – chemisch süß	107-02-8	<i>x / P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>			<i>x / P</i>	<i>x / P</i>
25	3	Acrolein (Acrylaldehyd) – verbrannt	107-02-8	<i>x / P</i>					<i>x / P</i>	<i>x / P</i>
26	1	alpha-Pinen (Dimer)	80-56-8		<i>o / P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>		<i>x / o</i>	<i>x / o</i>
27	1	Benzaldehyd	100-52-7	<i>o</i>					<i>P</i>	
28	2	Benzothiazol	95-16-9	<i>o / P</i>	<i>P</i>		<i>P</i>	<i>P</i>		<i>P</i>
29	1	beta-Pinen	127-91-3		<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>		<i>o</i>	
30	1	Butansäure	107-92-6	<i>P</i>			<i>x</i>		<i>x</i>	
31	1	Butyraldehyd (Butanal)	123-72-8	<i>P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / o / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>
32	1	Capronsäure – ziegig	142-62-1	<i>P</i>				<i>P</i>		<i>P</i>
32	1	Capronsäure – schweißig	142-62-1	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>			
33	1	Decanal – krautig	112-31-2	<i>x / o</i>	<i>x</i>	<i>x / P</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x / P</i>
33	1	Decanal – fruchtig Zitrus	112-31-2	<i>x / o</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>
34	2	delta-3-Caren – harzig	13466-78-9		<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>		<i>o</i>	

Lfn. Nr.	Relevanz	Substanz – ggf. mit Geruchsnote	CAS-Nr.	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
34	2	delta-3-Caren – chemisch süß	13466-78-9	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>			<i>o / P</i>	<i>P</i>
35	1	DL-Limonen – fruchtig Zitrus	7705-14-8		<i>P</i>	<i>P</i>				
35	1	DL-Limonen – chemisch Zitrus	7705-14-8		<i>P</i>	<i>P</i>		<i>P</i>		
36	1	Essigsäure	64-19-7	<i>x / P</i>	<i>x / o / P</i>	<i>x</i>	<i>x / o / P</i>	<i>x</i>	<i>x / o</i>	<i>x / o</i>
37	1	Ethylacetat	141-78-6		<i>P</i>					
38	2	Ethylbenzol	100-41-4							
39	1	Formaldehyd	50-00-0		<i>x</i>	<i>x / P</i>			<i>x</i>	<i>x / P</i>
40	1	Geosmin	19700-21-1	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>
41	1	Heptanal	111-71-7		<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / o</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>
42	1	Heptansäure	111-14-8	<i>P</i>			<i>P</i>			
43	1	Hexanal (Capronaldehyd) – krautig	66-25-1	<i>x</i>	<i>x / o</i>	<i>x / o / P</i>	<i>x / o</i>	<i>x</i>	<i>x / o</i>	<i>x / o / P</i>
43	1	Hexanal (Capronaldehyd) – ranzig	66-25-1	<i>x / P</i>	<i>x / o</i>	<i>x / o</i>	<i>x / o / P</i>	<i>x</i>	<i>x / o</i>	<i>x / o</i>
44	1	Limonen – fruchtig Zitrus	138-86-3	<i>x / o</i>	<i>P</i>	<i>P</i>				
44	1	Limonen – chemisch Zitrus	138-86-3	<i>x / o</i>	<i>P</i>	<i>P</i>		<i>P</i>		
45	1	m/p-Xylol	1330-20-7	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>			<i>P</i>	<i>P</i>
46	1	m-Kresol – pflanzlich Kork	108-39-4	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / o / P</i>
46	1	m-Kresol – Pferdestall	108-39-4	<i>P</i>					<i>x</i>	<i>x / o / P</i>
46	1	m-Kresol – muffig Kork	108-39-4		<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / o / P</i>
47	1	Naphthalin – Teer	91-20-3						<i>P</i>	<i>P</i>

Lfn. Nr.	Relevanz	Substanz – ggf. mit Geruchsnote	CAS-Nr.	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
47	1	Naphthalin – muffig	91-20-3	P	P	P	P	P	P	P
47	1	Naphthalin – alt	91-20-3	P	P	P	P	P	P	P
48	1	n-Butylacetat – Banane	123-86-4			x	x			
48	1	n-Butylacetat – Lacke	123-86-4		P	x	x / P	P	P	P
49	1	Nonanal – krautig	124-19-6	x / o	x / o	x / o / P	x / o	x / o	x	x / o / P
49	1	Nonanal – fruchtig Zitrus	124-19-6	x / o	x / o / P	x / o / P	x / o	x / o	x	x / o
50	1	Octanal – fruchtig Zitrus	124-13-0	x	x / P	x / o / P	x	x	x / o	x / o
50	1	Octanal – fettig	124-13-0	x / P	x / P	x / o	x / P	x	x / o	x / o
51	2	o-Xylol – chemisch süß	95-47-6	P	P	P	o		P	P
51	2	o-Xylol – verbrannt süß	95-47-6	P		P	o		P	P
52	1	Phenol – Teer	108-95-2					o	x / P	P
52	1	Phenol – chemisch süß	108-95-2	P	P	P		o	x / P	P
53	1	p-Kresol	106-44-5	P						P
54	1	Propionaldehyd (Propanal)	123-38-6	x / P	P	x / P	P	x / P	x / P	x / P
55	1	R-Limonen – fruchtig Zitrus	5989-27-5		x / P	P				
55	1	R-Limonen – chemisch Zitrus	5989-27-5		x / P	P		P		
56	1	Styrol – chemisch süß	100-42-5	P	o / P	P			P	P
56	1	Styrol – stechend, beißend	100-42-5	P	o				P	P
56	1	Styrol – Kunststoff, Plastik	100-42-5	P	o / P	P	P	P	P	P

Lfn. Nr.	Relevanz	Substanz – ggf. mit Geruchsnote	CAS-Nr.	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
57	1	Toluol – chemisch süß	108-88-3	<i>P</i>	<i>P</i>	<i>o / P</i>			<i>P</i>	<i>P</i>
57	1	Toluol – stechend, beißend	108-88-3	<i>P</i>		<i>o</i>			<i>P</i>	<i>P</i>
58	2	Trimethylamin	75-50-3	<i>P</i>			<i>P</i>			
59	1	Valeraldehyd (Pentanal) – fruchtig	110-62-3	<i>x</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x</i>	<i>x / P</i>	<i>x</i>	<i>x / P</i>
59	1	Valeraldehyd (Pentanal) – muffig	110-62-3	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>
60		3-Methyl-Butanal - rauchig, röstig	590-86-3	<i>P</i>	<i>x</i>	<i>x / P</i>		<i>x / P</i>	<i>P</i>	<i>x / o / P</i>
61		2-Methyl-Propanal - rauchig, röstig	78-84-2		<i>x</i>	<i>P</i>	<i>x</i>	<i>P</i>	<i>x / P</i>	<i>x / P</i>
62		2-Ethylhexylacetat - rauchig, röstig	103-09-3			<i>P</i>		<i>P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>
63		1-Pentanol - Kunststoff, Plastik	71-41-0		<i>o / P</i>	<i>P</i>	<i>o / P</i>	<i>o / P</i>	<i>P</i>	<i>P</i>
64		Trichloromonoflouromethan - sonstige Reinigungsmittel	75-69-4			<i>P</i>			<i>P</i>	

J Zusammenstellung weiterer rein humansensorischer und sensorisch-analytischer Daten

Tabelle 98: Weitere Einzelsubstanzen gefunden durch HPLC, GC-MS und GC-MS-Sniffing - Räume 1 bis 10.

Detektion in der HPLC/GC-MS (x) und geruchliche Bestätigung im GC-MS-Sniffing (o) sowie weitere Geruchsnoten der Prüfer:innen. Ist nur ein „o“ angegeben, so konnte über den Geruchscharakter und die Retentionszeit in der GC-MS-Sniffing-Messung auf den jeweiligen Stoff rückgeschlossen werden.

Lfn. Nr.	Substanz CAS-Nr.	Geruchscharakter	Raum1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
1	2,3-Butandion 431-03-8	Butter, Karamell, fruchtig, laktisch		o					x / o	o		
2	1-Octanol 111-87-5	holzig, pflanzlich, bitter				o	o	x / o		o		
3	1-Pentanol 71-41-0	Gummi, Plastik, ölig		o							x / o	x / o
4	3-methyl-Butanal 590-86-3	stechend, Kakao, röstig, Karamell	x / o	x / o		x	x	x / o				
5	p-Cymen 99-87-6	wachsig, Gummi, verbrannt			x / o	x	x / o	x		o		
6	2-methyl-Propanal 78-84-2	stechend, süß, Nuss, röstig	x / o		x	x	x / o	x				
7	4-methoxy-benzaldehyd 123-11-5	süß, aromatisch		o								

Lfn. Nr.	Substanz CAS-Nr.	Geruchscharakter	Raum1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
8	Propansäurepropyl-ester 106-36-5	Zitrus			x / o	x	x / o	x				
9	Furfural 98-01-1	käsigt, staubig			x / o	x	x	x				
10	Linalool 78-70-6	seifig, blumig, pflanzlich, grün					x	o				
11	1,2,4,5-tetra-methyl-Benzol 95-93-2	verbrannt, süß, ranzig			x / o		o	o				
12	1-Nonen-3-on 24415-26-7	pilzig	o	o								
13	Camphen 79-92-5	ölige, holzig, würzig, Mottenkugel		o								
14	2-Ethoxyethanol 110-80-5	fruchtig, süß, cremig, floral			x / o	x		o				
15	2-methyl-Buttersäure, ethyl ester 7452-79-1	Butter, stechend, fruchtig			x / o		o					
16	2-Nonanone 821-55-6	käsigt, Butter, fettig							x / o	x / o		

Lfn. Nr.	Substanz CAS-Nr.	Geruchscharakter	Raum1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
17	Benzylalkohol 100-51-6	erdig, süß, Farbe, chemisch								x / o		
18	Isobutansäure 79-31-2	ranzig, sauer, Käse, chemisch	x / o									
19	Phenylethyl Alkohol 60-12-8	blumig, grün, pflanzlich, bitter	x / o									
20	Butylacrylat 141-32-2	pflanzlich, grasig, fruchtig		x / o								
21	1-Octene 111-66-0	sauer, Lösungsmittel, süß			x / o	x						
22	2,3-Butanediol 513-85-9	blumig, cremig			o			o				
23	4-(1-methylethyl)-Benzaldehyd 122-03-2	würzig, Cumin, krautig		o	x / o							
24	1-Nonanol 143-08-8	wachsig, fruchtig								x / o		
25	2-Pentanone 107-87-9	Wassermelone, laktisch, Butter										x / o

Lfn. Nr.	Substanz CAS-Nr.	Geruchscharakter	Raum1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
26	Methyl Isobutyl Ketone 108-10-1	süßlich, fruchtig, grün										x / o
27	2-Hexanone 591-78-6	fruchtig										x / o
28	2,3-Butanedione 431-03-8	laktisch, Butter, Joghurt										
29	2(3H)-Furanone, 5-ethylidihydro- 695-06-7	süß, Tonka										
30	Ortho tert-Butyl cyclohexyl acetate 88-41-5	fruchtig										
31	Benzonitril 100-47-0	Bittermandel-artig										
32	l-Menthone 14073-97-3	Menthol, frisch										
34	Acetic acid, phenylmethyl ester 140-11-4	Wachs, bitter, Plastik, Textil, Leder, fettig, floral										

Lfn. Nr.	Substanz CAS-Nr.	Geruchscharakter	Raum1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
35	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-one, 1,7,7-trimethyl-, (1S)- 464-48-2	kampfer-artig										
36	Azulene 275-51-4	Vanillie										

Tabelle 99: Weitere Einzelsubstanzen gefunden durch HPLC, GC-MS und GC-MS-Sniffing - Räume 11 bis 21.

Detektion in der HPLC/GC-MS (x) und geruchliche Bestätigung im GC-MS-Sniffing (o) sowie weitere Geruchsnoten der Prüfer:innen. Ist nur ein „o“ angegeben, so konnte über den Geruchscharakter und die Retentionszeit in der GC-MS-Sniffing-Messung auf den jeweiligen Stoff rückgeschlossen werden.

Lfn. Nr.	Substanz CAS-Nr.	Geruchscharakter	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
1	2,3-Butandion 431-03-8	Butter, Karamell, fruchtig, laktisch		x / o	x / o		x / o	x / o	x / o		x / o	x / o	x / o
2	1-Octanol 111-87-5	holzig, pflanzlich, bitter	x / o			x / o						x / o	
3	1-Pentanol 71-41-0	Gummi, Plastik, ölig	x / o					x / o		x / o			
4	3-methyl-Butanal 590-86-3	stechend, Kakao, röstig, Karamell											x / o
5	p-Cymen 99-87-6	wachsig, Gummi, verbrannt										x / o	

Lfn. Nr.	Substanz CAS-Nr.	Geruchs- charakter	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
6	2-methyl-Propanal 78-84-2	stechend, süß, Nuss, röstig											
7	4-methoxy- benzaldehyd 123-11-5	süß, aromatisch			x / o				x / o				x / o
8	Propansäurepropyl- ester 106-36-5	Zitrus											
9	Furfural 98-01-1	käsig, staubig											
10	Linalool 78-70-6	seifig, blumig, pflanzlich, grün				x / o			x / o				
11	1,2,4,5-tetra- methyl-Benzol 95-93-2	verbrannt, süß, ranzig										x / o	

Lfn. Nr.	Substanz CAS-Nr.	Geruchscharakter	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
12	1-Nonen-3-on 24415-26-7	pilzig	o										
13	Camphen 79-92-5	ölig, holzig, würzig, Mottenkugel			x / o				x / o				
14	2-Ethoxy-ethanol 110-80-5	fruchtig, süß, cremig, floral											
15	2-methyl- Buttersäure, ethyl ester 7452-79-1	Butter, stechend, fruchtig				o							
16	2-Nonanone 821-55-6	käsig, Butter, fettig											x / o
17	Benzylalkohol 100-51-6	erdig, süß, Farbe, chemisch		x / o						x / o			

Lfn. Nr.	Substanz CAS-Nr.	Geruchscharakter	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
18	Isobutansäure 79-31-2	ranzig, sauer, Käse, chemisch						o					
19	Phenylethyl Alkohol 60-12-8	blumig, grün, pflanzlich, bitter										o	
20	Butylacrylat 141-32-2	pflanzlich, grasig, fruchtig						o					
21	1-Octene 111-66-0	sauer, Lösungsmittel, süß											
22	2,3-Butanediol 513-85-9	blumig, cremig											
23	4-(1-methylethyl)- Benzaldehyd 122-03-2	würzig, Cumin, krautig											

Lfn. Nr.	Substanz CAS-Nr.	Geruchscharakter	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
24	1-Nonanol 143-08-8	wachsig, fruchtig								x / o			
25	2-Pentanone 107-87-9	Wassermelone , laktisch, Butter											x / o
26	Methyl Isobutyl Ketone 108-10-1	süßlich, fruchtig, grün				x / o							
27	2-Hexanone 591-78-6	fruchtig											x / o
28	2,3-Butanedione 431-03-8	laktisch, Butter, Joghurt	x / o			o							
29	2(3H)-Furanone, 5- ethyldihydro- 695-06-7	süß, Tonka		x / o								x / o	

Lfn. Nr.	Substanz CAS-Nr.	Geruchscharakter	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
30	Ortho tert-Butyl cyclohexyl acetate 88-41-5	fruchtig		x / o	x / o								
31	Benzonitril 100-47-0	Bittermandelartig	o		x / o								
32	l-Menthone 14073-97-3	Menthol, frisch			x / o	x / o							
34	Acetic acid, phenylmethyl ester 140-11-4	Wachs, bitter, Plastik, Textil, Leder, fettig, floral						o	x / o				
35	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-one, 1,7,7-trimethyl-, (1S)- 464-48-2	kampfer-artig						x / o				x / o	
36	Azulene 275-51-4	Vanillie							x / o				x / o

Tabelle 100: Weitere Geruchsnoten durch Prüfer:innenbewertungen – Räume 1 bis 10.

Detektion über die Geruchsradanwendung durch Prüfer:innen (P). Aufgeführt sind solche Nennungen, die von mindestens 3 Prüfer:innen in mindestens 3 unterschiedlichen Innenräumen zusätzlich benannt wurden.

Lfn. Nr.	Geruchscharaktere	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5	Raum 6	Raum 7	Raum 8	Raum 9	Raum 10
1	Teppich, textil		P	P	P	P	P		P		P
2	abgestandene, verbrauchte Luft	P	P	P	P	P	P	P		P	P
3	trocken	P	P		P	P		P	P		
4	staubig	P	P		P	P	P		P		
5	frisch, kühl		P		P		P				
6	Schule, Bibliothek, Antiquariat	P		P	P		P				
7	Leder, ledrig			P							
8	Urin					P					P
9	Krankenhaus								P		
10	phenolisch	P							P		
11	Honig - süßlich				P	P					P

Tabelle 101 Weitere Geruchsnoten durch Prüfer:innenbewertungen – Räume 11 bis 21.

Detektion über die Geruchsradanwendung durch Prüfer:innen (P). Aufgeführt sind solche Nennungen, die von mindestens 3 Prüfer:innen in mindestens 3 unterschiedlichen Innenräumen zusätzlich benannt wurden.

Lfn. Nr.	Geruchscharaktere	Raum 11	Raum 12	Raum 13	Raum 14	Raum 15	Raum 16	Raum 17	Raum 18	Raum 19	Raum 20	Raum 21
1	Teppich, textil		P	P	P		P	P	P	P	P	
2	abgestandene, verbrauchte Luft			P				P	P			
3	trocken		P				P					
4	staubig		P	P			P	P		P		
5	frisch, kühl				P			P				
6	Schule, Bibliothek, Antiquariat											
7	Leder, ledrig						P			P		
8	Urin	P										
9	Krankenhaus			P								P
10	phenolisch											P
11	Honig - süßlich											