Entwicklung eines psychophysikalischen Leistungstests zur geruchlichen Diskriminationsfähigkeit

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Roland Weierstall
aus Velbert

Düsseldorf, März 2009

aus dem Institut für
der Heinrich-Heine Universität Düsseldorf

Gedruckt mit der Genehmigung der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Referent: Frau Prof. Dr. Bettina M. Pause
Koreferent: Herr Prof. Dr. Jochen Musch

Tag der mündlichen Prüfung:
30. April 2009

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Bettina M. Pause für die herzliche und vertrauensvolle Aufnahme in ihre Arbeitsgruppe, für die stete und uneingeschränkte Unterstützung und Betreuung sowie die wertvollen wissenschaftlichen Anregungen, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Herzlichen Dank. Ferner gilt mein besonderer Dank Herrn Prof. Dr. Jochen Musch und Frau Angelika Simons für die uneingeschränkte Unterstützung, die Promotion zu einem erfolgreichen Ende führen zu können. Weiteren Dank schulde ich all den Kollegen der Arbeitsgruppe, die in unzähligen Testdurchläufen ihre Nasen zur Verfügung gestellt haben und mit anregenden Diskussionen einen entscheidenden Beitrag zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben: Dank an Dipl.-Psych. Katrin Lübke, Dipl.-Psych. Dirk Adolph, den meine Gerüche seinen Lebtag begleiten werden, Dipl.-Psych. Sylvia Schablitzky, MSc Clin.Psych. Sabine Schlösser, Heike Spahn und Cand.-Psych. Patrick Kok. Insbesondere bedanke ich mich bei Cand.-Psych. Sarah Ulrich und Cand.-Psych. Johannes Mikutta für die sehr hilfreiche und engagierte Unterstützung. Es war mit allen eine hervorragende Zusammenarbeit.

In gleicher Weise möchte ich mich bei der Friedrich Naumann Stiftung für die Freiheit für das entgegengebrachte Vertrauen und die Förderung meiner Promotion bedanken. Nicht nur die finanzielle Unabhängigkeit um die eigenen Forschungsinteressen verwirklichen zu können, sondern auch die Zugehörigkeit zu einem lebendigen, inspirierenden und werteorientierten Netzwerk verschaffen dieser Förderung eine Nachhaltigkeit über den Bereich der Wissenschaft hinaus. Vielen Dank. In diesem Zusammenhang möchte ich meinen Dank auch Herrn Prof. Dr. Reinhard Pietrowsky aussprechen, der meine Bewerbung um ein Stipendium erfolgreich mit unterstützt hat.

Abschließen möchte ich mit dem Dank an meine kleine Familie, der ich auch diese Dissertation widmen möchte. Barbara, Holger, Eva, Siegfried, Waltraut und im Herzen verbunden Ewald, ich danke euch aus tiefstem Herzen für eure grenzenlose Unterstützung und Liebe und dass ihr eure schützenden Hände auf meinem gesamten Lebensweg über mich gehalten habt. Danke an meinen wertvollsten Schatz Inga.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 13

2. Theoretischer Hintergrund 15

2.1 Chemosensorik 15

2.2 Das olfaktorische System 16
2.2.1 Das olfaktorische Epithel 16
2.2.1.1 Olfaktorische Rezeptorneurone und Merkmale der neuronalen Prozessierung 19
2.2.1.2 Olfaktorische Rezeptorneurone und Rezeptor-Sensitivität 20
2.2.2 Der Bulbus olfaktorius 20
2.2.2.1 Plastizität im Bulbus olfaktorius 22
2.2.3 Der primäre olfaktorische Kortex 22
2.2.3.1 Das olfaktorische Tuberkel 22
2.2.3.2 Der Anteriore Olfaktorische Nukleus 23
2.2.3.3 Der piriforme Kortex 23
2.2.3.4 Die Amygdala 24
2.2.3.5 Der Enthorinalkortex 24
2.2.4 Der sekundäre olfaktorische Kortex 24

2.3 Methoden der Quantifizierung von Geruchsleistungen 25
2.3.1 Schwellentests 25
2.3.1.1 Schwellentest von Doty 26
2.3.1.2 Single Ascending Series Butanol Odor Detection Threshold Test 27
2.3.1.3 Der Single Series Phenyl Ethyl Methyl Ethyl Carbinol Odor Detection Threshold Test 28
2.3.1.4 T&T Olfactometer 28
2.3.2 Identifikationstests 28
2.3.2.1 University of Pennsylvania Smell Identification Test 29
2.3.2.2 Cross-Cultural Smell Identification Test (CC-SIT) 32
2.3.2.3 Yes/No Odor Identification Test 32
2.3.2.4 Scandinavian Odor-Identification-Test (SOIT) 32
2.3.2.5 Wiener Olfaktorische Testbatterie (WOTB) 33
2.3.2.6 Geruchsdisketten 33
2.3.2.7 Conneticut Chemosensory Clinical Research-Center Identification Test (CCCRC) 33
2.3.3 Diskriminationstests 34
2.3.3.1 Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks 34
2.3.3.2 Odor Discrimination Test 35
2.3.4 Weitere Testverfahren 36
2.3.4.1 Odor Recognition Memory Test 36
2.3.4.2 Suprathreshold Amyl Acetate Odor Intensity and Odor Pleasantness Rating Test 36
2.3.4.3 Sniff Magnitude-Test (SMT) 36
2.3.5 Implikationen für die Testentwicklung 36

2.4 Bedeutung der Quantifizierung von Geruchsleistungen 38

2.4.1 Alzheimer Demenz ... 38
2.4.2 Parkinson-Erkrankung ... 39
2.4.3 Depression ... 40
2.4.4 Schizophrenie ... 41
2.4.5 Essstörungen ... 42
2.4.6 Epilepsie ... 42
2.4.7 Korsakow-Syndrom ... 42
2.4.8 Chorea Huntington ... 43
2.4.9 Schädel-Hirn-Trauma (SHT) ... 43
2.4.10 Multiple Sklerose ... 44
2.4.11 HIV ... 44
2.4.12 Implikationen für die Anwendung von Geruchstests ... 44

2.5 Theoretische Überlegungen zur Gestaltung eines „optimalen“ Diskriminationstests ... 45
2.5.1 Welche Geruchsstoffe sollten für die Testaufgaben verwendet werden? ... 45
2.5.2 Welche Geruchsstoffe sollten für die Testaufgaben verwendet werden? ... 46
2.5.2.1 Verbale Deskriptoren ... 46
2.5.2.2 Molekulare Struktur ... 49
2.5.2.3 Verwendung von Mischgerüchen ... 50
2.5.3 Auswahl der Geruchsstoffe für die Komponenten ... 51
2.5.4 Gestaltung der Aufgabe ... 51
2.5.5 Gedächtnisprozesse bei der Geruchsdiskrimination ... 53
2.5.6 Studien der Testentwicklung ... 54

3. Studie 1: Intensitätsmatching ... 56

3.1 Theoretischer Hintergrund ... 56
3.1.1 Psychophysikalische Skalierung der Geruchsintensität ... 56
3.1.2 Biologische Grundlagen der Intensitätswahrnehmung ... 57
3.1.2.1 Kodierung der Geruchsintensität auf Ebene der ORN ... 58
3.1.2.2 Kodierung der Geruchsintensität auf Ebene des BO ... 59
3.1.2.3 Kodierung der Geruchsintensität auf Ebene der primären und sekundären olfaktorischen Kortexareale ... 61
3.1.2.4 Weitere Einflüsse auf die Intensitätswahrnehmung ... 62
3.1.3 Biologische Grundlagen der Intensitätswahrnehmung von Mischgerüchen ... 63
3.1.3.1 Die Verarbeitung der Intensität von Komponenten in Mischgerüchen auf Ebene der ORN ... 64
3.1.3.2 Die Verarbeitung der Intensität von Komponenten in Mischgerüchen auf Ebene der ORN ... 65
3.1.3.3 Die Verarbeitung der Intensitäten von Mischgerüchen auf Ebene der ..... primären und sekundären olfaktorischen Kortexareale ... 66
3.1.3.4 Weitere Einflüsse auf die Verarbeitung der Intensitäten von ..... Komponenten in Mischgerüchen ... 66
3.1.4 Implikationen für die Studie Intensitätsmatching ... 67
3.1.4.1 Relevanz der Intensitäten für die Generierung von Mischgerüchen ... 67
3.1.4.2 Bedeutung der biologischen Grundlagen für die Auswahl der ..... Messmethode ... 68
3.1.4 Fragestellung ... 69

3.2 Methoden ... 70
3.2.1 Stichprobe ... 70
3.2.2 Weitere Ausschlusskriterien ... 71
3.2.3 Aufgabe ... 75
3.2.3.1 Methodische Vorüberlegungen ... 75
3.2.3.2 Auswahl des Referenzgeruchsstoffs ... 76
3.2.3.3 Wahl der Vergleichskonzentrationen für die übrigen Geruchsstoffe ... 77
3.2.4 Versuchsmaterial ... 79
3.2.4.1 Stimuli ... 79
3.2.4.1.1 Verarbeitung der Geruchsstoffe ... 81
3.2.4.1.2 Reinheit im Labor ... 84
3.2.4.1.3 Lagerung der Chemikalien ... 85
3.2.4.2 Verwendete Flaschen ... 85
3.2.4.3 Teilnehmerbögen ... 87
3.2.5 Design ... 88
3.2.5.1 Unabhängige Variable ... 88
3.2.5.2 Abhängige Variablen ... 88
3.2.5.3 Gegenbalancierungs-Design ... 89
3.2.6 Studiendurchführung ... 94
3.2.7 Hypothesen ... 96

3.3 Ergebnisse ... 98
3.3.1 Hypothesengeleitete Auswertung ... 98
3.3.2 Post-hoc Auswertungen ... 99
3.3.2.2 Einfluss des Faktors Geschlecht ... 101
3.3.2.3 Einfluss des Rauchverhaltens ... 103
3.3.3 Bestimmung des geometrischen Mittels ... 104

3.4 Diskussion ... 105
3.4.1 Diskussion der internen Validität ... 105
3.4.1.1 Bedeutung der post-hoc-Analysen ... 105
3.4.1.2 Kontrolle von top-down-Einflüssen ... 106
3.4.1.3 Kontrolle der Unterscheidbarkeit der Konzentrationsstufen ... 107
3.4.2 Diskussion der externen Validität ... 108
3.4.3 Ausblick ... 108
3.4.3.1 Veränderungsmöglichkeiten im Versuchsaufbau ... 108
3.4.3.2 Fortschritte in der Genetik ... 109
3.4.3.3 Gesamtbeurteilung und Verwendung der Ergebnisse in der weiteren Testentwicklung ... 110

4. Studie 2: Intensitätenordnen ... 112

4.1 Theoretischer Hintergrund ... 112
4.1.1 Fragestellung ... 112

4.2 Methoden ... 113
4.2.1 Stichprobe ... 113
4.2.2 Aufgabe ... 114
4.2.3 Versuchsmaterial ... 114
4.2.3.1 Stimuli ... 114
4.2.3.2 Präsentation der Geruchsstoffe ... 115

4.2.3.3 Teilnehmerbögen ... 115
4.2.4 Design ... 116
4.2.4.1 Unabhängige Variable ... 116
4.2.4.2 Abhängige Variablen ... 116
4.2.4.3 Gegenbalancierungs-Design ... 117
4.2.5 Hypothesen ... 119

4.3 Ergebnisse ... 121
4.3.1 Hypothesengeleitete Auswertung ... 121
4.3.2 Post-hoc Auswertung ... 123
4.3.2.2 Einfluss des Faktors Geschlecht ... 125
3.3.2.3 Einfluss des Rauchverhaltens ... 126

4.4 Diskussion ... 127
4.4.1 Diskussion der internen Validität ... 127
4.4.2 Diskussion der externen Validität ... 127
4.4.3 Bedeutung der Ergebnisse für die weitere Testentwicklung ... 128

5. Studie 3: Lateralisierung ... 129

5.1 Theoretischer Hintergrund ... 129
5.1.1 Biologische Grundlagen ... 130
5.1.1.1 Trigeminale Innervation des Olfaktorischen Epithels ... 130
5.1.1.2 Rezeptorklassen in der nasalen Mukosa ... 131
5.1.1.3 Einfluss trigeminaler Stimulation auf Ebene des olfaktorischen Epithels ... 132
5.1.1.4 Trigeminale Innervation des Bulbus olfaktorius ... 133
5.1.1.5 Involvierte kortikale Strukturen ... 133
5.1.1.6 Weitere Einflüsse auf die trigeminale Geruchswahrnehmung ... 134
5.1.2 Funktionale Grundlagen ... 134
5.1.2.1 Geruchsqualitäten trigeminaler Stimulation ... 135
5.1.2.2 Räumliche Integration trigeminaler Stimulation ... 135
5.1.2.3 Zeitliche Integration trigeminaler Stimulation ... 135
5.1.2.4 Intensität trigeminaler Stimulation und Valenz ... 136
5.1.2.5 Chemosensorisch evozierte Potentiale ... 136
5.1.2.6 Geschlechtseffekte bei der Wahrnehmung trigeminaler Geruchsstoffe 137
5.1.3 Bedeutung der trigeminalen Geruchsverarbeitung ... 137
5.1.4 Interaktionen zwischen dem olfaktorischen und dem trigeminalen System ... 138
5.1.5 Studien mit Anosmikern ... 139
5.1.6 Das Phänomen der Lateralisierung ... 141
5.1.6.1 Lateralisierungsaufgaben mit trigeminalen Geruchsstoffen ... 141
5.1.6.2 Lateralisierungsaufgaben mit olfaktorischen Geruchsstoffen ... 142
5.1.7 Fragestellung ... 143

5.2 Methoden ... 144
5.2.1 Stichprobe ... 144
5.2.2 Aufgabe ... 145
5.2.3 Versuchsmaterial ... 145
5.2.3.1 Stimuli ... 145
5.2.3.2 Apparatur ... 146
5.2.3.3 Teilnehmerbögen ... 149

5.2.3.4 Ratingbögen für die Studienteilnehmer 152
5.2.4 Design 152
5.2.4.1 Unabhängige Variable 152
5.2.4.2 Abhängige Variablen 152
5.2.4.3 Balancierungs- und Gegenbalancierungs-Design 153
5.2.5 Studiendurchführung 154
5.2.6 Hypothesen 157

5.3 Ergebnisse 159
5.3.1 Hypothesengeleitet Auswertung für die Abhängige Variable Lateralisierung 159
5.3.2 Post-hoc Auswertung der Daten in der Lateralisierungsaufgabe 160
5.3.2.1 Zusammenhang zwischen den Geruchsstoffen 160
5.3.2.2 Einfluss der Valenz- und Intensitätsratings auf die Häufigkeiten richtiger Antworten 161
5.3.2.3 Einfluss der Präsentationsseite 162
5.3.2.4 Einfluss des Faktors Geschlecht 167
5.3.3 Auswertung der Abhängigen Variable Valenz 167
5.3.4 Auswertung der Abhängigen Variable Intensität 169

5.4 Diskussion 173
5.4.1 Diskussion der internen Validität 173
5.4.1.1 Eigenschaften der verwendeten Apparatur 173
5.4.1.2 Atmung 175
5.4.2 Diskussion der externen Validität 175
5.4.2.1 Einfluss der Konzentrationsstärke 175
5.4.2.2 Gibt es olfaktorische Lateralisierung? 176
5.4.2.3 Gibt es rein olfaktorische Geruchsstoffe? 177
5.4.2.3.1 Bewertung des trigeminalen Geruchseindrucks 177
5.4.2.3.2 Studien mit Anosmikern 178
5.4.2.3.3 Definition olfaktorischer Geruchsstoffe 178
5.4.3 Ausblick 179
5.4.4 Implikationen für die weitere Testentwicklung 179

6. Studie 4: Intensitätsunterscheidung 181

6.1 Theoretischer Hintergrund 181
6.1.1 Intensitäts-Unterschieds-Schwellen 181
6.1.1.1 Studien zur Bestimmung von Intensitäts-Unterschieds-Schwellen 182
6.1.1.2 Implikationen für die Studie „Intensitätsunterscheidung“ 183
6.1.2 Ableitung der Fragestellung 184

6.2 Methoden 185
6.2.1 Stichprobe 185
6.2.2 Aufgabe 186
6.2.3 Versuchsmaterial 186
6.2.3.1 Stimuli 186
6.2.3.2 Auswahl der Konzentrationen 187
6.2.3.2.1. Geplanter Aufbau der Testaufgaben 187
6.2.3.2.2 Auswahl der abweichenden Konzentration 188
6.2.3.2.3 Auswahl einer Vergleichskonzentration 188

6.2.3.2.4 Kombinationen der Konzentrationen 189
6.2.3.3 Verwendete Flaschen 190
6.2.3.4 Präsentation der Geruchsstoffe 190
6.2.3.5 Teilnehmerbögen 191
6.2.4 Design 191
6.2.4.1 Unabhängige Variablen 191
6.2.4.2 Abhängige Variablen 191
6.2.4.3 Gegenbalancierungs-Design 192
6.2.5 Studiendurchführung 193
6.2.6 Hypothesen 196
6.2.6.1 Hypothesen für die Intensitätsunterscheidungsaufgabe 196
6.2.6.1.1 Hypothesen für die niedrigen Konzentrationsunterschiede 196
6.2.6.1.2 Hypothesen für die hohen Konzentrationsunterschiede 197
6.2.6.2 Hypothesen für den Vergleich der niedrigen und hohen Konzentrationsunterschiede 198

6.3 Ergebnisse 199
6.3.1 Hypothesengeleitete Auswertung 199
6.3.1.1 Hypothesengeleitet Auswertung der Ergebnisse für die Abhängige Variable Gewählte Konzentration in der Ausgangskonzentration 60% 199
6.3.1.2 Hypothesengeleitet Auswertung der Ergebnisse für die Abhängige Variable Gewählte Konzentration in der Ausgangskonzentration 20% 202
6.3.2 Post-hoc Auswertung für die Abhängige Variable Gewählte Konzentration 205
6.3.2.1 Einfluss des Faktors Geschlecht auf die Häufigkeiten richtiger Antworten für die Ausgangskonzentration 60% 205
6.3.2.2 Einfluss des Faktors Geschlecht auf die Häufigkeiten richtiger Antworten für die Ausgangskonzentration 20% 206
6.3.3 Post-hoc Auswertung für die Abhängige Variable Valenz 207
6.3.3.1 Einfluss des Faktors Valenz auf die Häufigkeiten richtiger Antworten für die Ausgangskonzentration 60% 208
6.3.3.2 Einfluss des Faktors Valenz auf die Häufigkeiten richtiger Antworten für die Ausgangskonzentration 20% 210
6.4 Diskussion 211
6.4.1 Diskussion der internen Validität 211
6.4.2 Diskussion der externen Validität 211
6.4.3 Implikationen für den Aufbau der Testaufgaben 213
6.4.4 Ausblick 213

7. Studie 5: Testkonstruktion 214

7.1 Theoretischer Hintergrund 214
7.1.1 Bewertung der durchgeführten Vorstudien 214
7.1.1.1 Studie 1: Intensitätsmatching 214
7.1.1.2 Studie 2: Intensitätenordnen 215
7.1.1.3 Studie 3: Lateralisierung 215
7.1.1.4 Studie 4: Intensitätsunterscheidung 216
7.1.1.5 Implikationen für die Testkonstruktion 216
7.1.2 Klassische und probabilistische Testtheorie 216
7.1.3 Klassische oder probabilistische Testtheorie? 217
7.1.4 Gütekriterien der klassischen Testtheorie 220
7.1.4.1 Objektivität 221

7.1.4.2 Reliabiltät 222
7.1.4.3 Validität 224
7.1.4.4 Skalierung 225
7.1.4.5 Normierung 226
7.1.4.6 Ökonomie 226
7.1.4.7 Nützlichkeit 226
7.1.4.8 Zumutbarkeit 226
7.1.4.9 Unverfälschbarkeit 227
7.1.4.10 Fairness 227
7.1.5 Implikationen für die Studie Testkonstruktion 227
7.1.6 Fragestellung 228

7.2 Methode 230
7.2.1 Stichprobe 230
7.2.2 Aufgabe 232
7.2.3 Versuchsmaterial 232
7.2.3.1 Geruchsstoffe 232
7.2.3.2 Aufbau der Testaufgaben 233
7.2.3.2.1 Möglicher Aufbau der Mischgerüche aus drei Komponenten. 233
7.2.3.2.2 Möglicher Aufbau der Mischgerüche aus vier Komponenten 235
7.2.3.3 Generierung der Testaufgaben 241
7.2.3.3.1 Präsentation der Mischgerüche 241
7.2.3.3.2 Aufgabenpool 241
7.2.3.3.3 Ansetzen der Mischgerüche 244
7.2.3.4 Versuchunterlagen 245
7.2.3.5 Demenz-Diagnostik 245
7.2.4 Design 245
7.2.4.1 Unabhängige Variable 245
7.2.4.2 Abhängige Variablen 245
7.2.4.3 Balancierungen 246
7.2.5 Studiendurchführung 247
7.2.5.1 Ort der Durchführung 247
7.2.5.2 Ablauf einer Sitzung 247
7.2.6 Hypothesen 249

7.3 Ergebnisse 251
7.3.1 Schwierigkeiten der Testaufgaben 251
7.3.2 Auswahl der Testaufgaben zur Konstruktion eines optimalen Tests 253
7.3.2.1 Reliabilität versus Validität als geeignetes Maß zur Auswahl der ..... Testaufgaben 253
7.3.2.2 Auswahl der Testaufgaben auf Basis der Reliabilität 255
7.3.3 Auswertung von Alterseffekten 257
7.3.3.1 Unterschiede zwischen den Altersgruppen. 257
7.3.3.2 Der Einfluss der Altersgruppen auf die Reliabilitätschätzung 259
7.3.2.3 Diskriminationsfähigkeit der ausgewählten Testaufgaben zwischen den .. Altersgruppen 262
7.3.2.4 Die Aufgabe 20 266
7.3.2.5 Faktorenanalytische Validität des 15 Testaufgaben umfassenden Tests 267
7.3.2.6 Aufgabeninterkorrelationen 269
7.3.4 Einfluss des Faktors Geschlecht 270

7.3.5 Einfluss der Abhängigen Variable Sicherheit. 271
7.3.6 Hypothesengeleitet Auswertung der Abhängigen Variable Entscheidung. ... 272
7.3.7 Einfluss der Abhängigen Variable MMST-Gesamtwert 273

7.4 Diskussion 275
7.4.1 Begründung der Auswahl von 15 Testaufgaben 275
7.4.2 Diskussion der internen Validität 276
7.4.3 Testgestaltung und Anforderungen der Gütekriterien: Validität 277
7.4.3.1 Externe Validität: Verwendung verschiedener Altersklassen 277
7.4.3.2 Inhaltliche Validität 277
7.4.3.2.1 Misst der Test die Fähigkeit Gerüche zu unterscheiden? 277
7.4.3.2.2 Bewertung von Gedächtniseffekten 279
7.4.3.3 Kriteriums und Konstruktvalidität 279
7.4.3 Testgestaltung und Anforderungen der Gütekriterien: Reliabilität 280
7.4.4 Testgestaltung und Anforderungen der Gütekriterien: Weitere Gütekriterien..... 281
7.4.5 Anpassung der Abweichler 281
7.4.6 Zusammenfassung 281
7.4.7 Ausblick 282

8. Studie 6: Testvalidierung, Re-Test-Reliabilität und Paralleltest-entwicklung 283

8.1 Theoretischer Hintergrund 283
8.1.1 Divergente und konvergente Validität 283
8.1.2 Re-Test-Reliabilität 284
8.1.3 Paralleltestentwicklung 284
8.1.4 Eingesetzte Testverfahren 285
8.1.5 Fragestellung 285
8.2 Methoden 286
8.2.1 Stichprobe 286
8.2.2 Testvalidierung 287
8.2.2.1 Aufgaben und eingesetzte Testverfahren 287
8.2.2.1.1 Phenyl-Ethanol-Schwellentest 287
8.2.2.1.2 Diskriminationstest 289
8.2.2.1.3 Sniffin'Sticks – Diskriminationsuntertest 290
8.2.2.1.4 UPSIT – Identifikationstest 291
8.2.2.2 Weiteres Versuchsmaterial 294
8.2.2.2.1 Protokollbögen 294
8.2.2.2.2 Teilnehmerbögen 295
8.2.2.3 Design der Testvalidierung 295
8.2.2.3.1 Unabhängige Variablen 295
8.2.2.3.2 Abhängige Variablen 296
8.2.3 Re-Test-Reliabilität 298
8.2.3.1 Aufgabe und eingesetztes Testverfahren 298
8.2.3.2 Weiteres Versuchsmaterial 298
8.2.3.3 Design der Re-Test-Bestimmung 298
8.2.4 Paralleltestentwicklung 299
8.2.4.1 Aufgabe und eingesetztes Testverfahren 299
8.2.4.2 Weiteres Versuchsmaterial 299
8.2.4.3 Design der Paralleltestentwicklung 299

8.2.5 Weitere Versuchsunterlagen 300
8.2.5.1 Allgemeine Informationen 300
8.2.5.2 Ausschlusskriterien 300
8.2.5.3 Einverständniserklärung 300
8.2.6 Übergeordnetes Design 300
8.2.7 Studiendurchführung 301
8.2.8 Hypothesen 302
8.2.8.1 Testvalidierung 302
8.2.8.2 Re-Test-Reliabilität 302
8.2.8.3 Paralleltestentwicklung 303

8.3 Ergebnisse 304
8.3.1 Ergebnisse der Testvalidierung 304
8.3.1.1 Hypothesengeleitete Auswertung 304
8.3.1.2 Explorative Datenanalyse der Gesamtpunktzahlen 307
8.3.1.2.1 Gesamtpunktzahl im Diskriminationstest 307
8.3.1.2.2 Gesamtpunktzahl im UPSIT 308
8.3.1.2.3 Gesamtpunktzahl im Diskriminationsuntertest der Sniffin'Sticks 309
8.3.1.2.4 Verteilung der Schwellen im Schwellentest 310
8.3.1.3 Explorative Analyse auf Ebene der Testaufgaben. 311
8.3.1.3.1 Diskriminationstest 312
8.3.1.3.2. UPSIT-Identifikationstest 314
8.3.1.3.3 Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks 318
8.3.1.4 Einfluss des Geschlechts 319
8.3.1.5 Einfluss der Reihenfolge der Testverfahren 320
8.3.2 Re-Test-Reliabilität 321
8.3.3 Paralleltestentwicklung 321
8.3.4 Einfluss der Bedingung 321

8.4 Diskussion 323
8.4.1 Diskussion der Ergebnisse der Testvalidierung 323
8.4.1.1 Bewertung der Ergebnisse 323
8.4.1.2 Bedeutung der explorativen Datenanalyse 324
8.4.2 Diskussion der Re-Test-Reliabilität 324
8.4.3 Diskussion der Ergebnisse für die Paralleltestentwicklung 325
8.4.4 Ausblick 325
8.4.5 Abschließende Diskussion der Testentwicklung 326
8.4.5.1 Sprach-, Bildungs- und Kulturunabhängigkeit 326
8.4.5.2 Verwendung olfaktorischer Geruchsstoffe 327
8.4.5.3 Berücksichtigung von Testgütekriterien 327
8.4.5.4 Verbreitete Anwendbarkeit 327
8.4.8.5 Fazit 328

9. Zusammenfassung 329

10. Abstract 330

Literaturverzeichnis 331

Anhang 358

1. Einleitung

Eine Vielzahl von Erkrankungen, insbesondere aus dem Bereich der psychischen und neurologischen Störungen, geht mit einer Veränderung der geruchlichen Leistungsfähigkeit einher. Geruchliche Leistungstests sind in diesem Zusammenhang nicht nur dazu geeignet, das Ausmaß der Störungen zu erfassen, sondern können auch dazu verwendet werden Frühsymptome einer Erkrankung zeit- und kostengünstig aufzuzeigen. So sind Störungen der geruchlichen Leistungsfähigkeit bei der Alzheimer-Demenz und der Parkinson-Erkrankung als Frühsymptome der Erkrankung hinlänglich bekannt.

Grundsätzlich können Wahrnehmungsschwellentests, Identifikations- sowie Diskriminationstests unterschieden werden. Schwellentests dienen zur Erfassung der geruchlichen Sensitivität. Identifikationstests erfassen die Fähigkeit Geruchsqualitäten zu identifizieren und Diskriminationstests erfassen der Fähigkeit Geruchsqualitäten zu unterscheiden. Für die Erfassung der Wahrnehmungsschwelle und der Identifikationsleistungen haben sich bereits Testverfahren etabliert. Identifikationstests sind jedoch sprach-, bildungs- und kulturabhängig, da die Erfahrung der Teilnehmer mit Geruchsstoffen und die Fähigkeit den Geruchseindruck zu verbalisieren das Testergebnis mit beeinflussen, so dass Defizite in der Testleistung auch auf diese Faktoren zurückgeführt werden können. Ein Vergleich der Testleistung von Teilnehmern mit einem unterschiedlichen Bildungshintergrund oder aus unterschiedlichen Kulturen ist somit kritisch. Im Bereich der Diskriminationstests ist der bislang einzig verfügbare Test ein Diskriminationstest aus einer Testbatterie olfaktometrischer Testverfahren, die den Namen *Sniffin'Sticks* trägt. Für diesen Test werden jedoch außer in Bezug auf die Zuverlässigkeit der Messergebnisse keine Aussagen gemacht, ob er auch andere gültige Gütekriterien erfüllt. Zudem kann die Zuverlässigkeit im Vergleich zu anderen Geruchstests als eher gering eingeschätzt werden. Die systematische Entwicklung eines neuen Diskriminationstests der sich an den Vorgaben gültiger Gütekriterien für Testverfahren orientiert ist somit erforderlich und in Anbetracht der Einsatzmöglichkeiten in der Geruchsforschung der klinischen Diagnostik sinnvoll.

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Diskriminationstest entwickelt der 15 Testaufgaben umfasst. In jeder Testaufgabe werden drei Mischgerüche präsentiert, von denen zwei identisch sind und einer abweicht. Die Aufgabe besteht darin, den Abweichler zu detektieren. Der Einsatz von Mischgerüchen bietet den Vorteil, dass die Ähnlichkeit zwischen zwei unterschiedlichen Mischgerüchen objektiv variiert werden kann, indem die Anteile der enthaltenen Komponenten verändert werden. Zudem sind Mischgerüche nicht anfällig für Lernerfahrungen oder einen bestimmten Bildungshintergrund, da sich durch das Mischen von einzelnen

Geruchsstoffen neue Geruchsqualitäten erzeugen lassen, die in dieser Form nicht im Alltag auftreten. Der neu entwickelte Test verfügt dabei nicht nur über eine höhere Zuverlässigkeit als der bestehende Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks. Seine Entwicklung wurde auch gezielt an bestehenden Testgütekriterien ausgerichtet. Da der Aufbau des Tests detailliert beschrieben wird besteht zudem die Möglichkeit, seine Entwicklung schrittweise nachzuvollziehen.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1 Chemosensorik

Die chemischen Sinne Geruch und Geschmack zählen phylogenetisch zu den ältesten Sinnen (Albrecht & Wiesmann, 2006). Das Interesse der Menschheit an Gerüche besitzt dabei antike Wurzeln (Philpott, Bennett & Murty, 2008). Darüber sind die chemischen Sinne im Tierreich am weitesten verbreitet und können bei fast allen Lebewesen zu Land, im Wasser oder in der Luft beobachtet werden (Doty, 2003a). Selbst niedere Tiere reagieren auf chemische Reize, wie beispielsweise das Coli-Bakterium, das auf Präsentation chemischer Reize eine Veränderungen seines lokomotorischen Verhaltens zeigt (Koman, Harayama & Hazelbauer, 1979).
Die Wahrnehmung nasaler chemosensorischer Reize wird beim Menschen in erster Linie über das olfaktorische und das trigeminale System vermittelt. Beide sensorischen Systeme können jedoch nicht getrennt von einander betrachtet werden, da sie unter anderem gemeinsame kortikale Areale teilen (Bensafi, Iannilli, Gerber & Hummel, 2008). Das olfaktorische System besitzt einen Einfluss in vielen verschiedenen Lebensbereichen wie der Partnerwahl, der Körperhygiene, der Nahrungsaufnahme und auch der Wahrnehmung von Gefahren, wie beispielsweise Rauch, so dass ein intaktes olfaktorisches System für das tägliche Leben essentiell ist (Steinbach, Hundt & Zahnert, 2008). Das trigeminale System sowie seine Rolle bei der Wahrnehmung chemosensorischer Reize werden ausführlich im Zusammenhang mit der dritten, im Rahmen der Testentwicklung durchgeführten Studie beschrieben.

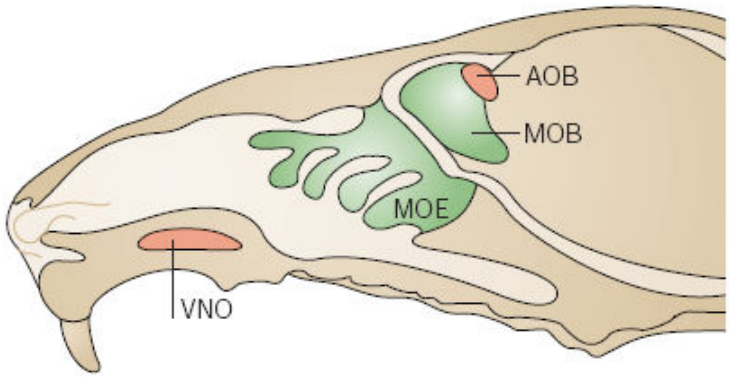


Abbildung 2-1: Vomeronasales Organ bei Nagetieren. Dargestellt sind das Vomeronasale Organ (VNO) und das olfaktorische Epithel (MOE) am Beispiel der Ratte (Mombaertz, 2004).

Beispielsweise bei Nagetieren findet die Wahrnehmung chemosensorischer Reize zusätzlich über eine weitere Struktur, nämlich dem Vomeronasalen Organ (VNO) statt, das traditionell mit der Wahrnehmung sozialer Reize assoziiert ist (Ma, 2007) (Abbildung 2-1). Das VNO befindet sich im ventralen nasalen Septum und projiziert in verschiedene hypothalamische Kerne (Dulac & Wagner, 2006; Meredith, 1998).

Darüber hinaus können chemosensorische Reize bei Tieren auch über das Septale Organ wahrgenommen werden, dass sich an der septalen Wand der Nasenhöhle befindet und erstmals 1943 von Rodolfo-Masera beschrieben wurde (Pedersen & Benson, 1986). Ob das Septale Organ für Warnfunktionen dient, da es auf eine Vielzahl von Geruchsstoffen hoch sensitiv reagiert (Ma, 2007) oder Gerüche von Nahrung oder soziale Reize vermittelt (Breer, Fleischer & Strotmann, 2006) ist unklar. Da für die Entwicklung des Diskriminationstests sowohl die Kommunikation sozialer chemosensorischer Reize als auch das VNO und das Septale Organ unbedeutend sind, werden in der gesamten Arbeit ausschließlich das olfaktorische und das trigeminale System behandelt. Im Folgenden werden Anatomie und Neurobiologie des olfaktorischen Systems beschrieben.

2.2 Das olfaktorische System

Im folgenden Abschnitt werden zunächst die peripheren Strukturen des olfaktorischen Systems, das olfaktorische Epithel und der Bulbus olfaktorius (BO) beschrieben. Im Anschluss werden die zentralen kortikalen Strukturen sowie der primäre und sekundäre olfaktorische Kortex dargestellt. Eine Übersicht über die involvierten kortikalen Areale stammt von Pause (Pause, 2004) (Abbildung 2-2).

2.2.1 Das olfaktorische Epithel

Das olfaktorische Epithel befindet sich in der obersten Region der Nasenhöhle (Abbildung 2-3) und besitzt eine Größe von 1-2cm², wobei dieser Wert interindividuell verschieden ist (Moran, Rowley, Jafek & Lovell, 1982). Es umfasst zwischen 6 und 10 Millionen olfaktorische Rezeptorneurone (Ma, 2007). Abbildung 2-4 zeigt einen Querschnitt des olfaktorischen Epithels.

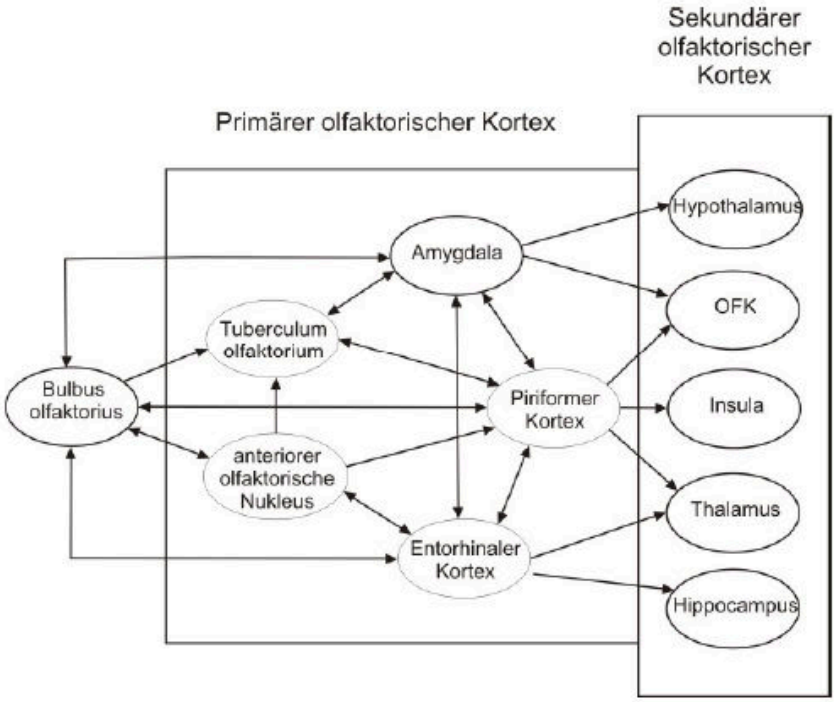


Abbildung 2-2: Kortikale Strukturen des Primären und Sekundären olfaktorischen Kortex (Pause, 2004).

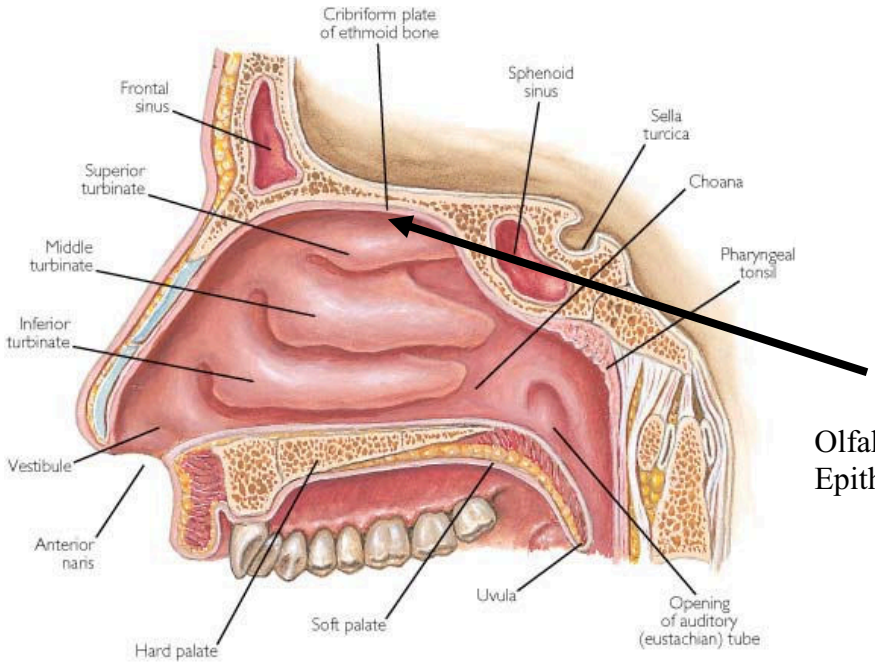


Abbildung 2-3: Sitz des Olfaktorischen Epithels (Seidel, Ball, Dains & Benedict, 2003).

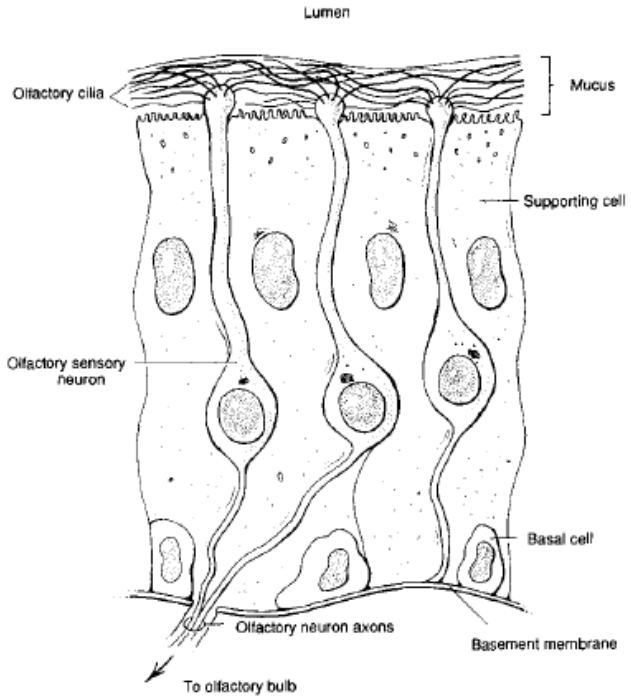


Abbildung 2-4: Querschnitt des olfaktorischen Epithels (Buck & Axel, 1991).

Die olfaktorischen Rezeptorneurone sind bipolare Neurone, die von Stützzellen umgeben werden. Die Besonderheit ist, dass es sich bei den olfaktorischen Rezeptorneuronen um primäre Sinneszellen handelt. Sie bilden olfaktorische Zilien in unterschiedlicher Anzahl aus (siehe Abbildung 2-4), die vom Mucus, einer Schleimschicht umgeben werden. Ein Geruchsmolekül wird durch den Mucus mit Hilfe von olfaktorischen Bindungsproteinen transportiert, die zusätzlich die Signaltransduktion am Rezeptor erleichtern (Steinbrecht, 1998). Durch die Zilien wird die Oberfläche um ein Vielfaches vergrößert, an der ein Geruchsmolekül binden kann (Menco, 1992).

Die Zilien tragen die Olfaktorischen Rezeptoren (OR). Die OR sind G-Protein gebunden und durchqueren die Membran sieben Mal. Ein Geruchsmolekül aktiviert ein spezifisches G-Protein (Jones & Reed, 1989), welches wiederum Adenylatzyklase Typ III aktiviert. Dieses katalysiert die Produktion von cAMP, das einen zyklischen Nukleotid-gebundenen Kanal öffnet, so dass NA^+ und Ca^{2+} in die Zelle einströmen können und es zu einer Depolarisation der Zellmembran kommt (Frings, 2001; Firestein, 2001). Diese Kaskade ist in Abbildung 2-5 dargestellt (Buck & Axel, 1991).

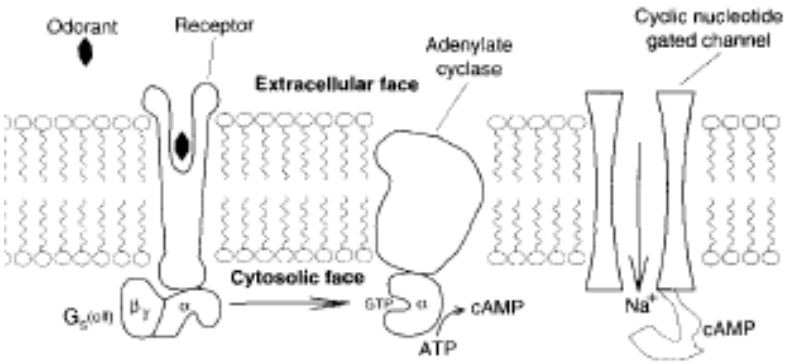


Abbildung 2-5: Kaskade der Signaltransduktion im Olfaktorischen Rezeptor (Buck & Axel, 1991).

Es können bis zu 10.000 verschiedene Gerüche unterschieden werden (Buck & Axel, 1991). Der Mensch besitzt 339 funktionale olfaktorische Rezeptorgene (Malnic, Godfrey & Buck, 2004) und die Maus 913 (Godfrey, Malnic & Buck, 2004), wobei die entsprechende Genfamilie rund 3% des gesamten Genoms ausmacht (Mombaerts, 2004).

2.2.1.1 Olfaktorische Rezeptorneurone und Merkmale der neuronalen Prozessierung

Die Lebensdauer von ORN bei Hamstern beträgt rund 25-35 Tage (Samanen & Forbes, 1984). Durch Neurogenese in Form von Mitose der Basalzellen im olfaktorischen Epithel werden fortlaufend neue ORN ausgebildet (Mackay-Sim, 2003). Die Ausbildung von spezifischen olfaktorischen Rezeptoren bedingt auch die Sensitivität für bestimmte Geruchsstoffe. In einer Studie von Zhao und Mitarbeitern wurde die Expression von olfaktorischen Rezeptoren im olfaktorischen Epithel der Ratte durch Transfektion mit dem Adenovirus variiert (Zhao, Ivic, Otaki, Hashimoto, Mikoshiba & Firestein, 1998). Die Infektion mit dem Adenovirus führt zu einer Genexpression des Gencodes in der infizierten Zelle, den der Adenovirus trägt. Die infizierten olfaktorischen Rezeptorneurone bildeten in diesem Fall einen Rezeptor aus, der für Oktanol sensitiv ist. Mit Hilfe des Elektro-Olfaktogramms (EOG) konnte die Aktivität der Olfaktorischen Rezeptorneurone bestimmt werden und mit Hilfe der Fluorezensmethode die Verteilung und Dichte der olfaktorischen Rezeptorneurone erfasst werden. Je mehr Neurone infiziert waren, desto höher war auch die Aktivität im EOG auf die Präsentation des Geruchsstoffs Oktanol.

2.2.1.2 Olfaktorische Rezeptorneurone und Rezeptor-Sensitivität

Bei Wirbeltieren zeigt sich am Beispiel des Lachses, dass wenn diese Tiere in einer sensiblen Periode nach ihrer Geburt mit einem bestimmten Geruchsstoff exponiert werden (beispielsweise Phenyl-Ethanol), sich die Sensitivität für diesen Geruchsstoff erhöht, in dem die Guanylyl-Cyclase-Aktivität in den Zilien der olfaktorischen Rezeptoren ansteigt, wobei diese erhöhte Sensitivität auch noch nach zwei Jahren vorliegt (Dittmann, Quinn, Nevitt, Hacker & Storm, 1997). Wenn diese Tiere sich in einer Lebensphase befinden, in der sie zu ihrem Geburtsort zurückkehren würden, führen selbst geringste Konzentration von Phenyl-Ethanol zu bedeutsamen Verhaltensänderungen (Nevitt, Dittman, Quinn & Moody, 1994). Bei wirbellosen Tieren zeigt sich beispielsweise, dass in den Antennen der weiblichen Moskitos einer der Rezeptoren, der auf die olfaktorischen Informationen von Blut reagiert, innerhalb von 12 Stunden herunterreguliert werden kann, nachdem der Moskito Blut gesaugt hat (Fox, Pitts, Robertson, Carlson & Zwiebel, 2001).

2.2.2 Der Bulbus olfaktorius

Von den OR findet eine Weiterleitung des Signals in den Bulbus olfaktorius (BO) statt, eine bilaterale, ovale mehrschichtige Struktur (Abbildung 2-6). Die erste Schicht, die Olfaktorische-Nerven-Schicht umfasst die Axone der ORN (Kratskin & Belluzzi, 2003). In der Glomeruli Schicht befinden sich die Glomeruli und auch die erste synaptische Umschaltung. Insgesamt befinden sich rund 8.000 Glomeruli im menschlichen BO (Meisami, Mikhail, Baim & Bhatnagar, 1998). Die Axone der ORN konvergieren entweder auf einen spezifischen Glomerulus oder auf eine Vielzahl verschiedener Glomeruli (Ressler, Sullivan & Buck, 1994). Es können, wie am Beispiel des Kaninchens, bis zu 25.000 Axone auf einem Glomerulus konvergieren, was zu einer Signalverstärkung führt (Allison, 1953). Umgeben werden die Glomeruli von Periglomerulären Zellen, die die Glomeruli mit einander vernetzen (Kratskin & Blluzzi, 2003). Jeder Glomerulus besitzt eine bestimmte Position in der Topographie des BO (Schaefer, Finger & Restrepo, 2001), so dass die Qualität eines Geruchsstoffs über das Aktivitätsmuster der Glomeruli kodiert werden kann (Shepherd, 1994; Mori & Yoshihara, 1995).

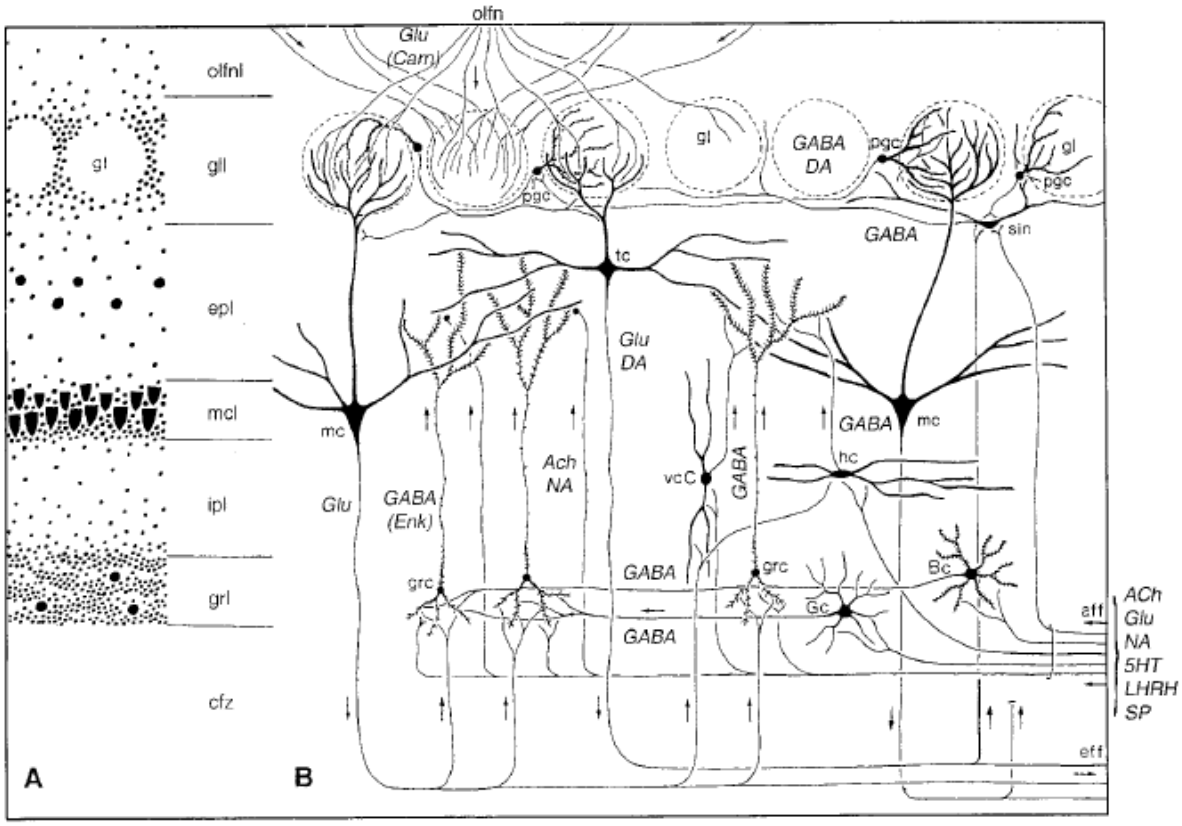


Abbildung 2-6: Querschnitt durch den Bulbus olfaktorius (Nieuwenhuys, 2008). Die sechs Schichten, Olfaktorische Nerven Schicht (olfnl), Glomeruli Schicht (gll), externen plexiformen Schicht (epl), Mitral-Zell Schicht (mcl), interne plexiforme Schicht (ipl) und Körnerzell-Schicht (grl) werden im Text beschrieben.

Bei Motten zeigt sich zudem, dass die anfängliche Synchronität des Aktivitätsmusters der Glomeruli auf Geruchsstoffe eher durch Stimuluseigenschaften wie die Intensität erzeugt wird, als durch die molekulare Identität der Geruchsstoffe (Christensen, Pawlowski, Lei & Hildebrand, 2000). In der dritten Schicht, der externen plexiformen Schicht befinden sich die Büschelzellen, die mit den Glomeruli verbunden sind und Kollaterale beziehungsweise Projektionen zum primären olfaktorischen Kortex besitzen. In der vierten Schicht, der Mitral-Zell-Schicht befinden sich die Mitral-Zellen, die ebenfalls Dendriten zu den Glomeruli besitzen. Die Axone der Mitral- und Büschelzellen bilden die fünfte Schicht, die interne plexiforme Schicht (Kratskin & Belluzi, 2003). Die abschließende Schicht ist die Körnerzell-Schicht. Sie beinhaltet die meisten Neurone im BO (Meisami & Safari, 1981).

2.2.2.1 Plastizität im Bulbus olfaktorius

Wie die ORN weist auch der BO Plastizität auf. Junge Neurone, die in der Subventrikular-Zone ausgebildet werden und sich in Körnerzellen und periglomeruläre Interneurone ausdifferenzieren, entwickeln sich bis zu einem frühen Stadium der Differenzierung unabhängig von der sensorischen Stimulation (Petreanu & Alvarez-Buylla, 2002). Eine weitere Ausdifferenzierung richtet sich nach der sensorischen Stimulation und ist damit abhängig von den Geruchsstoffen, mit denen der Organismus exponiert wird. Bei Mäusen dauert der Prozess der Ausdifferenzierung mindestens zwei Wochen. Ein Ausbleiben der Stimulation führt zu Apoptose der bulbaren Interneurone in der Glomeruli- und Körnerzell-Schicht (Najbauer & Leon, 1995). Besonders hervorzuheben ist, dass bei Mäusen eine Umgebung, die reich an Geruchsstoffen ist, bedingt, dass die Anzahl der neu entwickelten Neurone im Bulbus olfaktorius ansteigt (Rochefort, Gheusi, Vincent & Lledo, 2002). Das Geruchsgedächtnis der Mäuse verbessert sich dabei, ohne dass eine Zunahme der Neurogenese in der subgranularen Zone im Hippocampus zu verzeichnen ist. Eine wiederholte Präsentation eines Geruchsstoffs führt dazu, dass sich die Aktivität der Mitral- und Büschelzellen geruchsspezifisch synchronisiert (Kashiwadani, Sasaki, Uchida & Mori, 1999; Laurent, Stopfer, Friedrich, Rabinovich, Volkovskii & Abarbanel, 2001).

2.2.3 Der primäre olfaktorische Kortex

Der primäre olfaktorische Kortex wird darüber definiert, dass er direkte Projektionen aus dem BO erhält, wobei diese Projektionen ipsilateral verlaufen. Die kortikalen Areale, die nach Pause (2004) zum primären olfaktorischen Kortex zählen, werden bezüglich ihrer Funktion für die Geruchswahrnehmung im Folgenden beschrieben.

2.2.3.1 Das olfaktorische Tuberkel

Das olfaktorische Tuberkel (OT) ist eine sehr heterogene kortikale Struktur, dessen funktionale Bedeutung in der Geruchswahrnehmung weitestgehend unbekannt ist (Sobel, Johnson, Mainland & Yousem, 2003). So zählt ein Teil des OT zusammen mit dem Nucleus accumbens zum striatalen System und ist in die verstärkende Wirkung von Dopamin involviert, während der mediale Teil Afferenzen vom posterioren Piriformen Kortex, dem lateralen Enthorinalkortex, dem dorsalen Pedunculum und der ventralen Tenia Tecta erhält und der laterale Teil Afferenzen vom BO, vom anterioren olfaktorischen Nucleus und anterioren piri-

formen Kortex erhält (Ikemoto, 2007). Möglicherweise ist das OT in Aufmerksamkeitsprozesse bei dem aktiven Inhalieren von Geruchsstoffen involviert (Zelano, Bensafi, Porter, Mainland, Johnson, Bremner, Telles, Khan & Sobel, 2005).

2.2.3.2 Der Anteriore Olfaktorische Nukleus

Der Anteriore olfaktorische Nukleus (AON) besitzt reziproke Verbindungen sowohl zu dem ipsilateralen als auch dem kontralateralen BO und dem piriformen Kortex (Illig & Eudy, 2009). Es wird davon ausgegangen, dass der AON insbesondere in die bilaterale Geruchswahrnehmung involviert ist, so dass Informationen zwischen den Hemisphären ausgetauscht und unilaterale Funktionsstörungen ausgeglichen werden können (Kikuta, Kashiwadani & Mori, 2008; Yan, Tan, Qin, Lu, Ding & Luo, 2008). Hierzu könnte beispielsweise der Verlust von Mitralzellen im BO zählen (Airado, Gómez, Recio, Baltanás, Weruaga & Alonson, 2008).

2.2.3.3 Der piriforme Kortex

Der piriforme Kortex (PK) ist eng mit den Mitralzellen im BO verknüpft (Johnson, Illig, Behan & Haberly, 2000; Arenkiel, Peca, Davidson, Feliciano, Deisseroth, Augustine, Ehlers & Feng, 2007). Nur wenige Mitralzellen werden dabei benötigt, um eine Antwort im PK zu erzeugen (Franks & Isaacson, 2006). Er wird mit olfaktorischem Lernen assoziiert (Li, Luxenberg, Parrish & Gottfried, 2006). Da der piriforme Kortex Informationen aus den Mitralzellen erhält (Zou, Horowitz, Montmayeur, Snapper & Buck, 2001) ist es nahe liegend, dass auch Plasitizität im piriformen Kortex in Abhängigkeit der Geruchsstoffe mit denen ein Organismus exponiert wird entsteht. So entwickeln sich auch im piriformen Kortex in Abhängigkeit der Exposition mit einem Geruchsstoff neue synpatische Verbindungen (Litaudon, Mouly, Sullivan, Gervais & Cattarelli, 1997). Wenn ein Geruchsstoff länger als 50 Sekunden präsentiert wird formen sich im anterioren piriformen Kortex neue Rezeptive-Felder (Wilson 2003). Innerhalb des piriformen Kortex findet olfaktorisches Lernen unter anderem durch Langzeitpotenzierung, vermittelt über Acetylcholin (Hasselmo & Barkai, 1995) und den NMDA-Rezeptor (Kanter & Haberly, 1990) statt.

2.2.3.4 Die Amygdala

Emotional bedeutsame Geruchsstoffe führen auch zu einer Aktivierung der Amygdala (Royet, Zald, Versace, Costes, Lavenne, Koenig & Gervais, 2000). Dennoch ist die Aktivierung der Amygdala durch unangenehme Geruchsstoffe größer als durch angenehme Geruchsstoffe (Zald & Pardo, 2000). Die Amygdala ist vor allem mit der Verarbeitung von Geruchsintensitäten assoziiert (Anderson, Christoff, Stappen, Panitz, Ghahremani, & Glover, 2003).

2.2.3.5 Der Enthorinalkortex

Die Bedeutung des Enthorinal Kortex (EK) für die Geruchswahrnehmung ist bislang weitestgehend ungeklärt (Sobel, Johnson, Mainland & Yousem, 2003). Da der EK reziprok mit dem Hippocampus verschaltet ist (Pitkanen, Pikkarainen, Nurminen & Ylinen, 2000), gehen neuere Studien davon aus, dass auch der EK an olfaktorischen Gedächtnisprozessen beteiligt ist (Ferry, Herbaux, Cosquer, Traissard, Galani & Cassel, 2007).

2.2.4 Der sekundäre olfaktorische Kortex

Entsprechend den sekundären Kortizes andere Sinnesmodalitäten, erhält auch der sekundäre olfaktorische Kortex Projektionen aus primären Arealen. Nach Pause (2004) zählen hierzu der Hippocampus, der Hypothalamus, der Thalamus, der Orbitofrontalkortex und die Insel.

Für den Hippocampus wird angenommen, dass er für die modalitätsübergreifende Integration von visuellen und olfaktorischen Reizen zuständig ist und zu einer Aktivierung assoziierter, semantischer Informationen führt (Gottfried & Dolan, 2003). Bei Ratten konnte gezeigt werden, dass der Hippocampus vor allem in die Umsetzung eines motorischen Verhaltens nach einer bedeutsamen olfaktorischen Stimulation involviert ist (Vanderwolf, 2001).

Der Hypothalamus ist in die Verarbeitung von Gerüchen involviert, wenn hierbei der internale Zustand bedeutsam ist (Zatorre, Jones-Gotman & Rouby. 2000). Savic und Mitarbeiter nehmen darüber hinaus an, dass der Hypothalamus auch bei der Verarbeitung von Geruchsstoffen beteiligt ist, die eine sexuelle Relevanz besitzen könnten (Savic, Berglund, Gulyas & Roland, 2001).

Für den Thalamus konnte auch Aktivität nachgewiesen werden, wenn Geruchsstoffe verarbeitet werden (Savic, Gulyas, Larsson & Roland, 2000), dennoch ziehen nur sehr wenige

Fasern in den mediodorsalen Thalamus (Öngür & Price, 2000), so dass die Rolle des Thalamus für die Geruchsverarbeitung nicht die Bedeutung besitzt wie in anderen Sinnesmodalitäten (Shephard, 2005). Möglicherweise liegt die Begründung darin, dass der BO eine ähnliche Flaschenhalsfunktion besitzt, wie der Thalamus für andere Sinnesmodalitäten (Kay & Sherman, 2005).

Der Orbitofrontal Kortex (OFK) ist das neokortikale Ziel des primären olfaktorischen Kortex (Gottfried & Zald, 2005). Die Projektionen aus dem primären olfaktorischen Kortex gelangen in den posterioren Teil des OFK und werden dort mit Informationen aus kortikalen Arealen anderen Sinnesmodalitäten zusammengeführt. Hierzu zählen der gustatorische Kortex sowie Areale höherer visueller, somatosensorischer, gustatorischer und auditorischer Funktionen (Barbas, 2007).

Die Insel wird mit höheren Aufgaben, wie der hedonischen Beurteilung eines Geruchs oder der modalitätsübergreifenden Integration in Verbindung gebracht (Gottfried & Zald, 2005). Da die Insel den primären gustatorischen Kortex darstellt, wird sie durch die Konvergenz olfaktorischer und gustatorischer Signale auch mit der Aromenwahrnehmung assoziiert (De Araujo, Rolls, Kringelbach, McGlone & Phillips, 2003).

2.3 Methoden der Quantifizierung von Geruchsleistungen

Nach Doty und Laing (Doty & Lang, 2003) können Geruchsleistungen über die Wahrnehmungsschwelle, die Identifikationsleistung und die Diskriminationsleistung untersucht werden. In dem folgenden Abschnitt werden getrennt für die drei verschiedenen Testgruppen bereits bestehende Testverfahren vorgestellt. Für jeden Test werden Vor- und Nachteile des jeweiligen Tests beschrieben. Abschließend wird ein Fazit gezogen, welche Implikationen aus den bereits bestehenden Testverfahren für die Entwicklung des Diskriminationstest genutzt werden können.

2.3.1 Schwellentests

Schwellentests dienen der Bestimmung der Wahrnehmungsschwelle. Mit einem Schwellentest soll folglich bestimmt werden, wie stark ein Geruchsstoff konzentriert sein muss, damit ein Testteilnehmer diesen wahrnehmen kann. Wie auch für die Testung in anderen Sinnesmodali-

täten können hierfür die Konzentrationen eines Geruchsstoffs zum einen so lange verringert werden, bis dieser nicht mehr wahrgenommen werden kann (top-down). Zum anderen können die Konzentrationen ausgehend von einer sehr niedrigen Konzentration so lange erhöht werden, bis der Geruchsstoff wahrgenommen werden kann (bottom-up). Eine dritte Möglichkeit besteht darin, verschiedene Geruchsstoffe randomisiert zu präsentieren und einen Mittelwert an Hand der richtig detektierten Konzentrationen zu bestimmen.

2.3.1.1 Schwellentest von Doty

Das Ziel des Schwellentests von Doty (Doty, Shaman & Dann, 1984) hat die Bestimmung der absoluten Wahrnehmungsschelle zum Ziel und kann nicht nur im Bereich der Geruchswahrnehmung sondern analog auch in der Geschmackswahrnehmung eingesetzt werden (Loucks & Doty, 2004). Für die Testung können beliebige Geruchsstoffe verwendet werden, die in einem geruchsneutralen flüssigen Lösungsmittel gelöst und auf die entsprechenden Konzentrationsstufen verdünnt werden können. Bei dem Schwellentest werden insgesamt sieben Wahrnehmungsschwellen bestimmt; vier davon aufsteigend, das heißt es wird von einer niedrigen Ausgangskonzentration die Konzentration so lange sukzessiv erhöht, bis der Teilnehmer den Geruchsstoff wahrnehmen kann, und drei absteigend, das heißt, dass die Konzentration so lange sukzessiv verringert wird, bis der Teilnehmer den Geruchsstoff nicht mehr erkennen kann. Ob ein Geruchsstoff erkannt werden kann wird in einem 2-Alternativen Forced-choice-Verfahren bestimmt. So wird in jedem Durchgang in einer Geruchsprobe der Geruchsstoff in einer bestimmten Verdünnung präsentiert und in der anderen Geruchsprobe das geruchsneutrale Lösungsmittel. Die Aufgabe des Teilnehmers besteht in jedem Durchgang darin, die Geruchsprobe zu bestimmen, die einen stärkeren Geruchseindruck erzeugt. Als Schwellenwert wird der Mittelwert über die letzten vier der sieben einzeln ermittelten Geruchsschwellen bestimmt. Die Abstände zwischen den Konzentrationsstufen sind logarithmisch skaliert.

Die Re-Test-Reliabilität für den Schwellentest und den Geruchsstoff Phenyl-Ethanol liegt bei 0,88 (Doty et al., 1984). Die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Phenyl-Ethanol Schwelle lagen bei 6,38 ± 1,63 bei der Ersttestung und bei 6,28 ± 1,74 bei der Zweittestung. Da der Schwellentest auch in dieser Arbeit in der abschließenden sechsten Studie zum Einsatz kommen wird, können diese Werte auch als Anhaltspunkte dienen, welche Werte bei der Schwellenbestimmung zu erwarten sind. Unterschiede in den absoluten Schwellen zwischen links- und rechtslateraler Präsentation bestehen nicht. Die absolute Schwelle ist bei bilateraler Präsentation höher als bei unilateraler Präsentation (Betchen & Doty, 1998). Eine

positive Rückmeldung der Testleiters über die Leistung der Teilnehmer kann jedoch dazu führen, dass für niedrige Konzentrationsstufen, ebenfalls bei Testungen mit dem Geruchsstoff Phenyl-Ethanol, die Geruchsproben mit dem Geruchsstoff häufiger richtig detektiert werden (Doty, Diez, Turnacioglu, McKeown, Gledhill, Armstrong & Lee, 2003).

Der Vorteil dieses Schwellentests besteht darin, dass er eine hohe Re-Test-Reliabilität besitzt. Darüber hinaus werden die ersten drei bestimmten Einzelschwellen verworfen damit die Teilnehmer die Möglichkeit haben, sich mit der Aufgabe vertraut zu machen. Ein weiterer Vorteil dieses Tests besteht darin, dass sein Testaufbau frei zugänglich ist und er somit weit verbreitet eingesetzt werden kann. Folglich kann der Test auch beliebig modifiziert werden, in dem beispielsweise unterschiedliche Geruchsstoffe verwendet werden können oder die Abstände der Konzentrationsstufen variiert werden können. Der entscheidende Nachteil dieses Tests besteht darin, dass seine Durchführung verglichen mit anderen Testverfahren sehr zeitintensiv ist und die Gesamtdauer nicht vorab bestimmt werden kann, da sie die Durchführung adaptiv an das Antwortmuster des Teilnehmers angepasst wird.

2.3.1.2 Single Ascending Series Butanol Odor Detection Threshold Test

Bei diesem Schwellentestverfahren wird auf die gleiche Weise wie in dem Schwellentest von Doty (Doty et al. 1984) eine einzelne aufsteigende Schwelle für den Geruchsstoff Butanol bestimmt (Stevens, Cain & Burke, 1988). Es wird die Konzentration als Schwellenwert angegeben, bei der fünf Mal hintereinander die Geruchsprobe, die den Geruchsstoff enthält, richtig bestimmt wurde. Die Geruchsstoffe werden in Plastikflaschen präsentiert, die durch Zusammendrücken den Geruchsstoff abgeben. Der Vorteil gegenüber dem zuvor beschriebenen Schwellentest besteht darin, dass seine Durchführung deutlich weniger Zeit benötigt. Auch wenn dieser Aspekt noch nicht untersucht wurde, kann jedoch angenommen werden, dass die geringere Versuchsdauer zu Lasten der Messgenauigkeit geht. Die Teilnehmer haben darüber hinaus nicht die Möglichkeit, sich mit der Aufgabe vertraut zu machen. Auch die Verwendung von Kunststoffflaschen scheint ungeeignet zu sein, da die meisten Kunststoffflaschen Weichmacher enthalten von denen ein Eigengeruch ausgehen kann.

2.3.1.3 Der Single Series Phenyl Ethyl Methyl Ethyl Carbinol Odor Detection Threshold Test

Wie bei dem zuvor beschriebenen Schwellentest wir auch in diesem Test die Schwelle in einem 2-Alternativen Forced-Choice-Verfahren bestimmt (Amoore & Ollman, 1983). Die Schwelle wird jedoch absteigend bestimmt. Für den Schwellenwert ist dreimaliges Erkennen der intensiver riechenden Geruchsprobe ausreichend. Die Wahrnehmungsschwelle wird in diesem Verfahren absteigend bestimmt. Dieses methodische Vorgehen bietet den Vorteil, dass die Teilnehmer zunächst hohe Konzentrationen des Geruchsstoffs riechen können und sich somit sowohl mit dessen Geruchsqualität als auch mit der Aufgabe vertraut machen können. Es kann vermutet, dass die vergleichsweise kurze Versuchsdauer auch hier zu Lasten der Messgenauigkeit geht.

2.3.1.4 T&T Olfactometer

Dieses Testverfahren dient der Bestimmung der Wahrnehmungs- und der Erkennungsschwelle (Takagi, 1989). Vier verschiedene Geruchsstoffe werden in jeweils acht verschiedenen logarithmisch skalierten Konzentrationsstufen aufsteigend präsentiert. Die Wahrnehmungsschwelle wird über die Konzentration definiert, bei der die Teilnehmer einen Geruchsstoff wahrnehmen können. Die Erkennungsschwelle wird über die Konzentration definiert, bei der ein Teilnehmer den Geruchsstoff erkennen kann. Bei diesem Test handelt es sich um den einzigen Test bei dem auch die Erkennungsschwelle bestimmt wird.

2.3.2 Identifikationstests

Identifikationstests haben das Ziel die Fähigkeit zu messen, wie gut Geruchsstoffe erkannt und verbal verankert werden können. Da alle Identifikationstests jedoch somit an die sprachlichen Fähigkeiten der Teilnehmer gebunden sind und auch die Erfahrungen mit Geruchsstoffen einen Einfluss auf die Lösungswahrscheinlichkeit besitzen, wird auch die Kritik an Identifikationstests geäußert, dass diese sprach-, bildungs- und kulturabhängig sind (Köster, 2002).

2.3.2.1 University of Pennsylvania Smell Identification Test

Bei dem University of Pennsylvania Smell Identification Test (Doty et al., 1984) handelt es sich um einen Identifikationstest, bei dem die Teilnehmer in insgesamt 40 Testaufgaben für jeweils einen Geruchsstoff eine von vier vorgegeben Geruchsqualitäten zuordnen müssen. Der Test umfasst vier Testhefte mit jeweils 10 Testaufgaben. Auf jeder Seite des Testhefts befindet sich ein Feld, auf dem in Mikrokapseln ein Geruchsstoff eingeschlossen ist. Durch Aufkratzen dieser Mikrokapseln mit einem Stift wird der Geruchsstoff freigegeben. Der Teilnehmer riecht anschließend an diesem Feld und muss den Geruchsstoff einer der vier vorgegeben Geruchsqualitäten zuordnen. Abbildung 2-7 zeigt ein Testheft und eine Seite des Testhefts, auf dem die vier vorgegeben Antwortalternativen und das Feld mit dem eingeschlossenen Geruchsstoff zu erkennen sind.

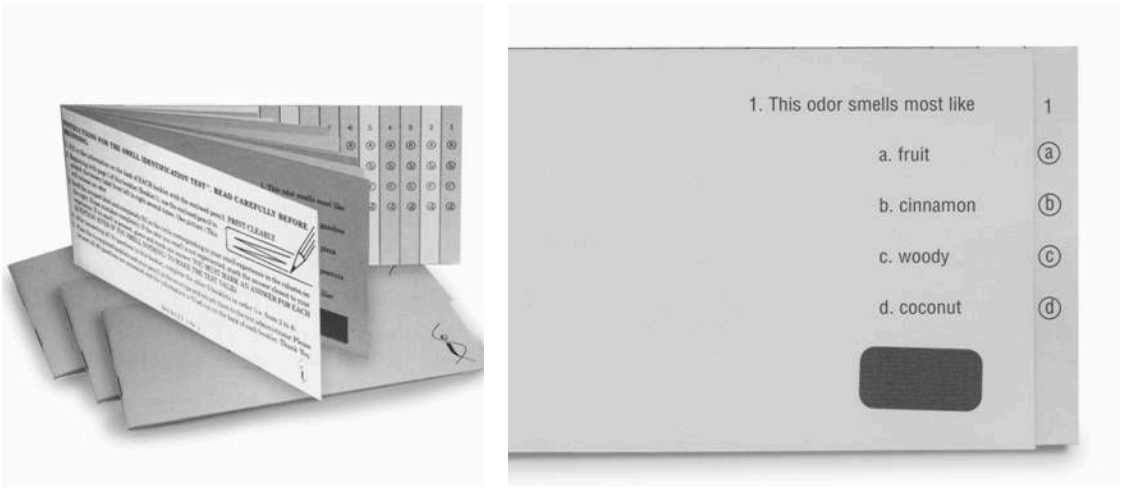


Abbildung 2-7: University of Pennsylvania Smell Identification Test (UPSIT).

Die Re-Test-Reliabilität für den UPSIT wurde mit 1215 Teilnehmern ermittelt und ergab einen Wert von 0,92 nach einem 6-Monats-Intervall (Doty et al., 1984). Die Schätzung der inneren Konsistenz mit 774 Teilnehmern, nach der Methode von Guilford führte ebenfalls zu einem Wert von 0,92 (Doty, Frye & Agrawal, 1989). Die hohen Teilnehmerzahlen sind darauf zurückzuführen, dass die Testhefte den Teilnehmern postalisch zugeschickt werden können. Nach Jackman und Doty (Jackman & Doty, 2005) eignet sich selbst eine Testverkürzung auf drei Testaufgaben dazu, um schwere Geruchsstörungen hoch reliabel, mit einer Re-Test-Reliabilität von 0,87 zu detektieren. Abbildung 2-8 zeigt die Normwerte für Frauen und Abbildung 2-9 die Normwerte für Männer.

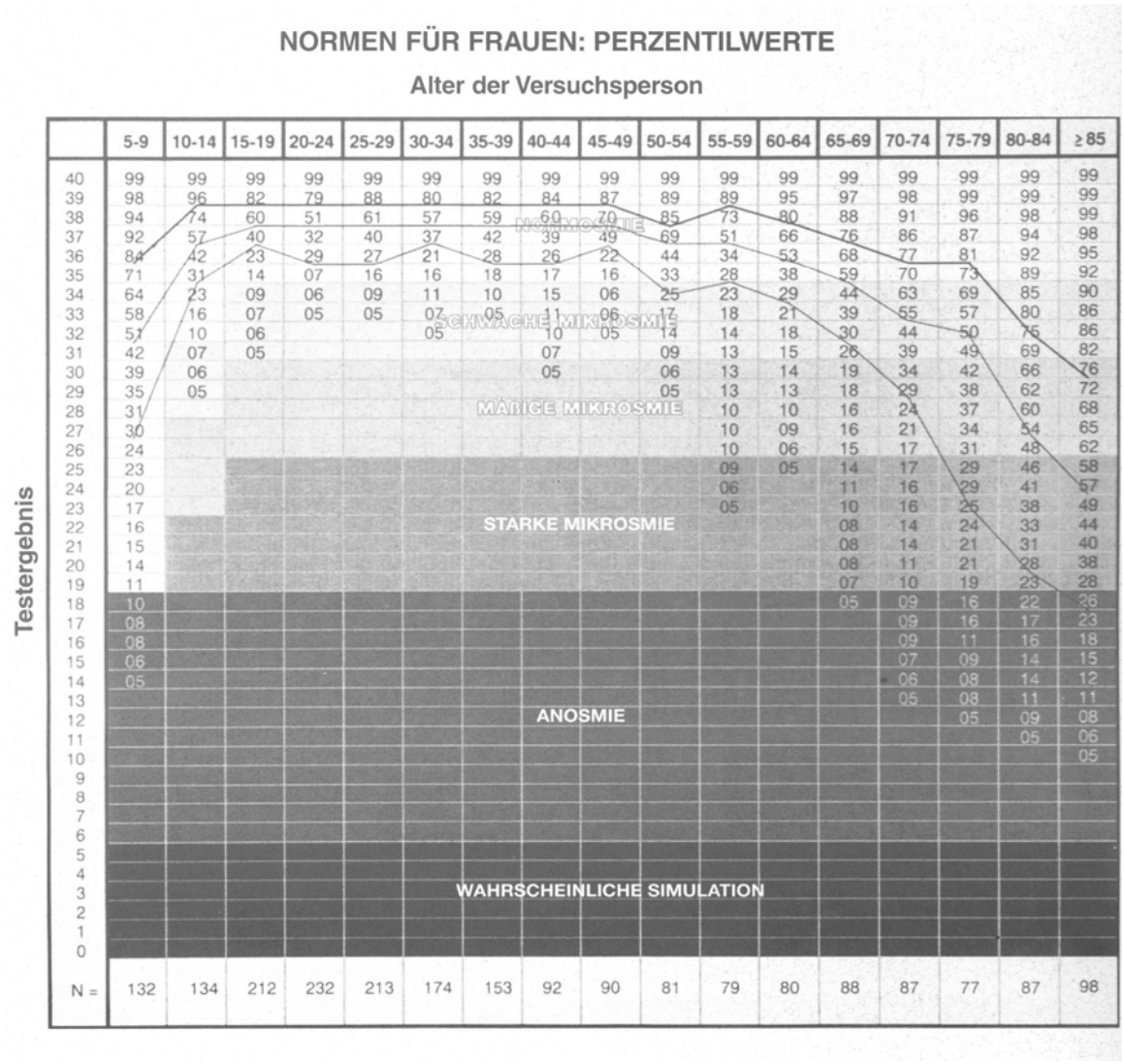


Abbildung 2-8: Normwerte für den UPSIT (Frauen). Aus dem Testmanual des UPSIT (Fa. Sensonics, Hasson Heights.

Der Vorteil des UPSIT liegt darin, dass er an einer sehr großen Normstichprobe normiert wurde. Darüber hinaus ist der Testaufbau sehr ansprechend. Trotz der 40 Testaufgaben ist der Test sehr abwechslungsreich, da in jeder Testaufgabe ein neuer Geruchsstoff präsentiert wird. Auch die sehr hohe Re-Test-Reliabilität ist ein entscheidendes Argument für den Einsatz dieses Tests. Als Nachteil kann einerseits die Kritik von Köster (2002) angeführt werden, dass generell bei Identifikationstests die Validität angezweifelt werden kann. Darüber hinaus wurden für die Normierung Testhefte postalisch an die Teilnehmer versendet. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Beantwortung der Testaufgaben nicht von den Teilnehmern

erfolgte, denen die Testhefte zugesendet wurden oder die Testaufgaben von den Teilnehmern zusammen mit anderen Personen gelöst wurden. Darüber hinaus können die Normen auch nur auf Populationen des gleichen Kulturkreises angewendet werden. Selbst eine Übertragbarkeit in westliche europäische Länder ist für diesen in den USA normierten Test fragwürdig, da sich die Alltagsgerüche zwischen beiden Kulturkreisen deutlich unterscheiden.

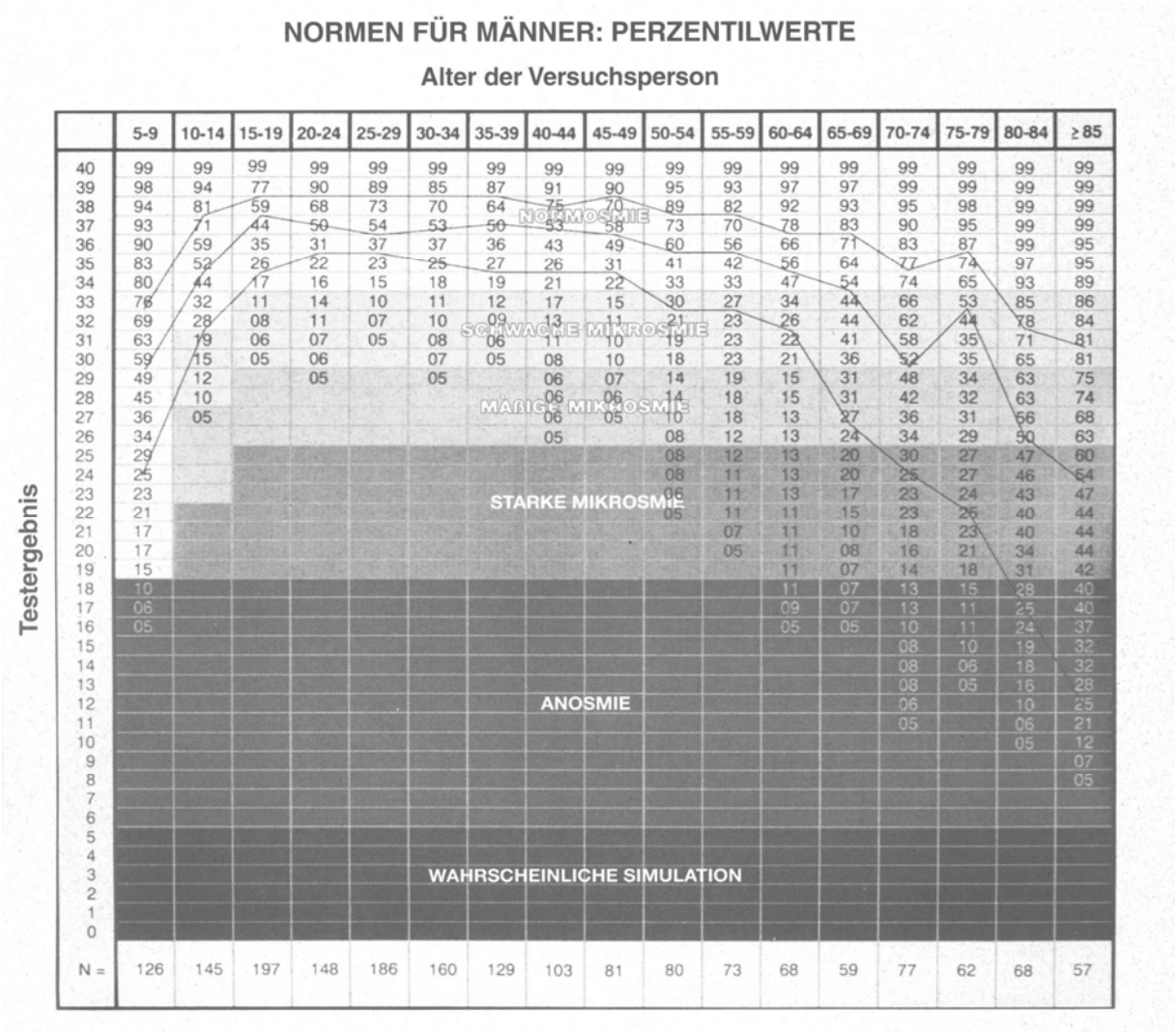


Abbildung 2-9: Normwerte für den UPSIT (Männer). Aus dem Testmanual des UPSIT (Fa. Sensonics, Hasson Heights.

2.3.2.2 Cross-Cultural Smell Identification Test (CC-SIT)

Bei dem CC-SIT handelt es sich um eine Kurzform des UPSITs, für den 12 Testaufgaben aus dem UPSIT ausgewählt wurden, deren Geruchsstoffe speziell in Nordamerika und Europa bekannt sein sollen (Doty, Marcus & Lee, 1996). Die Gestaltung der Testaufgaben ist damit identisch zu denen des UPSITs. Somit gelten alle zuvor hervorgebrachten Kritikpunkte auch für diesen Test. Der Vorteil dieses Tests ist jedoch, dass es sich hierbei um eine Testversion handelt, die nicht auf die Anwendbarkeit in den USA beschränkt ist.

2.3.2.3 Yes/No Odor Identification Test

In diesem Test werden 20 Geruchsstoffe aus dem UPSIT verwendet. Entweder werden diese zusammen mit einer verbalen Beschreibung der vorgesehenen Geruchsqualität oder einer anderen Geruchsqualität präsentiert (Corwin, 1989). Die Aufgabe der Teilnehmer besteht darin zu entscheiden, ob die vorgegebene Geruchsqualität den Geruchsstoff korrekt beschreibt. Vorteilhaft kann bei diesem Testverfahren angesehen werden, dass im Gegensatz zum UPSIT nur *eine* verbale Beschreibung des Geruchsstoffs vorgegeben wird. Somit kann angenommen werden, dass die kognitiven Anforderungen bei diesem Test geringer sind, was zu weniger Fehlervarianz führen sollte, wenn klinische Stichproben untersucht werden. Die Reduktion von vier auf zwei Antwortalternativen erhöht jedoch andererseits die Ratewahrscheinlichkeit.

2.3.2.4 Scandinavian Odor-Identification-Test (SOIT)

Dieses Testverfahren wurde für den Einsatz in Skandinavien entwickeln, da die Anwendung des UPSITs in Skandinavien auf Grund von kulturellen Unterschieden nicht geeignet ist (Nordin, Brämerson, Lidén & Bende, 1998). In 16 Durchgängen wird jeweils ein Geruchsstoff in einer mit getränkter Watte befüllten Flasche präsentiert. Die Aufgabe besteht darin, eine von vier möglichen Antwortalternativen auszuwählen wie es auch beim UPSIT der Fall ist. Seine Re-Test-Reliabilität liegt bei 0,79 und die Split-half-Reliabilität bei 0,56. Er korreliert hoch mit dem UPSIT ($r = 0{,}76$). Die Entwicklung eines eigenständigen Identifikationstests für Skandinavische Länder verdeutlicht die beschränkte Anwendbarkeit von Identifikationstests.

2.3.2.5 Wiener Olfaktorische Testbatterie (WOTB)

Bei diesem deutschsprachigen Testverfahren wird in 20 Durchgängen jeweils ein Geruchsstoff präsentiert für den eine von vier verschiedenen Antwortalternativen ausgewählt werden muss (Lehrne & Deecke, 2000). Die innere Konsistenz liegt bei 0,71 und die Re-Test-Reliabilität bei 0,75. Dieses Testverfahren besitzt den gleichen methodischen Aufbau wie der UPSIT, so dass für diesen Test auch die gleichen Kritikpunkt gelten. Dieser Test ist darüber hinaus an einer kleineren Stichprobe als der UPSIT normiert und weist eine geringere Reliabiltät auf.

2.3.2.6 Geruchsdisketten

Die Geruchsdisketten sind Disketten-förmige Behältnisse, in denen Geruchsstoffe auf Schwämmchen eingeschlossen sind (Simmen, Briner & Hess, 1999). In acht Durchgängen müssen die Teilnehmer einen vorgegeben Geruchsstoff an Hand einer von drei vorgegebenen Antwortalternativen identifizieren. Einer der Geruchsstoffe wird von den Autoren als trigeminal eingestuft und sollte somit auch von Anosmikern detektiert werden können. Es fehlen jedoch nicht nur Angaben zur Validität sondern ebenfalls zur Reliabilität. Hervorzuheben ist jedoch, dass es sich hierbei um den bislang einzigen Geruchstest handelt, der auch berücksichtigt, dass Geruchsstoffe olfaktorisch und trigeminal verarbeitet werden können.

2.3.2.7 Conneticut Chemosensory Clinical Research-Center Identification Test (CCCRC)

Die Identifikationsleistung kann ebenfalls mit dem CCCRC bestimmt werden (Cain, Gent, Catalanotto & Goodspeed, 1983). Für die Messung der Identifikationsleistung müssen die Teilnehmer 20 verschiedene Geruchsstoffe frei benennen. Wenn sie die vorgegebene Geruchsqualität richtig bestimmen, erhalten sie einen Punkt. Wenn sie eine andere Geruchsqualität nennen, wird die entsprechende Testaufgabe ein weiteres Mal zu einem anderen Zeitpunkt präsentiert. Wird bei dieser erneuten Vorgabe die gleiche Geruchsqualität wie bei der ersten Vorgabe genannt, wird die Geruchsqualität in der Testaufgabe als richtig identifiziert bewertet. Im Gegensatz zu den meisten anderen Testverfahren werden Angaben darüber gemacht, ob die verwendeten Geruchsstoffe als olfaktorische oder trigeminal eingestuft werde können, ein Aspekt, der auch für die Entwicklung des Diskriminationstests bedeutend ist.

2.3.3 Diskriminationstests

Bei Diskriminationstests besteht die Aufgabe der Teilnehmer darin, Geruchsstoffe zu unterscheiden. Da hierfür die Geruchsstoffe nicht verbal verankert werden müssen, sind Diskriminationstests auch nicht sprach-, bildungs- und kulturabhängig und erlauben auch den Vergleich der Geruchsleistung zwischen verschiedenen Arten. Es existieren bislang jedoch nur zwei Diskriminationstests.

2.3.3.1 Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks

Bei den Sniffin'Sticks (Hummel, Sekinger, Wolf, Pauli & Kobal, 1997) handelt es sich um eine Testbatterie, bei der die Wahrnehmungsschelle, die Identifikations- und die Diskriminationsleistung erfasst werden. Bei der Schwellenbestimmung wird vergleichbar zu dem Schwellentest nach Doty (1984) eine Schwelle in einer 2-Alternativen Forced-choice-Prozedur für den Geruchsstoff n-Butanol bestimmt. Bei dem Identifikationstest werden ebenfalls vergleichbar zu dem UPSIT 16 Geruchsstoffe vorgegeben, für die jeweils aus vier vorgegeben Antwortmöglichkeiten eine ausgewählt werden muss. Auf diese Untertests soll somit nicht näher eingegangen werden. In dem Diskriminationsuntertest werden in 16 verschiedenen Durchgängen jeweils drei Geruchsstoffe präsentiert. Zwei Geruchsstoffe sind identisch und ein Geruchsstoff besitzt eine unterschiedliche Geruchsqualität. Die Geruchsstoffe sind in Filzstiften eingeschlossen (Abbildung 2-10). Die Aufgabe besteht darin, den abweichenden Geruchsstoff zu detektieren. Die Re-Test-Reliabilität für den Diskriminationsuntertest beträgt 0,54 (Hummel et al., 1997). Zehn Jahre nach der Einführung liegen mittlerweile die Normwerte von mehr als 3000 Teilnehmern vor (Hummel, Kobal, Gudziol & Mackay-Sim, 2007). Angaben zu anderen Gütekriterien werden nicht gemacht. In einer Vielzahl der Studien, bei denen die Sniffin'Sticks eingesetzt wurden, wurden häufig jedoch nur einzelne Untertests angewendet und nicht die gesamte Testbatterie (Beispielsweise Identifikation: Bennetto, Kuschner & Hyman, 2007; Identifikation und Schwelle: Scinska, Wrobel, Korkosz, Zatorski, Sienkiewicz-Jarosz, Lojkowska, Swiecicki & Kukwa, 2008) oder die Testleistung der untersuchten Populationen wurde über den Summenwert über alle drei Untertests, ohne nähere Spezifizierung der Einzelleistungen durchgeführt (beispielsweise Welge-Luessen, Hummel, Stojan & Wolfensberger, 2005; Frasnelli & Hummel, 2005).

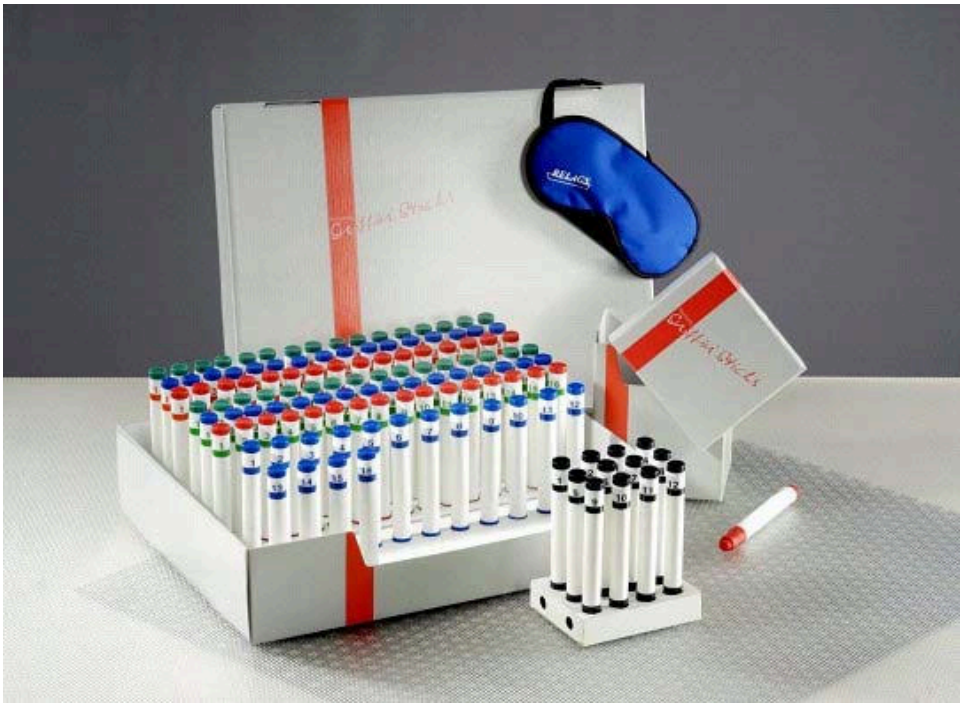


Abbildung 2-10: Sniffin'Sticks Testbatterie.

2.3.3.2 Odor Discrimination Test

Dieser Diskriminationstest stellt eine Mischung aus dem UPSIT und dem Diskriminationsuntertest der Sniffin'Sticks dar. In 16 Durchgängen muss jeweils einer von drei vorgegebenen Geruchsstoffen ausgewählt werden, der anders riecht, als die anderen beiden. Die Geruchsstoffe werden in gleicher Weise präsentiert wie im UPSIT (Smith, Doty, Burlingame & McKeown, 1993). Auch bei diesem Test wird ein 3-Alternativen Forced-Choice Paradigma angewendet.

2.3.4 Weitere Testverfahren

2.3.4.1 Odor Recognition Memory Test

Die Aufgabe in diesem Test besteht darin, aus jeweils vier vorgegeben Geruchsstoffen einen Zielgeruchsstoff wieder zu erkennen, der zuvor in einem Lerndurchgang präsentiert wurde (Bromley & Doty, 1995). Die Geruchsstoffe werden auf die gleiche Weise präsentiert wie die Geruchsstoffe im UPSIT. Der Test umfasst 12 Durchgänge. In den ersten vier Durchgängen beträgt das Zwischen-Durchgangs-Intervall 10 Sekunden, in den mittleren Vier 30 Sekunden und in den letzten Vier 60 Sekunden, wodurch sich die Schwierigkeit zunehmend erhöht. Die gewählten Intervalle in diesem Test zeigen, dass bereits eine Zunahme des zeitlichen Intervalls von 10 auf 30 Sekunden als Zunahme der Schwierigkeit gewertet werden kann.

2.3.4.2 Suprathreshold Amyl Acetate Odor Intensity and Odor Pleasantness Rating Test

Bei diesem Testverfahren werden vier verschiedene Geruchsstoffe jeweils fünf Mal in randomisierter Reihenfolge präsentiert (Doty et al., 1994). Die Teilnehmer müssen jeweils die Intensität und die Valenz des Geruchsstoffs bewerten.

2.3.4.3 Sniff Magnitude-Test (SMT)

Der SMT erfasst ein anderes Konzept als die bisher vorgestellten Tests (Frank, Dulay & Gesteland, 2003). In diesem Test werden den Teilnehmern verschiedene, intensive Geruchsstoffe präsentiert. Da intensive Geruchsstoffen zu einer Reduktion des durch die Nase eingeatmeten Volumens führen, wird diese Veränderung des Atemvolumens mit einem elektronischen Flussmesser erfasst. Je geringer diese Veränderung ist, desto weniger sensitiv sind die Teilnehmer. Dieser Test weist eine Re-Test-Reliabilität von 0.80 auf und korreliert hoch negativ mit dem UPSIT. Ob mit diesem Testverfahren jedoch die olfaktorische Geruchsleistung oder die trigeminale Sensitivität der Teilnehmer erfasst wird, wird nicht diskutiert.

2.3.5 Implikationen für die Testentwicklung

Der Vergleich der Schwellentests hat gezeigt, dass bei der Testentwicklung Praktikabilität und Reliabilität der Daten abgewägt werden müssen. Zwar ist das Schwellenverfahren nach

Doty (Doty et al., 1984) hoch reliabel, jedoch ist die Testlänge für den Einsatz in der klinischen Routinediagnostik zu lang. Bei der Auswahl der Anzahl an Testaufgaben muss dieser Aspekt folglich berücksichtigt werden. Darüber hinaus scheint es sinnvoll zu sein, den Teilnehmern an Hand von Probedurchgängen die Möglichkeit zu geben, sich mit der Aufgabe vertraut zu machen.

Die Vielfalt an Identifikationstests und die von Köster (Köster, 2002) hervorgebrachten Kritikpunkte lassen die Implikation zu, dass ein Diskriminationstest nur dann sinnvoll ist, wenn für die Beantwortung der Testaufgaben kein Lösungsvorteil durch eine entsprechende Sprachfähigkeit oder den Bildungshintergrund besteht. Dies ist insbesondere dann notwendig, wenn auch Vergleiche zwischen Kulturen angestrebt werden. Darüber hinaus ist es insbesondere sinnvoll bei der Auswahl der Geruchsstoffe darauf zu achten, ob die Geruchsstoffe als primär olfaktorisch oder trigeminal eingestuft werden können, wie es im Ansatz bei den Geruchsdisketten der Fall ist.

Die beiden beschriebenen Diskriminationstests verwenden beide eine 3-Alternativen Forced-Choice-Prozedur. Bei der Testentwicklung kann sich folglich an diesem methodischen Aufbau orientiert werden.

2.4 Bedeutung der Quantifizierung von Geruchsleistungen

Zum einen können Geruchstests auf dem Gebiet der Geruchsforschung eingesetzt werden, um die Fähigkeiten von Stichproben beschreiben zu können oder in Abhängigkeit der Fragestellung Ausschlusskriterien definieren zu können. Zum anderen gibt es eine Vielzahl von neurologischen, psychischen und systemischen Erkrankungen, die mit Geruchsstörungen einhergehen und bei denen Geruchstests für die Verlaufsevaluation der Geruchsstörungen im Krankheitsverlauf, aber auch zur Früherkennung eingesetzt werden können. Hawkes und Shepard (Hawkes & Shepard, 1998) untersuchten die Identifikationsstörungen bei den vier neurologischen Störungen Multiple Sklerose, Parkinson-Erkrankung, Motor-Neuronen Erkrankung und Alzheimer-Demenz. Alle Patienten mit Alzheimer-Demenz zeigten Identifikationsstörungen, jedoch wurden hierbei lediglich acht Patienten getestet. 81% der Patienten mit Parkinson-Erkrankung zeigten Identifikationsstörungen, 16% der Patienten mit Motor-Neuronen-Erkrankung und 15% der Patienten mit Multipler Sklerose. Im weiteren Verlauf dieses Absatzes wird eine Auswahl der Erkrankungen vorgestellt, die mit Geruchsstörungen einhergehen. Die vier Erkrankungen Alzheimer-Demenz, Parkinson-Erkrankung, Depression und Schizophrenie werden ausführlich behandelt, da diese am umfassendsten bezüglich ihrer Geruchsleistung untersucht wurden. Welche Geruchsleistungen betroffen sind wird für die Erkrankungen ebenfalls separat beschrieben. Weitere Erkrankungen, bei denen ebenfalls Störungen der Geruchsleistung berichtet werden, sind im Anschluss zusammengefasst. Eine umfassende Übersicht über Ursachen von Geruchsstörungen liefern Murphy und Mitarbeiter (Murphy, Doty & Duncan, 2003), die in die Festlegung von Ausschlusskriterien für die durchgeführten Studien mit einbezogen wurde.

2.4.1 Alzheimer Demenz

Die Früherkennung der Alzheimer-Demenz, insbesondere an Hand von biologischen Korrelaten wie der Geruchsleistung, birgt ein großes Potential, da Geruchsstörungen im Frühverlauf der Erkrankung entstehen (Berg, 2008). Die wenigsten der Alzheimer-Patienten sind sich jedoch ihrer Geruchsstörungen bewusst (Doty, Reyes & Gregor, 1987; Nordin, Monsch & Murphy, 1995). Im olfaktorischen Epithel bei Patienten mit Alzheimer-Demenz treten Dystrophien der Neurone (Talamo et al., 1989), pathologische Tau-Protein Veränderungen im späteren Krankheitsverlauf (Hock, Golombowski, Müller-Spahn, Peschel, Riederer Probst, Mandelkow & Unger, 1998), α-Synuclein Ansammlungen (Duda, Shah, Arnold, Lee & Trojanowski, 1999) und eine höhere Dichte von Rezeptor-Neuronen auf, die immunreaktiv für A-

polipoprotein E sind (Yamagashi, Getchell, Takami & Getchell, 1998). Zudem sind der BO ebenfalls vulnerabel gegenüber Tau- und α-Synuclein-Pathologien (Fujishiro, Tsuboj, Lin, Ukichado & Dickson, 2008).

Insbesondere Identifikationsstörungen treten bei Alzheimer-Demenz auf. Alzheimer-Patienten zeigen eine Beeinträchtigung in der geruchlichen Identifikationsleistung im Vergleich zu gesunden Kontrollprobanden (Gray, Staples, Murren, Dhariwal, A. & Bentham, P, 2001). Der UPSIT eignet sich ebenfalls bereits bei geringerer kognitiver Beeinträchtigung („Mild Cognitive Impairment“) dazu, Defizite in der Geruchsleistung aufzuzeigen, wobei Unterschiede in der Identifikationsleistung in Abhängigkeit des Schweregrads der kognitiven Beeinträchtigung festzustellen sind (Devanandet al., 2008). Der Schwellentest nach Doty (vgl. Abschnitt 2.3.1.1) eignet sich dazu, Defizite in der geruchlichen Sensitivität bei Alzheimer-Patienten zu detektieren. So liegen deren Schwellen für den Geruchsstoff Phenyl-Ethanol signifikant über denen von gesunden Kontroll-Personen (Doty et al., 1987). Darüber hinaus wurden Diskriminationsleistungsstörungen bei Alzheimer-Patienten jedoch nur unzureichend erforscht. In einer Übersicht über Studien für die Jahre 1974-2001 wurde in nur einer von 37 verschiedenen Studien die Diskriminationsleistung erfasst (Doty, 2003b).

2.4.2 Parkinson-Erkrankung

Bei Parkinson-Erkrankungen können Geruchsstörungen als Frühsymptome der Erkrankung beobachtet werden (Hawkes, 2004). In einer Studie mit 2906 Teilnehmern wurden nach einer Basismessung in zwei Folgemessungen nach vier und acht Jahren umso häufiger Parkinson-Erkrankungen gefunden, je schlechter die Identifikationsleistung bei der Basis-Messung war (Ross et al., 2008). Bei Parkinson-Patienten zeigen sich unter anderem im Olfaktorischen Epithel α-Synuclein-Ansammlungen wie bei Alzheimer-Demenz (Fujishiro et al., 2008).

Auch bei Patienten mit Parkinson Erkrankungen können Defizite in der absoluten Schwelle festgestellt werden. Der Schwellenwert für den Geruchsstoff Phenyl-Ethanol ist unabhängig von dem Schweregrad und der Dauer der Erkrankung höher als bei gesunden Kontrollpersonen (Doty, Deems & Stellar, 1988). 27% der Patienten mit einer Parkinson-Erkrankung waren sich dabei in dieser Studie über ihre Geruchsleistungsstörungen nicht bewusst. Parkinson-Patienten zeigen ebenfalls eine geringere Identifikationsleistung (Silveira-Moriyama et al., 2008). Bereits bei schwachen Parkinson-Symptomen, wie einem beeinträchtigten Gang, Rigidität, Bradykinesie und Ruhetremor treten gestörte Identifikationsleistungen auf (Louis, Marder, Tabert & Devanand, 2008). Vergleiche zwischen Patienten mit einer Par-

kinson-Erkrankung und gesunden Kontrollpersonen konnten zeigen, dass die Geruchsstörungen bei Patienten mit Parkinson-Erkrankungen nicht auf eine Abnahme der Geruchsleistung im Alter, sondern auf die Erkrankung zurückzuführen sind (Hawkes, 2004). Bei Patienten mit einer Parkinson-Erkrankung konnten ebenfalls geringere Leistungen in der Fähigkeit Gerüche zu unterscheiden beobachtet werden (Boesveldt, De Muinck Keizer, Knol, Wolters & Berendse, 2008; Boesveldt, Verbaan, Knol, Visser, Van Rooden, van Hilten & Berendse, 2008). Eine Tiefenhirnstimulation des Nucleus subthalamicus kann zu einer Verbesserung der Diskriminationsfähigkeit führen (Hummel, Jahnke, Sommer, Reichmann & Müller, 2004). Auch für diese Erkrankung wurden bisher sehr wenige Studien zur Diskriminationsleistung durchgeführt. In einer Übersicht über 26 Studien in den Jahren 1975-2002 wurden in nur drei Studien Diskriminationsleistungen erfasst (Doty, 2003b). Darüber hinaus konnten bei Patienten mit einer Parkinson-Erkrankung eine gestörte Riechtechnik im Sinne einer verminderten Flussstärke durch die Nase beim Inhalieren und eines geringeren nasalen Volumens beobachtet werden, was ebenfalls bei der Erklärung der Geruchsstörungen berücksichtigt werden muss (Sobel et al., 2001).

2.4.3 Depression

Nicht nur die Quantifizierung von Geruchsstörungen bei Patienten mit Depression ist per se von Interesse. Eine besondere Beziehung zwischen dem olfaktorischem System und der Depression besteht in dem Zusammenhang, dass eine bilaterale olfaktorische Bulbektomie im Tiermodell, was vornehmlich bei Ratten untersucht wurde, zu morphologischen, physiologischen und Verhaltensänderungen führt, wie sie bei Patienten mit Major-Depression beobachtet werden können (Cryan & Mombereau, 2004; Song & Leonard, 2005).

Eine Testung von Patienten mit Depression zeigte eine geringere geruchliche Sensitivität bei einer Testung mit den Geruchsstoffen L-Carvon und Tetrahydrothiophen (Lombion-Pouthier, Vandel, Nezelof, Haffen & Millot, 2006). Als Testverfahren wurde der „Test Olfactif“ verwendet, ein Schwellentest, bei dem für beide Geruchsstoffe die Schwelle in jeweils fünf Durchgängen mit einer 2-Alternativen Forced-Choice-Prozedur bestimmt wird. Auch die Wahrnehmungsschwellen für die Geruchsstoffe Phenyl-Ethanol und Eugenol zeigen die Defizite in der geruchlichen Sensitivität auf (Pause, Miranda, Göder, Aldenhoff & Ferstl, 2001). Die geringere geruchliche Sensitivität für den Geruchsstoff Phenyl-Ethanol kann dabei genuin auf die Erkrankung und nicht auf die Gabe von Antidepressiva zurückgeführt werden (Pause, Lembcke, Reese, Hinze-Selch, Aldenhoff & Ferstl, 2005). Die Testung mit dem Testverfah-

ren „Test Olfactif“, dessen Identifikationsaufgabe in Bezug auf Testlänge und Aufgabengestaltung identisch zu dem Identifikationsuntertest aus den Sniffin’Sticks ist, ergab keine Unterschiede zwischen Patienten mit Depression und gesunden Kontrollen. Auch für die Testung mit dem UPSIT gibt es keine Unterschiede zwischen Patienten mit Depression und ihren gesunden Kontrollen (Postolache et al., 1999). Für die psychische Erkrankung Depression ist bisher nicht bekannt, ob die Diskriminationsleistung beeinträchtigt ist (Atanasova, Graux, Hage, Hommet, Camus & Belzung, 2008). In einer aktuellen Studie zeigte sich kein bedeutsamer korrelativer Zusammenhang zwischen dem BDI-Wert und der Diskriminationsleistung in den Sniffin’Sticks (Pollatos et al., 2007).

2.4.4 Schizophrenie

Für die Erkrankung Schizophrenie wurden Geruchsidentifikationsstörungen als Risikomarker identifiziert (Compton et al., 2006). Bei Patienten mit Schizophrenie wurde sowohl ein Zusammenhang zwischen der Negativsymptomatik und Identifikationsstörungen, als auch kognitiven Symptomen und Desorganisation mit Identifikationsstörungen beobachtet (Good, Whitehorn, Rui, milliken & Kopala, 2006). Die Ergebnisse von Studien zur Wahrnehmungsschwelle sind jedoch gegensätzlich. In verschiedenen Studien zeigen Patienten mit Schizophrenie keine Unterschiede in der Phenyl-Ethanol Schwelle zu gesunden Kontrollpersonen (Kohler, Moberg, Gur O’Conner, Sperling & Doty, 2001; Kohler, Barrett, Gur, Turetsky & Moberg, 2007; Moberg et al., 2006). Geddes und Mitarbeiter berichteten eine höhere olfaktorische Wahrnehmungsschwelle für den Geruchsstoff Keton bei Patienten mit Negativ-Symptomatik (Geddes, Huws & Pratt, 1991). In einer aktuellen Studie von Pause und Mitarbeitern (Pause, Hellmann, Göder, Aldenhoff & Ferstl, 2008) wurde auf Ebene der Elektrophysiologie ein Verarbeitungsvorteil für negative, „bedrohliche“ Reize bei Patienten mit Schizophrenie nachgewiesen. Möglicherweise kann hierin die Erklärung dafür gesehen werden, dass auch von Hypersensitivität für Geruchsstoffe bei Patienten mit Schizophrenie berichtet wird (Sirota et al., 1999).

Im Diskriminationsuntertest der Sniffin’Sticks wurden bei Patienten mit Schizophrenie geringere Geruchsleistungen als gesunde Kontrollprobanden beobachtet (Rupp et al., 2005a). Die reduzierte Diskriminationsleistung korreliert dabei mit einem geringeren bilateralen Hippocampusvolumen und ist unabhängig von der prämorbiden Intelligenz, dem Rauchverhalten und dem Alter. Auch in einem anderen Testverfahren, dem Münchener Geruchstest, konnten diese Defizite in der Geruchsleistung nachgewiesen werden (Rupp et al., 2005b). Wie bereits

im Rahmen der Alzheimer-Demenz und der Parkinson-Erkrankung beschrieben wurde, ist auch für diese Erkrankung die Testung der Diskriminationsleistung unterrepräsentiert. Nur eine von 35 Studien aus einer Übersichtsliste von Doty (Doty et al., 2003) behandelt diese Form der Geruchsleistung bei Patienten mit Schizophrenie.

2.4.5 Essstörungen

In einer Studie von Aschenbrenner und Mitarbeitern wurden mit der Sniffin'Sticks Testbatterie die Geruchsleistungen von Patientinnen mit Anorexie und Bulimie erfasst (Aschenbrenner, Scholze, Joraschky & Hummel, 2008). Nur die Patientinnen mit Anorexie wiesen geringere Diskriminationsleistungen auf als Patientinnen mit Bulimie oder als die Kontrollgruppe. Die anderen beiden Geruchsleistungen waren unbeeinflusst.

2.4.6 Epilepsie

In einer Studie mit 23 Epilepsiepatienten zeigte sich für 50 verschiedene Geruchsstoffe, dass diese als weniger bekannt bewertet wurden und die Verarbeitung dieser Geruchsstoffe mit einer geringeren kortikalen Aktivität in limbischen Strukturen einherging (Ciumas, Lindström, Aoun & Savic, 2008). Dieser Befund unterstützt die Ergebnisse in anderen Studien die zeigen konnten, dass Patienten mit Epilepsie Geruchsstoffe weniger gut identifizieren können (Carroll, Richardson & Thompson, 1993; Kohler et al., 2001).

2.4.7 Korsakow-Syndrom

Patienten mit einem Korsakow-Syndrom zeigen deutliche Einbußen in der Fähigkeit Geruchsstoffe zu erkennen. Weniger als 10% von 21 untersuchten Kosakow-Patienten waren in der Lage im UPSIT mindestens 80% der Aufgaben richtig zu lösen, ein Ergebnis, dass in der gesunden Normstichprobe des Tests von 88% der Teilnehmer erreicht wurde (Mair et al., 1986). In einer Studie von Hulshoff Pol und Mitarbeitern zeigten sich ebenfalls Störungen in der Diskriminationsfähigkeit (Hulshoff Polet al., 2002). In einem eigens für eine Studie entwickelten Diskriminationstest mit Testaufgaben, deren Aufbau einer 3-Alternativen Forced-choice-Prozedur entsprach und dessen formaler Aufbau und die Anzahl der Testaufgaben dem Diskriminationsuntertests aus den Sniffin'Sticks vergleichbar waren, erzielten Korsakow-Patienten deutlich schlechtere Ergebnisse. Das gleiche Ergebnis zeigt sich bei Patienten mit

Alkoholabhängigkeit (Rupp et al., 2003). Des Weiteren zeigt sich bei Personen mit Alkoholabhängigkeiten ein Zusammenhang zwischen dem Volumen kortikaler und subkortikaler Strukturen und Störungen in der Geruchsidentifikation (Shear et al., 1992).

2.4.8 Chorea Huntington

Auch bei Chorea Huntington zeigen sich Geruchsstörungen im Sinne schlechterer Testleistungen im UPSIT. Im Gegensatz zu den für die Erkrankungen Alzheimer-Demenz und Parkinson-Erkrankung beschriebenen pathologischen Veränderungen durch α-Synuclein, die ebenfalls im Bulbus olfaktorius auftreten können, scheinen die Ursachen für Geruchsstörungen bei diesem Krankheitsbild eher auf kortikaler Ebene, im Zuge einer Degeneration im Enthorinal Kortex, dem Thalamus, dem parahippocampalen Gyrus und dem Nucleus caudatus zu liegen (Barrios et al., 2007). Die gleichen strukturellen hirnpathologischen Veränderungen zeigen sich ebenfalls im Hippocampus (van der Borght & Brundin, 2007). Die Anwendung der gesamten Testbatterie Sniffin'Sticks ergab bei Chorea Huntington-Patienten Defizite in der Identifikations- und Diskriminationsleistung, jedoch nicht in der Wahrnehmungsschwelle. Dieses Ergebnis wurde als fehlende Plastizität im primären olfaktorischen Kortex in Folge der Erkrankung interpretiert, wie sie auch im transgenen Mausmodell zu finden ist (Lazic et al., 2007).

2.4.9 Schädel-Hirn-Trauma (SHT)

Beim SHT können Geruchsstörungen in Folge von Schädigungen zentraler kortikaler Areale oder traumatischer Schädigung der primären olfaktorischen Strukturen. Die Testung von Patienten mit SHT und dem Identifikationstest SIT zeigte, dass Patienten die deutlichsten Identifikationsstörungen bei Schädigung des ventralen Frontalkortex aufwiesen (Fujiwara, Schwartz, Gao, Black & Levine, 2008). Bei Patienten mit traumatischem Schädel-Hirn-Trauma gibt es keinen Zusammenhang zwischen den Leistungen im Schwellentest und dem Ausmaß der Schädigung des Bulbus olfaktorius oder dem Traktus olfaktorius (Yousem, Geckle, Bilker, McKeown & Doty, 1996).

2.4.10 Multiple Sklerose

Auch wenn nur 16% der Patienten in der Studie von Hawkes und Shepard (Hawkes & Shepard, 1998) Identifikationsstörungen zeigten, beobachteten Doty und Mitarbeiter eine sehr hohe negative Korrelation zwischen dem Summerwert im UPSIT und der Anzahl Plaques im inferioren frontalen und temporalen Lobus, wobei diese pathologischen Veränderungen selektiv in diesen Arealen auftraten (Doty, Li, Mannon & Yousem, 1998). Möglicherweise liegt hierin die Ursache für Identifikationsstörungen bei Multipler Sklerose (Doty, Li, Mannon & Yousem, 1999).

2.4.11 HIV

Personen mit HIV-Erkrankungen zeigen zunehmende Identifikationsstörungen im Krankheitsverlauf (Westervelt & McCaffrey, 1997). Störungen der Diskriminationsfähigkeit wurden jedoch bislang nicht beobachtet (Müller, Temmel, Quint, Rieger & Hummel, 2002).

2.4.12 Implikationen für die Anwendung von Geruchstests

Der diagnostische Nutzen von Geruchstests im Bereich der Früherkennung von Alzheimer-Demenz und Parkinson-Erkrankung ist evidenzbasiert. Auch wenn die Sensitivität eines Geruchstests allein nicht ausreichend ist, um eine Diagnose zu bestätigen, können Geruchstests in erheblichem Maße dazu beitragen, Verdachtsdiagnosen zu erhärten und ergänzen somit das Spektrum psychologischer Test für eine mehrschichtige Diagnostik. Dennoch bedarf es weiterer Forschung, um die Bedeutung von Geruchsstörungen auch bei anderen Krankheitsbildern zu verstehen und Einflussfaktoren zu identifizieren. So konnten London und Mitarbeiter zeigen, dass nicht die Ätiologie einer Erkrankung per se eine Aussage darüber erlaubt, ob und wie Geruchsstörungen remittieren, sondern dass das Ausmaß der initialen Störung, die Dauer der Störung und das Alter des Patienten entscheidend zu der Prognose beitragen (London et al., 2008).

Auch wenn Defizite in der Lebensqualität, insbesondere bei Problemen im Beruf, im Haushalt, sowie im sozialen und familiären Leben bekannt sind, ist die Therapie von Geruchsstörungen unterrepräsentiert (Brämerson, 2007; Frasnelli & Hummel, 2004).

2.5 Theoretische Überlegungen zur Gestaltung eines „optimalen“ Diskriminationstests

2.5.1 Welche Geruchsstoffe sollten für die Testaufgaben verwendet werden?

Im Folgenden wird eine Antwort auf die Frage gegeben, warum die Notwendigkeit besteht, einen neuen Diskriminationstests zu entwickeln. Die zuvor aufgelisteten Testverfahren zeigen auf, dass die Entwicklung eines Wahrnehmungsschwellentests zur Bestimmung der quantitativen Geruchsleistung nicht mehr notwendig ist. Das von Doty (Doty et al., 1984) beschriebene Schwellenverfahren ist ein reliables Messverfahren, das mit verschiedenen Geruchsstoffen durchgeführt werden kann. Der schematische Aufbau ist in anderen Schwellentests vergleichbar. Überwiegend wird eine 2-Alternativen Forced-choice-Prozedur verwendet, bei der die intensivere Geruchsprobe, im Vergleich des verdünnten Geruchsstoffs mit dem reinen Lösungsmittel detektiert werden muss. Lediglich die Präsentationsform variiert (beispielsweise in Glasflaschen (Doty et al., 1984) oder in Plastikfalschen, die zusammengedrückt werden müssen (*Single Series Phenyl Ethyl Methyl Ethyl Carbinol Odor Detection Threshold Test).* Wie können jedoch die Testverfahren zur Messung der supraliminalen qualitativen Geruchswahrnehmung beurteilt werden?

Ein Hinweis dafür, dass die Validität der Identifikationsleistung problematisch zu betrachten ist zeigt die Tatsache, dass verschiedene Identifikationstests für verschiedene Kulturen entwickelt wurden. Darüber hinaus sind Identifikationstests einerseits sprachabhängig, da eine verbale Verankerung gefunden werden muss und andererseits folglich auch bildungsabhängig (Köster, 2002). Wenn die Konstruktvalidität von Identifikationstests, wie sie bisher konstruiert wurden, zweifelhaft ist, da weniger die Fähigkeit Gerüche zu erkennen gemessen wird als die sprachlichen Fähigkeiten, sind sie nicht dazu geeignet, die qualitative Geruchswahrnehmung zu erfassen. Auch die berichteten Defizite bei verschiedenen Patientengruppen in der Fähigkeit, Gerüche zu identifizieren, können mit sprachlichen Defiziten erklärt werden. Die Annahme, dass Diskriminationstests per se sprach-, bildungs- und kulturunabhängig sind, da Gerüche unterschieden werden müssen ist jedoch falsch. Sowohl im Diskriminationsuntertest der Sniffin’Sticks als auch im Odor Discrimination Test werden verschiedene Geruchsqualitäten in Form von verschiedenen Geruchsstoffen in den Testaufgaben verwendet. Auch wenn die Zusammensetzung der Geruchsstoffe in den Sniffin’Sticks nicht zugänglich ist, werden dort exemplarisch in einer Testaufgabe zwei Nelken-artige Düfte und ein Lakritz-artiger Duft präsentiert. Hierbei ist somit die semantische und verbale Verankerung der Geruchsstoffe ausreichend dafür, um aus drei vorgegebenen Geruchsstoffen den Geruchsstoff zu bestimmen, der nur ein Mal verwendet wurde. So gibt es Evidenz dafür, dass Geruchsstoffe,

die benannt werden können auch besser unterschieden werden können (Rabin, 1988). Die Akkuratheit der verbalen Beschreibung bestimmt folglich den Testerfolg. Ob diese beiden erwähnten Diskriminationstests in diesem Zusammenhang ein anderes Konstrukt erfassen als Identifikationstest kann angezweifelt werden. Darüber hinaus liegt die Re-Test-Reliabilität des Diskriminationsuntertests aus den Sniffin'Sticks bei 0,54. Angaben zu der Validität werden nur implizit gemacht. Da keine weiteren alternativen Diskriminationstests angeboten werden oder entwickelt wurden, ist die Entwicklung eines neuen Diskriminationstests unerlässlich.

2.5.2 Welche Geruchsstoffe sollten für die Testaufgaben verwendet werden?

Wie bereits aufgezeigt wurde, können Bedenken geäußert werden, ob die Verwendung verschiedener Geruchsqualitäten in Form von verschiedenen Geruchsstoffen geeignet ist, um einen sprach-, bildungs- und kulturunabhängigen Diskriminationstest zu entwickeln. Eine verbale Verankerung kann bei keinem Geruchsstoff gänzlich ausgeschlossen werden, jedoch in dem Maße reduziert werden, in dem die Ähnlichkeit zwischen zwei Geruchsstoffen objektiv variiert werden kann. Hierfür könnten drei Möglichkeiten in Frage kommen. So könnten die Geruchsstoffe an Hand von verbaler Deskriptoren oder ihrer molekularen Struktur klassifiziert werden oder als dritte Alternative Mischgerüche verwendet werden.

2.5.2.1 Verbale Deskriptoren

Bereits Henning (1924) versuchte alle Geruchsstoffe in einem dreidimensionalen Raum darzustellen, der durch sechs Deskriptoren bestimmt wird (Abbildung 2-11). In einer Übersichtsarbeit von Wise und Mitarbeitern (Wise, Olsson & Cain 2000) ist eine Abbildung dargestellt, wie verschiedene Geruchsstoff in dieses Schema eingeteilt werden könnten (Abbildung 2-12). Dieses Verfahren, das sich jedoch nicht durchsetzte, ist für die Klassifikation von Geruchsstoffen unzulänglich, da die zur Klassifikation vorgegebenen Adjektive nicht intuitiv zugänglich sind und die Klassifikation von der sprachlichen Fähigkeit derjenigen anhängig ist, die die Geruchsstoffe klassifizieren sollen. Eine weitaus differenziertere Auswahl an verbalen Deskriptoren liefert eine Liste von Dravnieks und Mitarbeiter, die 143 Deskriptoren umfasst (Dravnieks, Masurat & Lamm, 1984).

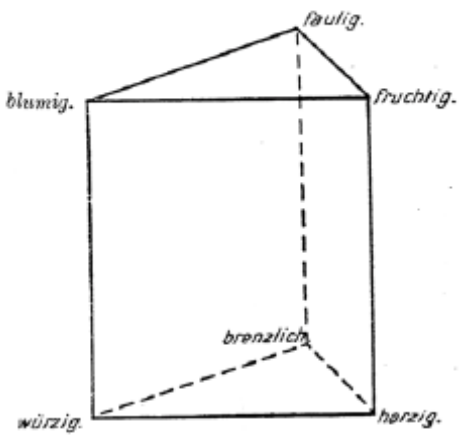


Abb. 11.

Abbildung 2-11: Geruchsprisma (Henning. 1924).

Auch wenn diese Liste zur Klassifikation besser geeignet scheint, da die Klassifikation eines Geruchsstoffs an Hand verschiedener Vergleichskategorien vorgenommen werden kann und nicht unabhängige Deskriptoren verwendet müssen, wäre der Vergleich der qualitativen Ähnlichkeit von zwei Geruchsstoffen nicht geeignet. So gibt es auch hier Bildungsunterschiede sowie sprachliche und kulturelle Unterschiede.

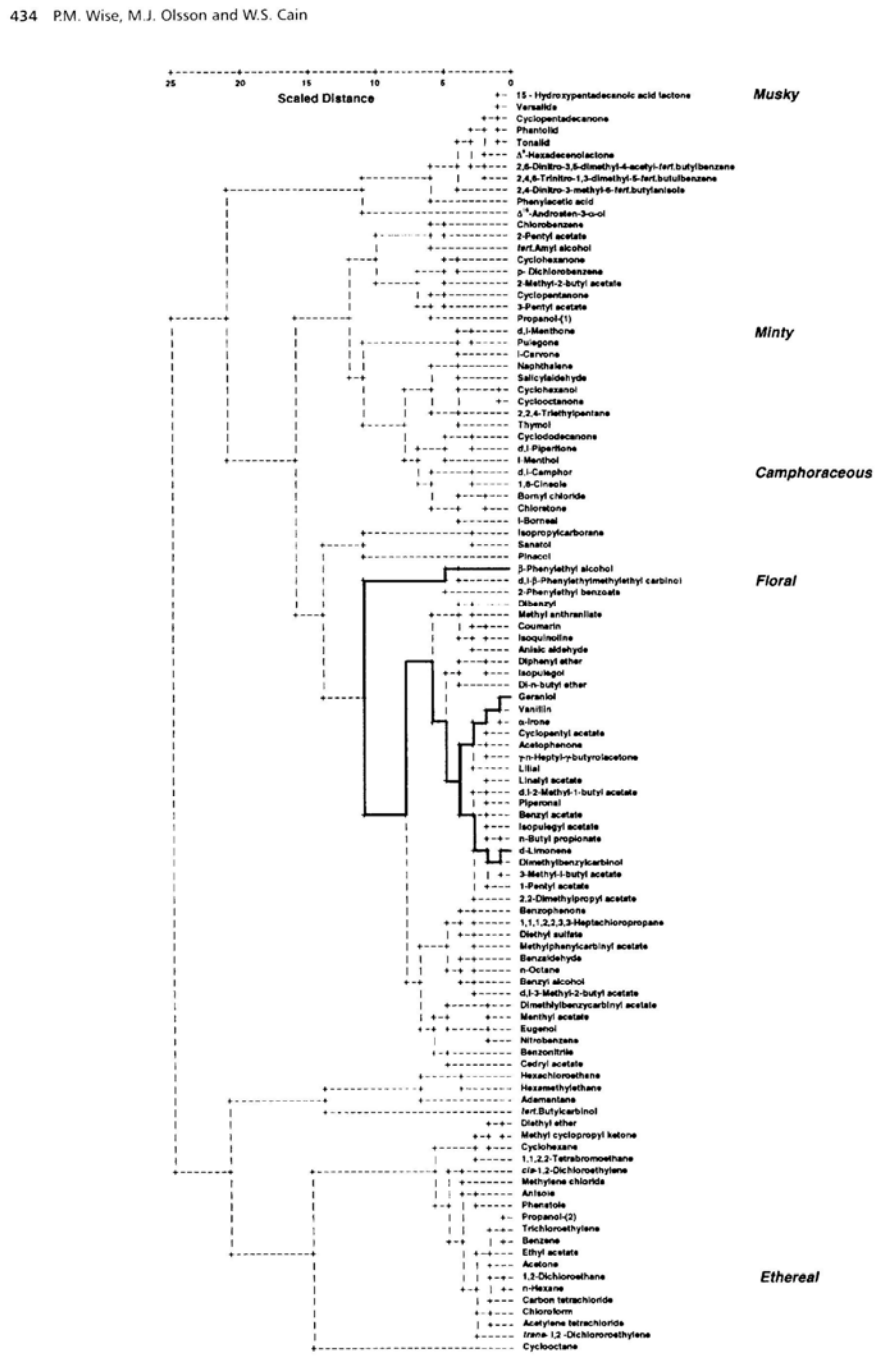
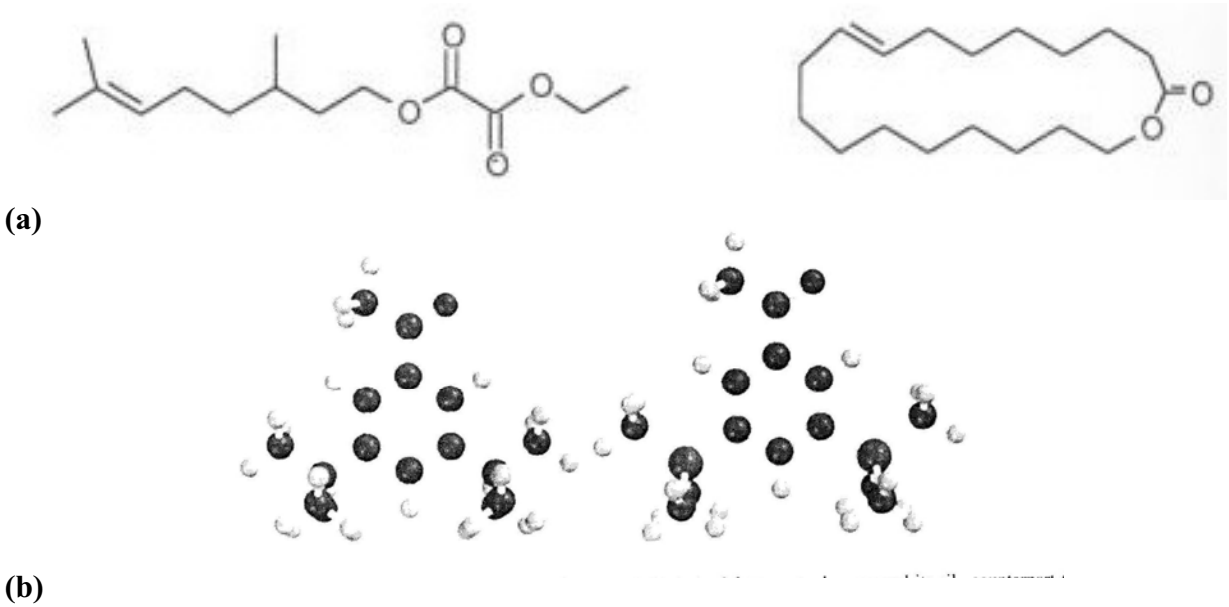


Abbildung 2-12: Klassifikation von Geruchsstoffen an Hand von Deskriptoren (In Wise et al., 2000).

2.5.2.2 Molekulare Struktur

Nachdem die Objektivierbarkeit der Ähnlichkeit zwischen Geruchsstoffen an Hand verbaler Deskriptoren für die Auswahl der Geruchsstoffe nicht in Frage kommt, wäre die chemische Struktur der Geruchsstoffe eine weitere nahe liegende Basis an Hand der eine objektive Klassifikation zu erwarten wäre. Geruchsstoffe, die einen ähnlichen molekularen Aufbau besitzen, sollten ähnliche Rezeptoren stimulieren und folglich einen ähnlichen subjektiv wahrnehmbaren Geruchseindruck erzeugen. Das Gegenteil ist jedoch der Fall. So riechen die in Abbildung 2-14a dargestellten unterschiedlich aufgebauten Moleküle beide nach Moschus, während für die in Abbildung 2-12b dargestellten Moleküle, bei denen ein Molekül das Sila-Gegenstück des Anderen ist, das Eine nach Moschus riecht und das Andere geruchlos ist (Turin & Yoshi, 2003). Somit ist das Wissen um die molekulare Struktur von verschiedenen Geruchsstoffen nicht ausreichend, um die Ähnlichkeit der Geruchsqualitäten zwischen diesen Geruchsstoffen bestimmen zu können.



(a)

(b)

Abbildung 2-13: Struktur-Geruchs-Beziehung. Die Moleküle unter a riechen identisch, während bei den Molekülen unter b eines nach Moschus riecht und das andere geruchsneutral ist. (Turin & Yoshii, 2003).

2.5.2.3 Verwendung von Mischgerüchen

Eine dritte Möglichkeit besteht in der Verwendung von Mischgerüchen. In einem Mischgeruch mit mehreren Komponenten könnte durch die Veränderung des Konzentrationsverhältnisses der Komponenten in der Mischung auch die Ähnlichkeit zwischen zwei verschiedenen Mischgerüchen objektiv verändert werden. In der Umwelt handelt es sich bei den meisten Gerüchen um Mischungen, wobei Gerüche von Objekten als ein einzelner Geruch wahrgenommen werden und nicht als Mischung aus verschiedensten Komponenten (Livermore & Laing, 1998). Darüber hinaus korreliert die Ähnlichkeit zwischen verschiedenen Geruchsstoffen ebenfalls mit den aktivierten Rezeptoren. Da die Ausstattung mit Rezeptoren hohe interindividuelle Unterschiede aufweist, variiert demnach auch die Schwierigkeit verschiedene Geruchsqualitäten zu unterscheiden mit der individuellen Ausprägung verschiedener Rezeptoren. Dieses Manko wird damit umgangen, dass durch Mischgerüche, bei denen auch der Abweichler die gleichen Geruchsstoffe beinhaltet interindividuelle Unterschiede ausgeglichen werden (Furudono, Sone, Takizawa, Hirono & Sato (2009).

Je mehr Komponenten ein Mischgeruch beinhaltet, desto weniger sind Menschen in der Lage, die Komponenten in der Mischung richtig zu detektieren. Laing und Francis (Laing & Francis, 1989) ließen Teilnehmer ihrer Studie zunächst in einer Lernphase Geruchsqualitäten von einzelnen Komponenten lernen. Anschließend wurden Mischgerüche aus bis zu fünf Komponenten präsentiert. Die Aufgabe der Teilnehmer bestand darin, die Komponenten in den Mischgerüchen zu identifizieren. Während bei zwei Komponenten in der Mischung noch 35,2% der Teilnehmer in der Lage alle Komponenten richtig zu detektieren, sank dieser Wert bei drei Komponenten auf 14,0%, bei 4 Komponenten auf 3,7% und bei fünf Komponenten auf 0%. Dass die Fähigkeit Komponenten in Mischgerüchen zu identifizieren und zu diskriminieren auf maximal vier Komponenten beschränkt ist, konnte auch in einer anderen Studie bestätigt werden (Laing & Glemarec, 1992). Auch die Auswahl von Geruchsstoffen durch Experten aus der Parfüm-Industrie, die sich in Mischungen entweder gut oder schlecht bezüglich ihrer Geruchsqualitäten zusammenfügen lassen und damit unterschiedlich schwer zu detektieren sind, besitzt keinen Einfluss auf die beschränkte Kapazität, wie viele Geruchsstoffe in eine Mischung detektiert werden können (Livermore & Laing, 1998). Folglich ist auch die Auswahl der Geruchsqualität der einzelnen Komponenten weniger bedeutsam. Je komplexer ein Mischgeruch somit ist, desto weniger können die Komponenten die er enthält identifiziert werden. Es muss lediglich beachtet werden, dass Geruchsstoffe mit einer negativen Valenz besser detektiert werden können (Rabin & Cain, 1984). Auch mit Training können nicht mehr als 3 oder 4 Komponenten in einer Mischung unterschieden werden (Livermore & Laing,

1996). Da sich gezeigt hat, dass binäre Mischgerüche, das heißt Mischgerüche aus zwei Komponenten, als zwei Komponenten mit einem zusätzlichen Qualitätsanteil, der aus der Mischung resultiert wahrgenommen werden (Laing & Willcox, 1983), sollten folglich mindestens drei Komponenten in den Mischgerüchen verwendet werden. Ein weiterer Vorteil der Verwendung von Mischgerüchen liegt darin, dass die interindividuelle Varianz bei der Wahrnehmung von Mischgerüchen geringer ist, als bei der Wahrnehmung der einzelnen Komponenten (Patterson, Stevens, Cain & Cometto-Muniz, 1993). Dieser Aspekt ist in Hinblick darauf relevant, dass der Diskriminationstest aus Gründen der Praktikabilität nicht mehr Testaufgaben als 15 umfassen sollte, dabei jedoch die Einordnung der Testperson an Hand ihres Testwerts zu einer Normpopulation erhalten bleiben soll. Unvorhersagbar bei der Verwendung von Mischgerüchen ist jedoch, ob und in wie weit Interaktionseffekte zwischen den Komponenten auftreten.

2.5.3 Auswahl der Geruchsstoffe für die Komponenten

Da die Geruchswahrnehmung sowohl über das olfaktorische als auch das trigeminale System erfolgen kann und Störungen der olfaktorischen Geruchswahrnehmung mit diesem Diskriminationstest ebenfalls aufgedeckt werden sollen, ist die Verwendung olfaktorischer Geruchsstoffe ein entscheidendes Element der Testentwicklung. Doty und Mitarbeiter (Doty, Brugger, Jurs, Orndorff, Snyder & Lowry, 1978) präsentierten Anosmikern (das heißt Personen, mit einer vollständigen Störung der olfaktorischen Geruchswahrnehmung) und gesunden Kontrollen 47 verschiedene Geruchsstoffe und erfassten, wie häufig Anosmiker die Geruchsstoffe detektieren konnten, beziehungsweise wie häufig die gesunden Kontrollteilnehmer trigeminale Empfindungen berichteten (Abbildung 2-14). Als Komponenten in den Mischgerüchen kämen somit in erster Linie die Geruchsstoffe in Frage, die von möglichst wenig Anosmikern wahrgenommen wurden beziehungsweise von möglichst wenig gesunden Kontrollteilnehmern als trigeminal bewertet wurden. Am besten sind folglich die sechs Geruchsstoffe Dekansäure, Vanillin, Phenyl-Ethanol, Eugenol, Kumarin und Geraniol geeignet. Diese sollen somit für die Testentwicklung verwendet werden.

2.5.4 Gestaltung der Aufgabe

Sowohl der Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks als auch der Odor Discrimination Test basieren auf dem so genannten Dreiecks-Test (Frijters, Kooistra & Vereijken, 1980). So besteht die Aufgabe darin in einem 3-Alternativen Forced-choice-Verfahren aus drei vorge-

gebenen Geruchsstoffen einen auszuwählen, der von den anderen beiden abweicht. Für die Auswahl des Aufgabenformats muss einerseits berücksichtigt werden, dass die Ratewahrscheinlichkeit umso höher wird, je weniger Antwortalternativen zur Auswahl stehen und die Aufgabe andererseits schwieriger wird, je mehr Antwortalternativen zur Verfügung stehen, da für die Diskrimination von Geruchsstoffen Gedächtnisprozesse erforderlich sind (Petrulis & Eichenbaum, 2003).

Compound	Anosmic Group		Trigeminal Focus Group		Normal Group*
	Proportion Detecting	Intensity	Proportion Detecting	Intensity	Intensity
1. Decanoic acid	0/15	0.00(0.00)	1/15	0.13(0.05)	4.07(2.14)
2. Vanillin	0/15	0.00(0.00)	0/15	0.00(0.00)	4.20(1.68)
3. Phenyl ethyl alcohol	1/15	0.13(0.50)	4/15	0.80(1.51)	4.40(1.96)
4. Eugenol	1/15	0.13(0.50)	2/15	0.67(1.85)	5.20(1.56)
5. Coumarin	2/15	0.13(0.34)	2/15	0.20(0.54)	4.60(1.36)
6. Nonane	3/15	0.27(0.57)	5/15	1.13(1.71)	4.53(2.25)
7. Octane	3/15	0.27(0.57)	4/15	1.07(2.02)	4.33(1.96)
8. Indole	3/15	0.53(1.20)	5/15	1.13(1.86)	4.60(1.99)
9. α-Terpineol	5/15	0.53(1.02)	7/15	1.20(1.47)	5.60(1.78)
10. Geraniol	2/15	0.60(1.54)	4/15	0.87(1.71)	5.13(1.31)
11. Heptanoic acid	5/15	0.87(1.45)	3/15	0.33(0.70)	4.80(2.01)
12. Limonene	6/15	0.93(1.44)	8/15	1.60(1.96)	5.40(1.86)
13. Hexanoic acid	7/15	0.93(1.39)	4/15	1.07(2.21)	5.33(1.78)
14. Heptane	5/15	1.00(1.86)	4/15	1.13(2.22)	4.67(2.15)
15. Benzyl acetate	7/15	1.40(2.12)	8/15	1.80(2.34)	4.87(2.03)
16. Methyl salicylate	9/15	1.60(1.86)	10/15	2.46(2.25)	6.27(1.88)
17. β-Ionone	9/15	1.93(2.21)	10/15	2.47(2.28)	4.47(2.31)
18. Anethole	8/15	2.73(2.86)	7/15	1.47(2.16)	5.93(1.06)
19. Heptyl alcohol	13/15	2.80(1.80)	9/15	1.93(1.88)	5.13(1.67)
20. Guiacol	13/15	2.80(1.87)	9/15	2.73(2.77)	5.93(1.34)
21. Citral	12/15	2.87(2.25)	7/15	1.73(2.35)	5.53(1.75)
22. Camphor	14/15	3.53(2.09)	12/15	3.87(2.90)	6.00(1.51)
23. 4-methyl valeric acid	9/15	3.93(3.68)	6/15	1.07(1.84)	6.20(2.43)
24. Linalool	13/15	4.00(2.37)	9/15	2.53(2.47)	6.00(1.82)
25. n-butyl ether	13/15	4.00(2.10)	12/15	3.73(2.70)	6.53(1.41)
26. Valeric acid	15/15	5.00(2.16)	14/15	3.80(2.66)	6.00(2.22)
27. 2,4-Pentanedione	15/15	5.57(1.29)	14/15	5.27(2.65)	7.13(1.20)
28. Furfural	15/15	6.07(1.24)	14/15	5.33(2.55)	6.00(1.93)
29. Menthol	15/15	6.14(0.92)	14/15	5.80(2.20)	6.60(1.41)
30. iso-Amyl acetate	15/15	6.67(1.19)	13/15	5.73(3.02)	6.67(1.81)
31. n-Butyl alcohol	15/15	6.67(1.30)	14/15	5.87(3.01)	6.13(1.54)
32. Acetaldoxime	15/15	6.71(0.80)	14/15	5.93(2.32)	7.00(1.41)
33. 2-Heptanone	15/15	6.73(1.00)	15/15	6.80(2.34)	7.53(1.02)
34. iso-Valeric acid	15/15	6.73(1.24)	14/15	6.27(2.32)	7.47(1.26)
35. Ethyl benzene	15/15	6.87(2.00)	14/15	6.60(3.34)	6.73(1.24)
36. n-Butyl acetate	15/15	7.33(1.08)	13/15	5.93(2.93)	6.93(1.48)
37. Ethyl acetate	15/15	7.53(1.02)	15/15	7.40(1.93)	7.60(0.95)
38. Methanol	15/15	7.67(1.14)	15/15	6.80(2.23)	6.93(1.29)
39. Benzaldehyde	15/15	7.73(0.93)	15/15	7.87(1.36)	7.33(1.08)
40. Cyclohexanone	15/15	7.80(1.38)	14/15	6.27(2.54)	7.40(1.25)
41. Toluene	15/15	7.87(1.09)	14/15	7.13(2.60)	6.80(1.51)
42. Butyric acid	15/15	7.87(0.96)	15/15	7.00(2.42)	7.93(1.34)
43. Acetal	15/15	8.13(1.15)	14/15	7.87(2.28)	7.93(1.12)
44. Ethyl methyl ketone	15/15	8.40(0.61)	14/15	7.33(2.09)	8.40(0.71)
45. Pyridine	15/15	8.47(0.72)	15/15	8.13(2.00)	8.13(1.31)
46. Acetone	15/15	8.53(0.88)	15/15	8.13(1.41)	7.93(1.73)
47. Propionic acid	15/15	8.73(0.57)	15/15	8.27(1.73)	8.47(0.88)

Abbildung 2-14: Detektierbarkeit verschiedener Geruchsstoffe durch Anosmiker (Doty et al., 1978).

Je größer jedoch die kognitiven Anforderungen sind, desto geringer ist die Konstruktvalidität. Aus diesem Grund sollte ebenfalls das Format des Dreiecks-Tests für diesen Diskriminationstest angewendet werden. Welche Rolle dennoch Gedächtnisprozess bei der Geruchsdiskrimination spielen soll der folgende Abschnitt beschreiben. Darüber hinaus wurde die Entscheidung getroffen, dass die Teilnehmer an jedem Geruchsstoff in den Testaufgaben nur einmal riechen dürfen. So konnte gezeigt werden, dass ein natürlicher Atemzug (Single-Sniff) ausreichend ist, um einen Geruchsstoff optimal wahrnehmen zu können. Selbst mehrfaches Riechen oder besonders starkes Inhalieren verbessern die Geruchsleistung nicht (Laing, 1986; Laing, 1983). Durch die Verwendung einer Single-Sniff-Prozedur kann somit auch die Riechprozedur unkompliziert standardisiert werden. Bei allen im Rahmen dieser Testentwicklung durchgeführten Studien, bei denen Geruchsstoffe aktiv inhaliert werden mussten, wurde diese Technik vorgegeben.

2.5.5 Gedächtnisprozesse bei der Geruchsdiskrimination

Nach Wilson und Stevenson (2003) sind unter anderem die im Absatz 2.4.6.3 aufgeführten Studien, die zeigen konnten, dass nicht mehr als vier Komponenten in einer Mischung unabhängig von deren Komplexität detektiert werden können, der Beweis dafür, dass die Wahrnehmung eines Mischgeruchs als Ganzes erfolgt und nicht als Mischung aus verschiedenen Komponenten. Nach einer Modellannahme von Stevenson und Boakes (Stevenson & Boakes, 2003) wird ein wahrgenommener Geruchsstoff mit bestehenden Gedächtnisinhalten des Geruchsgedächtnisses abgeglichen. Wenn der Geruchsstoff bekannt ist, wird eine bestehende Gedächtnisrepräsentation aktiviert. Wenn der Geruchsstoff unbekannt ist, wird eine neue Gedächtnisrepräsentation geschaffen, an Stelle andere oder ähnliche Repräsentationen zu aktivieren. Unterstützt wird diese Annahme dadurch, dass unbekannte Geruchsstoffe eher mit allgemeinen Deskriptoren beschrieben werden, wie beispielsweise „es riecht künstlich“, als mit vergleichenden Deskriptoren, wie beispielsweise „es riecht minzig“ (Jinks & Laing, 2001). Wenn unbekannte Geruchsstoffe in den Testaufgaben des Diskriminationstest verwendet würden, wie es bei der Verwendung von Mischgerüchen der Fall wäre, können somit keine bestehenden Gedächtnisrepräsentationen genutzt werden, um die Aufgabe zu lösen und ein Erfahrungsvorteil bestünde nicht (Melcher & Schooler, 1996). Die Lösung der Testaufgaben würde folglich nicht auf Langzeitgedächtnis-Prozessen basieren, sondern auf der Fähigkeit eines Teilnehmers, auf Ebene des olfaktorischen Arbeitsgedächtnisses kurzzeitige Repräsenta-

tionen des Mischgeruchs aufrecht zu halten, wie es für das Arbeitsgedächtnis spezifisch ist (Baddeley, 1986).

Jehl und Mitarbeiter untersuchten den Einfluss der Ähnlichkeit von Paaren von Geruchsstoffen auf die Fähigkeit, die Ähnlichkeit beziehungsweise Unähnlichkeit der Geruchsstoffe richtig anzugeben (Jehl, Royet & Holley, 1994). Identische Geruchsstoffe konnten als identisch beurteilt werden. Sehr unterschiedliche Geruchsstoffe wurden nahezu perfekt richtig als unterschiedlich erkannt. In beiden Fällen hatte das Intervall, das zwischen der Präsentation der beiden Geruchsstoffe lag und das zwischen 2ms und 300ms lang war, keinen Einfluss auf das Antwortverhalten. Schwierigkeiten hatten die Teilnehmer jedoch dann, wenn sehr ähnliche Geruchsstoffe präsentiert wurden. In diesem Fall erhöhte sich die Anzahl falscher Alarme mit der Länge des Intervalls. Schwierigkeiten für die Teilnehmer in olfaktorischen Kurzzeitgedächtnisaufgaben scheinen vor allem daraus zu resultieren, dass es fast unmöglich ist, die Repräsentation von Geruchsstoffen durch rehearsal aufrecht zu halten (Engen, Kuisma & Dimas, 1973), Auch im Bereich des olfaktorischen Kurzzeitgedächtnisses werden jedoch Verarbeitungsvorteile berichtet, wenn die Geruchsqualitäten verbalisiert werden können, beziehungsweise semantische Assoziationen gebildet werden können (Jehl, Royet & Holley, 1997). Das Intervall zwischen der Präsentation der Geruchsstoffe in einer Testaufgabe sollte folglich möglichst kurz gehalten werden. Zwischen zwei Testaufgaben sollten mindestens 30 Sekunden liegen, damit der olfaktorische Rezeptor vollständig erholt ist (Potter & Chorover, 1976). Das Intervall zwischen zwei Durchgängen in den Sniffin'Sticks liegt ebenfalls bei 20-30 Sekunden (Hummel et al., 1997). In den Sniffin'Sticks beträgt das Intervall zwischen der Präsentation der Geruchsstoffe in einer Testaufgabe circa 3 Sekunden. Für alle hier durchgeführten Studien wurde das Intervall zwischen der Präsentation von zwei Geruchsstoffen auf mindestens 8 Sekunden gesetzt.

2.5.6 Studien der Testentwicklung

Die Testentwicklung umfasste sechs Studien:

1. Intensitätsmatching: Die erste Studie diente dazu, die Geruchsstoffe zunächst auf eine vergleichbare Intensität zu bringen, bevor sie zu Mischgerüchen zusammengefügt werden können.
2. Intensitätenordnen: Die zweite Studie wurde als Methodenkontrolle eingeführt, um die interne Validität der ersten Studie Intensitätsmatching überprüfen zu können.

3. Lateralisierung: In der dritten Studie sollte untersucht werden, ob die verwendeten Geruchsstoffe als primär olfaktorisch oder primär trigeminal eingestuft werden können.
4. Unterschiedsschwelle: Die vierte Studie wurde durchgeführt, um eine Schätzung dafür zu erhalten, wie stark die Konzentrationen der Geruchsstoffe in den Mischgerüchen verändert werden könnten, ohne dass diese Veränderung detektiert werden kann, so dass der abweichende Mischgeruch in den späteren Testaufgaben nicht an Hand der Konzentrationsveränderung einer Komponente detektiert wird.
5. Testkonstruktion: Die fünfte Studie umfasste die Generierung der Testaufgaben, die Schaffung eines Aufgabenpools und die Auswahl von 15 Testaufgaben, mit denen sich ein Diskriminationstest konstruieren lässt, der die gültigen Testgütekriterien möglichst optimal erfüllt.
6. Testvalidierung, Re-Test-Reliabilität und Paralleltestentwicklung: In der abschließenden Studie wurde der neu konstruierte Diskriminationstest im Vergleich zu dem Schwellentest nach Doty für den Geruchsstoff Phenyl-Ethanol, dem UPSIT und dem Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks durchgeführt, um die diskriminante und konvergente Validität bestimmen zu können. Darüber hinaus wurde in dieser Studie auch die Re-Test-Reliabilität des Diskriminationstests bestimmt. Es wurde ebenfalls untersucht, ob eine Paralleltestversion des Diskriminationstests generiert werden kann.

3. Studie 1: Intensitätsmatching

3.1 Theoretischer Hintergrund

Wie im vorangehenden Absatz bereits erläutert wurde, sollte die erste Studie dazu dienen, die Konzentrationen der sechs Geruchsstoffe so aufeinander abzustimmen, dass die erzeugten Geruchsintensitäten vergleichbar sind. Zunächst werden die biologischen Grundlagen der olfaktorischen Intensitätswahrnehmung vorgestellt. Hierfür wird der bottom-up Verlauf der Intensitätswahrnehmung von der Ebene der Rezeptorzellen bis hin zu höher kortikalen Arealen beschrieben. Auf jeder Ebene werden neben den funktionalen Eigenschaften auch Limitationen beschrieben, die bestehen, wenn versucht werden soll, die Intensitätswahrnehmung als ein distinktes Konzept zu erfassen. Anschließend wird auf die Bedeutung der funktionalen Eigenschaften für die Wahrnehmung von Mischgerüchen eingegangen. Dieser Aspekt ist zentral, da in den Testaufgaben Mischgerüche verwendet werden sollen.

3.1.1 Psychophysikalische Skalierung der Geruchsintensität

De Zusammenhang zwischen den wahrgenommenen Intensität eines Geruchsstoffs und seiner Intensität ist nicht linear, sondern kann man der Stevensschen Potenzfunktion und einem Exponenten <1 ausgedrückt werden (Abbildung 3-1; Doty & Laing, 2003).

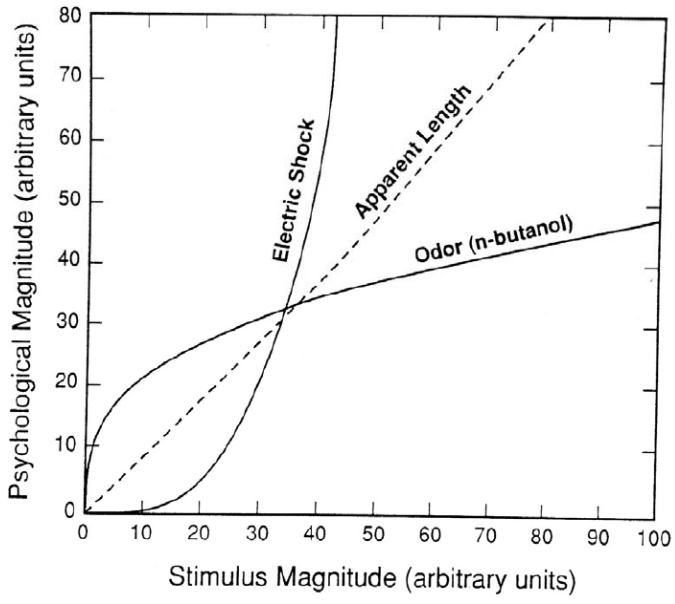


Abbildung 3-1: Zusammenhang zwischen den Stimulsstärke und der wahrgenommenen Intensität (Doty & Laing, 2003).

Je höher ein Geruchsstoff konzentriert ist, desto größer müssen Konzentrationsunterschiede gewählt werden um die gleiche Intensitätsveränderung zu erzeugen wie es bei schwächeren Konzentrationen der Fall wäre. Berglund und Mitarbeiter bestimmten für 28 verschiedene Geruchsstoffe die Exponenten für die Stevenssche Potenzfunktion (Berglund, Berglund, Engen & Ekman, 1971). Die Übersicht über die Ergebnisse zeigt Abbildung 3-2.

Odorant	Mean	SD	Range
Acetone	0.54	0.32	0.12–1.02
n-Amyl acetate	0.13	0.08	0.04–0.26
Anethole	0.16	0.08	0.04–0.32
Benzaldehyde	0.19	0.10	0.07–0.38
n-Butanol	0.21	0.11	0.05–0.36
n-Butyric acid	0.22	0.15	0.04–0.41
Dimethyl monosulfide	0.08[a]	0.06	0.03–0.16
Ethanol	0.30	0.30	0.09–1.00
Ethyl acetate	0.21	0.12	0.07–0.43
Ethyl methyl ketone	0.33	0.18	0.08–0.65
Eugenol	0.27	0.18	0.08–0.69
Furfurole	0.28	0.20	0.04–0.70
Geranial	0.17	0.12	0.04–0.39
Guaiacol	0.23	0.12	0.04–0.40
n-Heptanal	0.10[a]	0.07	0.05–0.18
n-Heptane	0.30	0.26	0.08–0.77
Heptanol	0.71	0.10	0.04–0.31
Menthol	0.26	0.19	0.04–0.64
Methyl Salicylate	0.20	0.10	0.04–0.31
Nonane	0.30	0.21	0.04–0.73
n-Octane	0.24	0.20	0.06–0.61
n-Octanol	0.14	0.13	0.02–0.38
n-Pentanol	0.20	0.14	0.05–0.50
Phenyl acetic acid	0.10*	0.06	0.05–0.20
Phenyl ethyl alcohol	0.19	0.12	0.03–0.36
Pyridine	0.24	0.17	0.06–0.70
iso-Valeric acid	0.21	0.09	0.04–0.33

Abbildung 3-2: Exponenten der Stevensschen Potenzfunktion für 28 verschiedene Geruchsstoffe (Berglund et al., 1971).

3.1.2 Biologische Grundlagen der Intensitätswahrnehmung

Zunächst wird im Folgenden auf die biologischen Grundlagen der Intensitätswahrnehmung von einzelnen Geruchsstoffen eingegangen. Die Ausgangsbasis für die Wahrnehmung von olfaktorischen Reizen beginnt auf Rezeptorebene. Im olfaktorischen Epithel binden die Geruchsmoleküle an den olfaktorischen Rezeptoren (OR) der olfaktorischen Rezeptor-Neurone (ORN). Die OR besitzen eine spezifische Affinität für bestimmte Moleküle. Die Eigenschaften von Gerüchen werden durch das Reaktionsmuster von verschiedenen ORN kodiert. Verschiedene Gerüche erzeugen somit auch unterschiedliche Reaktionsmuster im BO (Duchamp-

Viret, Chaput & Duchamp, 1999). Die Informationen aus dem BO gelangen weiter in den olfaktorischen Kortex und werden dort zusammengeführt (Buck, 2004). Auch die Intensitätswahrnehmung kann folglich auf Ebene der ORN, des BO, der primären und sekundären olfaktorischen Kortexareale sowie auf Ebene höherer Kortexareale erfasst werden und unterliegt damit verschiedenen funktionalen Mechanismen. Im weiteren Verlauf wird zunächst auf die funktionalen Besonderheiten der verschiedenen Ebenen eingegangen.

3.1.2.1 Kodierung der Geruchsintensität auf Ebene der ORN

Ausgangsbasis für die Wahrnehmung von Geruchsintensitäten ist der Transduktionsprozess chemischer Signale in elektrische Signale in den ORN (Rospars, Lansky, Tuckwell & Vermeulen, 1996). Bereits 1989 konnten Firestein und Werblin bei Einzelzellableitung an ORN des Tiger-Salamanders nachweisen, dass die Konzentration eines Geruchsstoffs einen Einfluss auf die Depolarisation der ORN hat (Firestein & Werblin, 1989). Die Verteilung für den Zusammenhang zwischen der Stärke der Depolarisation und der Stimuluskonzentration ist dabei nicht linear (Abbildung 3-3). Die ORN reagieren für einen schmalen Konzentrationsbereich hoch sensitiv. Außerhalb dieses Konzentrationsbereichs führen Konzentrationsveränderungen nur zu marginalen Veränderung in der Stärke der Depolarisation. Bei zu schwachen Konzentrationen liegt ein Bodeneffekt vor. Das bedeutet, dass zunächst ein Schwellenwert überschritten werden muss, bis ein ORN depolarisiert. Bei zu starken Konzentrationen liegt ein Deckeneffekt vor. So nimmt die Depolarisation der ORN in diesen Fällen nicht weiter zu und es liegt eine Sättigung vor.

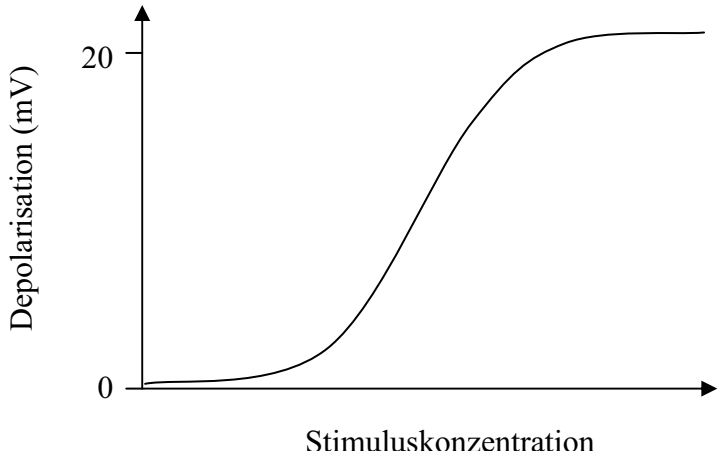


Abbildung 3-3: Depolarisationsverlauf in Abhängigkeit der Stimuluskonzentration bei ORN. Schematische Darstellung der nichtlinearen Verteilung der Depolarisation als Reaktion auf Konzentrationsveränderungen bei ORN. Mit zunehmender Stimuluskonzentration steigt die Depolarisation bis zu einem Maximum an.

Das gleiche Reaktionsmuster, wie auf Intensitätsveränderungen, zeigen ORN auch auf Veränderungen der Stimulationsdauer. Höhere Konzentrationen der Geruchsstoffe verhalten sich dabei äquivalent zu längeren Stimulationen der ORN. Es zeigt sich damit bereits auf der Ebene der ORN, dass die Intensität mit der Stimulationsdauer konfundiert ist.

Tomaru und Kurahashi (Tomaru & Kurahashi, 2005) konnten bei ORN von Ochsenfröschen nachweisen, dass sich die Frequenz der Aktionspotentiale von ORN erhöht, wenn die Konzentration eines Geruchsstoffs erhöht wird. Die Frequenz steht dabei im Zusammenhang mit dem von Firestein und Werblin (1989) beschriebenen Transduktionsmechanismus der ORN. Für den Konzentrationsbereich, für den ein ORN sensitiv ist, zeigt es auch einen Anstieg der Frequenz, wenn die Konzentration erhöht wird. Folglich ist der Frequenzanstieg für höhere Konzentrationen nicht nur durch die Refraktärzeit sondern auch durch den Bereich limitiert, für den ein ORN sensitiv ist; das heißt, dass das ORN auf einen Konzentrationsanstieg keinen weiteren Anstieg in der Frequenz der Aktionspotentiale mehr zeigen kann. Tomaru und Kurahashi kamen zu dem Ergebnis, dass es unterschiedlich sensitive ORN gibt, die auf unterschiedliche Konzentrationsbereiche reagieren. Dieser Befund legt nahe, dass die Kodierung der gesamten Bandbreite der Intensitätswahrnehmung eines Geruchsstoffs nicht nur über die Frequenz der Aktionspotentiale eines ORN kodiert wird sondern eine Integration verschiedener ORN notwendig macht.

3.1.2.2 Kodierung der Geruchsintensität auf Ebene des BO

Wie im vorangehenden Absatz bereits beschrieben wurde, wird die Geruchsintensität eines Geruchsstoffs über verschiedene ORN mit einer unterschiedlichen Sensitivität kodiert. Verschiedene ORN konvergieren in den Glomeruli des BO. Damit kann eine Konzentrationsveränderung entweder durch die Veränderung der Aktivität eines Glomerulus kodiert werden oder durch die räumliche Integration verschiedener Glomeruli. Um die funktionellen Eigenschaften der Intensitätsverarbeitung zu erfassen, ist es jedoch sinnvoll den gesamten BO zu betrachten. So ist das Antwortmuster der Glomeruli auch durch verschiedene andere Faktoren bedingt wird wie die Position des rezeptiven Feldes in Relation zu dem stimulierten Feld, die Anzahl stimulierter ORN sowie deren Latenzen und Feuerungsraten (Harrison & Scott, 1986). Für diese Vorgehensweise sprechen auch die Ergebnisse von Meredith (Meredith, 1986) zu Einzelzellableitungen von Neuronen im BO bei Hamstern. Neben dem Ergebnis, dass die meisten Glomeruli im BO mit einem Anstieg der Feuerfrequenz reagieren wenn die Stimuluskonzentration erhöht wurde, gibt es auch Glomeruli, die inhibitorisch reagieren. Dieser Be-

fund spricht nicht nur für das Phänomen der lateralen Inhibition im BO bei der Verarbeitung unterschiedlicher Stimuluskonzentrationen, sondern auch für die Notwendigkeit, den BO als funktionelle Einheit zu betrachten.

Aktuelle Befunde legen sowohl eine Aktivitätsveränderung der Glomeruli, als auch eine räumliche Integration verschiedener Glomeruli nahe, wenn die Konzentration eines Geruchsstoffs ansteigt. Johnson und Leon (Johson & Leon, 2000) untersuchten das räumliche Aktivierungsmuster im BO bei Ratten. Bei drei von fünf verwendeten Geruchsstoffen (Pentanolsäure, Methyl-Pentanoat und Penatnol) blieb das räumliche Aktivierungsmuster der Glomeruli stabil und es zeigte sich eine Zunahme der Aktivierung in den Glomeruli bei einer Zunahme der Stimuluskonzentration. Darüber hinaus wurden mit zunehmender Stimuluskonzentration zusätzliche Glomeruli aktiviert. Bei den beiden anderen Geruchsstoffen (Pentanal und 2-Hexanon) zeigte sich mit einer Zunahme der Konzentration auch eine deutliche Veränderung des räumlichen Aktivierungsmusters. Sowohl im BO bei Ratten (Uchida, Takahashi, Tanifuji und Mori, 2000) als auch bei Mäusen (Wachowiak und Cohen, 2001) bleiben die Aktivierungsmuster verschiedener Geruchsstoffe in verschiedenen Konzentrationen hinreichend distinkt, auch wenn zusätzliche Glomeruli mit zunehmender Stimuluskonzentration aktiviert werden und sich die Aktivierungsmuster verschiedener Geruchsstoffe überschneiden. Dennoch sprechen die Veränderung des räumlichen Aktivierungsmusters dafür, dass eine Konzentrationsveränderung auch zu einer Qualitätsveränderung führen kann, da auch Geruchsqualitäten über das Aktivierungsmuster verschiedener ORN kodiert sind (Malnic, Hirono, Sato und Buck, 1999). Folglich sind bereits auf Ebene des BO die Dimensionen Intensität und Qualität konfundiert. Bestätigt wird diese Folgerung auch durch Gross-Isseroff und Lancet (Gross-Isseroff & Lancet, 1988) in psychophysikalische Studien, die zeigen konnten, dass die identischen Geruchsstoffe in unterschiedlichen Konzentrationen als verschiedene Geruchsqualitäten wahrgenommen werden können. Stevens und O´Conell (Stevens & O'Conell 1991) kamen zu dem Ergebnis, dass identische Geruchsstoffe in unterschiedlichen Konzentrationen auch mit unterschiedlichen Deskriptoren, wie beispielsweise *faulig* oder *blumig* beschrieben werden.

Neben dieser räumlichen Kodierung der Stimuluskonzentration im BO zeigt sich auch eine zeitliche Kodierung. Spors und Grinvald (Spors & Grinvald, 2002) wiesen im BO von Ratten nach, dass die mit zunehmender Konzentration zusätzlich aktivierten Glomeruli längere Latenzen ihrer Aktivität besitzen. Sie schlussfolgerten, dass die distinkten räumlichen Aktivierungsmuster verschiedener Geruchsstoffe, beim Einsetzen der Stimulation, die Wahrnehmung der Geruchsqualität unabhängig von der Konzentration erleichtern, während die

Wahrnehmung der Geruchsintensität durch die zusätzlich aktivierten Glomeruli, sowie deren längere Latenzen erleichtert wird. Die Intensitätswahrnehmung im BO wird folglich räumlich und zeitlich kodiert. Die Kodierung verschiedener Geruchsstoffe scheint dabei auch umso distinkter auszufallen, je höher die Geruchsstoffe konzentriert sind (Cleland & Narla, 2003).

3.1.2.3 Kodierung der Geruchsintensität auf Ebene der primären und sekundären olfaktorischen Kortexareale

Wie bereits in den Absätzen 2.2.3 und 2.2.4 beschrieben wurde, zählen zu dem primären und sekundären olfaktorischen Kortex eine Vielzahl verschiedener kortikaler Strukturen, die auf verschiedene Weise interagieren können, mit anderen kortikalen Arealen im Austausch stehen und auch mit dem BO rückgekoppelt sein können. Zwei der kortikalen Strukturen, die mit der Geruchverarbeitung assoziiert sind, sind die Amygdala und der orbitofrontale Kortex (Pause, 2004). Bereits 1971 stellte Henion fest, dass es einen Zusammenhang zwischen der Intensitätswahrnehmung und der Valenz eines Geruchsstoffs gibt und fand einen linearen Zusammenhang zwischen Intensitäts- und Valenzratings (Henion, 1971). Je stärker die Intensität des Geruchsstoffs bewertet wurde, umso unangenehmer wurde er auch bewertet. Die von Henion bestimmte Regressiongerade auf Basis der Methode der kleinsten Quadrate wies eine Korrelation für Phenyl-Ethanol von $r^2 = 0{,}97$ auf. Anderson und Mitarbeiter (Anderson et al., 2003) kamen in einer fMRT-Studie zu dem Schluss, dass es im primären olfaktorischen Kortex zu einer distinkten Verarbeitung der wahrgenommen Intensität in der Amygdala und der Valenz im orbitofrontalen Kortex kommt. Als unangenehmen Geruchsstoff verwendeten sie Isovaleriansäure und als angenehmen Geruchsstoff Citral, die beide als olfaktorische Geruchsstoffe eingestuft wurden, ohne dies jedoch weitergehend zu prüfen. Dieser Befund würde dafür sprechen, dass die Dimensionen Intensität und Valenz im primären olfaktorischen Kortex distinkt verarbeitet werden. Die von Henion gefundene Interaktion wäre folglich darauf zurückzuführen, dass seine psychophysikalischen Messungen höher kortikale Prozesse erfassen, bei denen die Dimensionen Intensität und Valenz bereits integriert wurden.

Im Gegensatz dazu kamen Winston und Mitarbeiter (Winston, Gottfried, Killner & Dolan, 2005) jedoch zu differenzierteren Ergebnissen. Sie sprechen sich gegen eine Reduktion der Amygdala auf eine Hirnstruktur, die nur Erregung kodiert aus (was nach Anderson & Sobel 2003 über die Intensität vermittelt wird). Sie postulieren eine Interaktion zwischen Intensität und Valenz. In ihrer fMRT-Studie verwendeten sie die gleichen Geruchsstoffe wie Anderson und Mitarbeiter (Anderson et al., 2003). Es zeigten sich robuste Veränderungen in

der Aktivität der Amygdala, wenn die Valenz konstant gehalten wurde und bei angenehmen oder unangenehmen Gerüchen die Intensität verändert wurde. Dieser Effekt trat jedoch nicht bei Anisol und 2-heptanol auf, die als neutrale Referenzgeruchsstoffe eingesetzt wurden. Wurde auf der anderen Seite die Intensität konstant gehalten, zeigte sich Aktivierung in der Amygdala bei angenehmen und unangenehmen Geruchsstoffen, jedoch nicht bei neutralen Geruchsstoffen. Das gleiche Antwortmuster der Amygdala zeigte sich auch bei Dolan (Dolan, 2007). Es kann somit davon ausgegangen werden, dass auf Ebene der olfaktorischen Kortexarealen die Valenz und Intensität eines Geruchsstoffs interagieren. Mak und Mitarbeiter (Mak, Simmons, Gitelman & Small, 2005) wiesen bei Patienten mit einer Läsion im Bereich der linken Insel zusätzlich nach, dass im Vergleich zu gesunden Kontrollteilnehmern unangenehme Geruchsstoffe deutlich intensiver bewertet werden, wenn sie auf der rechten Seite, die kontralateral zu der Läsion liegt, präsentiert werden, während kein Effekt bei angenehmen Gerüchen zu finden war. Dieser Befund legt nah, dass die Intensitätswahrnehmung bereits auf Ebene des primären und sekundären Kortex nicht nur mit der Valenz konfundiert ist, sondern auch abhängig von der Valenz andere olfaktorische Kortexareale involviert sind.

3.1.2.4 Weitere Einflüsse auf die Intensitätswahrnehmung

Da die primären und sekundären olfaktorischen Kortexareale mit anderen kortikalen Strukturen reziprok verschaltet sind, liefern verschiedene Studien Evidenz dafür, dass auch top-down Mechanismen die olfaktorische Intensitätswahrnehmung beeinflussen können. Dalton (Dalton, 1996) konnte zeigen, dass die Semantik eines Geruchsstoffs, in diesem Fall die Information über das gesundheitliche Risiko eines Geruchsstoffs, einen Einfluss auf die Intensitätswahrnehmung hat. Wurde den Studienteilnehmern mitgeteilt, dass der Geruchsstoff Isobornyl Acetat gesundheitsschädlich ist, zeigten diese eine Sensitivierung für den Geruchsstoff nach wiederholter Präsentation. Studienteilnehmer, die die Information erhielten, dass es sich bei dem Geruchsstoff um ein gesundes natürliches Produkt handelt, zeigten Adaptation, während das Reaktionsmuster bei den Studienteilnehmern gemischt war, die die Information erhielten, dass es sich bei dem Geruchsstoff um einen gängigen Geruchsstoff aus Geruchstests handelt. Kobayashi und Mitarbeiter (Kobayashi, Sakai, Kobayakawa, Akiyama, Toda & Saito, 2008) führten die Studie von Dalton (Dalton, 1996) mit einem anderen Geruchsstoff bei einer anderen Stichprobe durch und reduzierten das Versuchsdesign auf zwei Gruppen mit der Instruktion, dass der Geruchsstoff gesundheitsschädlich versus gesund ist. Sie erhielten auch eine Interaktion zwischen der Instruktion und der mehrmaligen Präsentation des Geruchsstoffs, wie

sie die Ergebnisse von Dalton (Dalton, 1996) vorhersagen würden. Ein Haupteffekt der Information, ob der Geruchsstoff gesundheitsschädlich oder gesund ist zeigte sich jedoch nur, wenn der Geruchsstoff mit einem Olfaktometer kontrolliert in die Nase geleitet wurde und die Teilnehmer instruiert wurden, ausschließlich durch den Mund zu atmen. Durften die Studienteilnehmer den Geruch trotz Präsentation mit einem Olfaktometer aktiv inhalieren, zeigte sich kein Haupteffekt. Dieses Ergebnis wurde dahingehend interpretiert, dass die Studienteilnehmer weniger Geruchsstoff inhalieren, wenn sie diesen als gesundheitsschädlich einstufen. Keine Unterschiede bei den Intensitätsratings bei einem ähnlichen Versuchsaufbau wie bei Dalton (Dalton, 1996) zeigten sich auch bei Laudien und Mitarbeitern (Laudien, Wencker, Ferstl und Pause, 2008) für den Geruchsstoff Isobornyl Acetat, obwohl die Instruktionen deutliche Effekte auf das Wohlbefinden der Teilnehmer hatten. Auch hier konnten die Studienteilnehmer den Geruchsstoff aktiv inhalieren. In der Ableitung chemosensorisch evozierter Potentiale zeigte sich jedoch ein Einfluss der Instruktion auf die Amplitudenlatenzen der N1 und P2-Komponenten. Diese waren verlängert, wenn der Geruchsstoff als gesundheitsschädlich instruiert wurde, und verkürzt, wenn er als gesund instruiert wurde. Somit gibt es unabhängig von den subjektiven Ratings einen Einfluss der Instruktion auf die frühe Geruchsverarbeitung. Diese Ergebnisse legen nahe, dass die Intensitätsverarbeitung von top-down Prozessen beeinflusst wird, ohne dass sich diese jedoch in den subjektiven Einschätzungen der Teilnehmer widerspiegeln müssen. Die Auswahl der Messmethode, sowie der Versuchsaufbau bestimmen damit maßgeblich, wie die Intensität eines Geruchsstoffs eingeschätzt werden kann.

Des Weiteren gibt es Interaktionen zwischen der olfaktorischen und der trigeminalen Geruchsverarbeitung mit Einfluss auf die Intensitätswahrnehmung. Dieser Aspekt wird jedoch im theoretischen Hintergrund der dritten Studie (Abschnitt 5) ausführlich behandelt.

3.1.3 Biologische Grundlagen der Intensitätswahrnehmung von Mischgerüchen

Im vorangehenden Absatz wurden die biologischen Grundlagen der Intensitätswahrnehmung für einzelne Geruchsstoffe beschrieben. In diesem Absatz soll im Speziellen darauf eingegangen werden, welchen Einflüssen die Intensitätsverarbeitung von einzelnen Geruchsstoffen unterliegt, wenn diese als Komponenten in Mischgerüchen zusammengeführt werden. Dieser Aspekt ist insbesondere für die Frage der Relevanz der Ergebnisse dieser Studie für die weitere Testkonstruktion bedeutsam. Der Aufbau dieses Absatzes orientiert sich an dem Aufbau des vorangehenden Absatzes.

3.1.3.1 Die Verarbeitung der Intensität von Komponenten in Mischgerüchen auf Ebene der ORN

Im Absatz 3.1.1.1 wurde bereits beschrieben, wie die ORN auf Stimulation mit unterschiedlichen Stimuluskonzentrationen eines Geruchsstoffs reagieren. Werden jedoch Mischgerüche mit zwei oder mehr Komponenten präsentiert, können Interaktionen der Komponenten auftreten, die sich auf die Intensitätswahrnehmung der einzelnen Komponenten auswirken. Es können vier Arten der Interaktion unterschieden werden (Duchamp-Viret, Duchamp & Chaput 2003): Ist das Antwortmuster eines ORN auf einen binären Mischgeruch höher als das auf die Komponente, die am effektivsten eine Reaktion hervorruft, wird dies von ihnen als *Synergie* bezeichnet. Ist die Antwort des ORN gleich der Aktivität auf die effektivste Komponente, bezeichnen sie dies als *Hypoadditivität*. Wenn die Antwort für die binäre Mischung kleiner ist, als die auf die effektivste Komponente wird dies als *Suppression* bezeichnet, wenn sie auch kleiner als die ineffektivste Komponente ist, als *Inhibition*. Duchamp-Viret und Mitarbeiter (Duchamp-Viret et al., 2003) testeten bei Ratten 52 verschiedene ORN mit 14 verschiedenen Geruchsstoffen und ausgewählten binären Mischungen aus diesen Geruchsstoffen. Zudem wurden alle Gerüche in fünf verschiedenen Konzentrationen untersucht. 40% der ORN zeigten hypoadditive Reaktion auf die binären Mischungen und 8% Suppressionen. Die übrigen 52% der ORN zeigten variable Interaktionseffekte in Abhängigkeit der Konzentrationen. Diese lassen sich in Bezug auf ihren Anteil am Gesamtanteil aller ORN wie folgt aufteilen: 17,5% der ORN zeigten eine Veränderung von Synergie zu Hypoadditivität, 6% den umgekehrten Verlauf, ebenfalls 17,5% eine Veränderung von Hypoadditivität zu Suppression und 11% den umgekehrten Verlauf, wenn die Konzentrationen erhöht wurden. Dieses Ergebnis verdeutlicht, dass für binäre Mischgerüche an Hand der Antwort der ORN auf zwei verschiedene Komponenten keine Aussage über die Antwort auf den Mischgeruch getroffen werden können.

Als Erklärung für die Nichtadditivität werden zwei verschiedene Prozesse angenommen. Zum einen kann Antagonismus zwischen Geruchsstoffen angenommen werden. So konnte in vivo für den mOR-EG Rezeptor, einen OR der Maus, der für Eugenol affin ist, zeigen, dass Methyl-Isoeugenol als Antagonist den Rezeptor blockiert und somit die Reaktion auf Eugenol unterbunden wird (Oka, Omura, Kataoka & Touhara, 2004). Auf der anderen Seite gibt es auf Ebene der ORN den Prozess des kompetitiven Agonismus. Kreher, und Mitarbeiter (Kreher, Mathew, Kim und Carlsson, 2008) konnten bei Fruchtfliegenlarven nachweisen, dass die Sensitivität eines ORNs für einen Geruchsstoff abnimmt, wenn dieser zusammen mit einem anderen Geruchsstoff präsentiert wird, für den das ORN ebenfalls eine

Affinität aufweist. Für die Generierung der Testaufgaben muss folglich beachtet werden, dass mit zunehmender Anzahl an Komponenten in den Mischgerüchen auch das Risiko steigt, dass eine Interaktion auf Ebene der ORN stattfindet (Rospars, Lansky, Chaput, Duchamp-Viret, 2008). Fungiert ein Geruchsstoff als Antagonist eines anderen Geruchsstoffs, oder ist sein Anteil in den Testaufgaben so hoch, dass ein anderer Geruchsstoff nicht mehr am OR binden kann, könnte dies zu Maskierungsphänomenen führen. Diese Problematik könnte am besten dadurch umgegangen werden, dass die Konzentrationen der Komponenten so gewählt werden, dass sie alle die gleiche Wahrscheinlichkeit haben, an einen Rezeptor zu binden, der für sie affin ist.

3.1.3.2 Die Verarbeitung der Intensität von Komponenten in Mischgerüchen auf Ebene der ORN

Den bedeutendsten Befund für die hier durchgeführte Studie liefert eine aktuelle Studie aus dem Jahr 2008 (Khan, Thattai & Bhalla, 2008). Es wurde für die in dieser Studie als rein olfaktorisch bezeichneten Geruchsstoffe Iso-Amyl-Acetat, Methyl Amyl Keton, 1,4-Cineol und Limone untersucht, welche Reaktionen Mitralzellen im BO der Ratte auf die einzelnen Geruchsstoffe, sowie deren binäre Mischungen zeigen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die untersuchten Zellen distinkte Antwortmuster auf die verschiedenen Geruchsstoffe zeigen. Werden zwei Geruchsstoffe zu einem binären Mischgeruch zusammengefügt, zeigen die Zellen als Antwortmuster auch ein gemischtes Antwortmuster aus der Reaktion auf die einzelnen Geruchsstoffe. Werden die Anteile der Komponenten in dem Mischgeruch verändert, verändert sich auch das Antwortmuster äquivalent. Je stärker eine Komponente in dem Mischgeruch vertreten ist, desto eher ähnelt das Antwortmuster der Zelle auch dem Antwortmuster auf die separate Darbietung der Komponente. Zum einen untermauert dieser Befund den geplanten konzeptuellen Aufbau der Testaufgaben, durch Veränderung der Konzentrationsverhältnisse in Mischgerüchen die Qualitäten objektiv zu variieren und liefert damit auch eine biologische Grundlage für die Ergebnisse von Olsson (1994), dass sich die Qualität eines Mischgeruchs mit den Anteilen seiner Komponenten verändert. Zum anderen stellt dieser Befund auch die Bedeutung der Anteile der Komponenten in Mischgerüchen in den Vordergrund und damit ins besondere auch das Ziel dieser Studie, die Intensitäten der Komponenten aufeinander abzustimmen.

3.1.3.3 Die Verarbeitung der Intensitäten von Mischgerüchen auf Ebene der primären und sekundären olfaktorischen Kortexareale

Grabenhorst und Mitarbeiter (Grabenhorst, Rolls, Margot, da Silva und Velazco, 2007) untersuchten den Einfluss der Intensität und der Valenz in binären Mischgerüchen auf die Hirnaktivität in verschiedenen Kortexarealen. Sie verwendeten die beiden Geruchsstoffe Jasmin (angenehm) und Indol (unangenehm) und korrelierten die subjektiven Valenz- und Intensitätsratings der Studienteilnehmer mit der Aktivierung spezifischer Hirnareale, sowohl für die einzelnen Geruchsstoffe als auch für den entsprechenden Mischgeruch. Es zeigte sich, dass die Intensitätsratings der einzelnen Geruchsstoffe und die Intensitätsratings des Mischgeruchs mit der Aktivität im piriformen Kortex positiv korreliert sind. Für die Valenzratings zeigten sich eine positive Korrelation mit der Aktivität im medialen Orbitofrontal-Kortex und eine negative Korrelation mit der Aktivität im posterioren Orbitofrontal-Kortex. Wurde jedoch der binäre Mischgeruch präsentiert, zeigten beide Areale des Orbitofrontal-Kortex eine Aktivierung unabhängig von den Valenzratings für den Mischgeruch. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass in Mischgerüchen sowohl positive als auch negative Valenzen der Komponenten im olfaktorischen Kortex simultan verarbeitet werden können. In keinem der Valenz-verarbeitenden Areale zeigt sich jedoch ein Zusammenhang zwischen der Aktivierung und den Intensitätsratings. Damit unterstützen diese Ergebnisse die von Anderson et al. (2003) postulierte distinkte Verarbeitung von Intensität und Valenz auf Ebene des olfaktorischen Kortex. Ob und wie die Valenzen der Komponenten in Mischgerüchen die Intensitätsratings beeinflussen kann nicht abschließend geklärt werden. So haben Grabenhorst und Mitarbeiter (Grabenhorst et al., 2007) nicht differenziert untersucht, wie sich die Aktivität verändert, wenn entweder die Valenz oder die Intensität konstant gehalten wird und die jeweils andere Dimension variiert wird, wie es Winston und Mitarbeiter (Winston et al., 2005) für einzelne Geruchsstoffe untersucht haben (Vergleich Absatz 3.1.1.3).

3.1.3.4 Weitere Einflüsse auf die Verarbeitung der Intensitäten von Komponenten in Mischgerüchen

Bisher wurde in keiner Studie der Einfluss von top-down-Mechanismen auf die Intensitätswahrnehmung von Komponenten in Mischgerüchen untersucht. Es erscheint jedoch plausibel, dass auch die Bewertung eines Mischgeruchs dessen Intensitätswahrnehmung und auch die Wahrnehmung der in ihm enthaltenen Komponenten beeinflussen kann.

Auf der anderen Seite gibt es eine Vielzahl von Studien, die die Interaktion von olfaktorischen und trigeminalen Komponenten und deren Einfluss auf die Intensitätsverarbeitung der Komponenten und des Mischgeruchs untersuchen. Auf diese wird jedoch in der zweiten Studie näher eingegangen, die sich an diese anschließt.

3.1.4 Implikationen für die Studie Intensitätsmatching

3.1.4.1 Relevanz der Intensitäten für die Generierung von Mischgerüchen

Berglund und Mitarbeiter publizierten 1973 das Vektorenmodell zur Bestimmung der Intensität eines Mischgeruchs an Hand der Intensitäten seiner Komponenten (Berglund, Berglund, Lindvall & Sevensson, 1973). In diesem Modell werden die Intensitäten der einzelnen Komponenten als Vektoren dargestellt, wobei die Länge der Vektoren die Intensität kodiert. Durch Vektorenaddition lässt sich die Intensität des Mischgeruchs durch die Länge des resultierenden Vektors bestimmen. Den Winkel zwischen den beiden Vektoren bestimmt dabei die qualitative Ähnlichkeit der Komponenten. Abbildung 3-4 zeigt das Vektorenmodell. Abweichungen von dem Modell erklären Berglund und Olsson (Berglund & Olsson, 1993a) damit, dass es nicht nur Interaktionen zwischen den Intensitäten, sondern auch Interaktionen der Geruchsqualitäten der Komponenten geben kann.

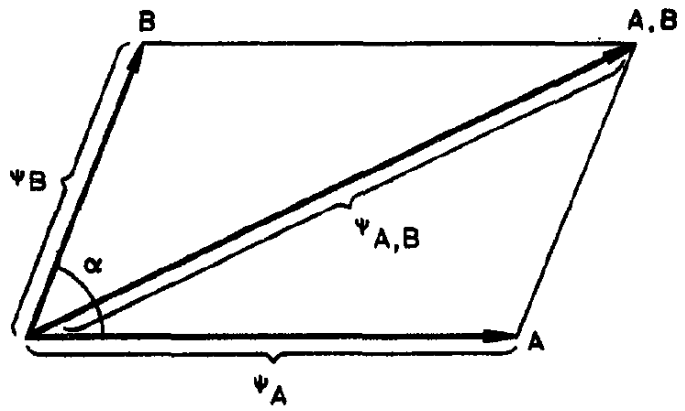


Abbildung 3-4: Vektorenmodell (Berglund et al. 1973).

Der Zusammenhang zwischen den Intensitäten der Komponenten und der Intensität des Mischgeruchs soll auch auf Mischgerüche aus drei Komponenten übertragen (Berglund &

Olsson, 1993b) und auf weitere Komponenten ausgeweitet werden können. Betracht man jedoch die Vielfalt der Einflussgrößen auf die Intensitätswahrnehmung, die bereits auf Rezeptorebene zu finden sind sowie die unzähligen Kombinationsmöglichkeiten aus denen Interaktionen hervortreten können, verdeutlicht dies, dass die Vorhersagbarkeit der Intensitätswahrnehmung für Komponenten in Mischgerüchen stark eingeschränkt ist. Bell und Mitarbeiter (Bell, Laing und Panhuber, 1987) stellten die These auf, dass je intensiver ein Geruch im Allgemeinen empfunden wird, desto eher wird er auch andere Gerüche in Mischgerüchen maskieren. Sind die Intensitäten beider Komponenten allerdings identisch, werden beide Komponenten auch in gleichem Maße wahrgenommen, wenn sie zu einem Mischgeruch zusammengefügt werden (Laing, Panhuber, Willcox, & Pittman, 1984; Olsson, 1998). Auch wenn diese Befunde nicht generell gültig sind, da sie Interaktionen auf den verschiedenen Ebenen der olfaktorischen Intensitätsverarbeitung nicht berücksichtigen, zeigen die Ergebnisse für die Verarbeitung von Mischgerüchen dennoch, dass es wichtig ist, die Intensitäten der Komponenten aufeinander abzustimmen, wenn die Komponenten einander nicht maskieren sollen.

3.1.4.2 Bedeutung der biologischen Grundlagen für die Auswahl der Messmethode

Pause und Mitarbeiter (Pause, Sojka & Ferstl, 1997) warfen die Frage auf, ob olfaktorisch evozierte Potentiale Stimuluskonzentrationen präziser widerspiegeln können, als subjektive Ratings. In den zuvor zitierten Studien konnten mit Hilfe der Bildgebung und Elektrophysiologie Prozesse nachgewiesen werden, die nur durch die subjektiven Ratings der Studienteilnehmer nicht hätten gefunden werden können. Auch wenn damit physiologische Messverfahren einen bedeutenden Beitrag dazu leisten, die funktionalen Prozesse zu erforschen, soll in dieser Studie die Praktikabilität im Vordergrund stehen. Die praktikabelste Annäherung dafür, dass zwei verschiedene Geruchsstoffe eine vergleichbare Intensität besitzen ist damit der Abgleich ihrer subjektiv wahrnehmbaren Intensitäten. Die Erkenntnisse der Physiologie und Biologie können dazu genutzt werden, Störgrößen zu berücksichtigen. Die Ergebnisse dieser Studie können somit abgesichert werden, indem potenzielle Störfaktoren, die einen Einfluss auf die Intensitätswahrnehmung besitzen, wie beispielsweise die Valenz, kontrolliert oder mit erfasst werden.

3.1.4 Fragestellung

Die Fragestellung dieser Studie lautete, in welchen Konzentrationen die sechs Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol, Dekansäure und Vanillin vorliegen müssen, damit sie vergleichbare subjektiv wahrnehmbare Intensitäten erzeugen. Da in diesem Abschnitt wiederholt die Bedeutung der Valenz für die Intensitätswahrnehmung angeführt wurde, sollten die Ergebnisse auch in Bezug auf die Valenz der Geruchsstoffe untersucht werden.

3.2 Methoden

Im folgenden Absatz werden die Methoden der ersten Studie beschrieben. Neben der Beschreibung von Versuchsplanung, Material und Durchführung wird auch auf die methodischen Überlegungen für die Gestaltung der Aufgaben eingegangen. Die Aufgabe bestand darin für die Geruchsstoffe Phenyl-Ethanol, Kumarin, Dekansäure, Geraniol und Eugenol aus jeweils drei verschiedenen Konzentrationsstufen eine Konzentrationsstufe auszuwählen, bei der die subjektiv wahrnehmbare Intensität mit der Intensität von Vanillin als Referenzgeruchsstoff in einer Konzentration von 1:10 am ähnlichsten ist.

3.2.1 Stichprobe

Die Studie wurde im Zeitraum vom 09. Februar bis zum 20. Februar 2007 an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf in der Abteilung für Biologische Psychologie und Sozialpsychologie mit 60 Teilnehmern durchgeführt. Die Teilnahme an dem Experiment erfolgte freiwillig. Auf Grund der kurzen Versuchsdauer von maximal 10 Minuten wurden die Teilnehmer auf dem Campus der Heinrich-Heine-Universität durch direkte Ansprache zufällig rekrutiert. Die Teilnehmer wurden mündlich über die Studie aufgeklärt. Sie erhielten Informationen zu Zielen und Hintergründen der Studie, den Ablauf und die Aufgabe, den Gesundheitsschutz, die Dauer und Entlohnung, den Datenschutz sowie die Freiwilligkeit der Teilnahme. Ein mündliches Einverständnis der Teilnehmer, an dieser Studie teilzunehmen, wurde eingeholt. Der Faktor Geschlecht wurde balanciert. Als Ausschlusskriterien zählten die im Abschnitt 2.4 beschriebenen neurologischen und psychiatrischen Erkrankungen (Alzheimer-Demenz, Parkinson-Erkrankung, Depression, Schizophrenie, Essstörungen, Epilepsie, Korsakow-Syndrom, Chorea-Huntington, Schädel-Hirn-Trauma und Multiple-Sklerose) sowie Erkrankungen des Immunsystems, wie beispielsweise HIV. Weitere Ausschlusskriterien sind im Absatz 3.2.2 beschrieben. Alle Teilnehmer gaben ihre mündliche Zustimmung, dass keines der Ausschlusskriterien zutreffend war. Raucher wurden in dieser Studie von der Teilnahme nicht ausgeschlossen. Als Kriterium für die Zuordnung eines Teilnehmers zu der Gruppe der Raucher wurde eine durchschnittliche Anzahl von mehr als sieben gerauchten Zigaretten pro Woche festgelegt. Dieses Kriterium wurde auch in allen weiteren Studien beibehalten. Es gab ebenfalls keine Altersgrenzen. Die Teilnehmer waren im Alter von 19 bis 48 Jahre alt (M = 24,4, SD = 4,8). Männliche Teilnehmer (M = 25,3, SD = 5,50) und weibliche Teilnehmer (M = 23,6, SD = 3,8) unterschieden sich nicht in Bezug auf ihr Alter (t_{58} = 1,40, p = 0,168). 15 Teilnehmer rauchten, 8 davon waren weiblich. Die durchschnittliche Anzahl gerauchter Ziga-

retten betrug 10 Stück (SD = 3,4). Als Dank für die Teilnahme erhielten die Teilnehmer eine Süßigkeit nach Wahl.

3.2.2 Weitere Ausschlusskriterien

Für alle Studien wurden im Vorfeld Ausschlusskriterien definiert. Da es eine Vielzahl von Einflussfaktoren auf die Geruchsleistung gibt und die Entwicklung des Diskriminationstest an Hand der Daten gesunder Teilnehmer vorgenommen werden sollte, wurde auf die Einhaltung der Ausschlusskriterien genau geachtet. So wurde alleine durch die hohe interindividuelle Varianz zwischen den Teilnehmern eine hohe Varianz in den Daten erwartet, so dass weitere Stör- und Fehlerquellen eine valide Auswertung unmöglich machen würden. Neben den in den Abschnitten 2.4 beschrieben neurologischen und psychischen Erkrankungen, die mit Geruchsstörungen einhergehen, wurden ebenfalls die folgenden Ausschlusskriterien definiert, von denen ein Einfluss auf die Geruchsleistung angenommen, beziehungsweise nicht ausgeschlossen werden kann.

Neurochirurgische Eingriffe

Die Vielfalt an neurologischen Erkrankungen, die mit Geruchsstörungen einhergehen, begründete auch die Entscheidung, Teilnehmer mit neurochirurgischen Eingriffen in der Vorgeschichte auszuschließen.

Rauchen

Mit Ausnahme der ersten beiden Studien wurden in den übrigen Studien Raucher von der Teilnahme ausgeschlossen. Auch wenn damit die externe Validität geringer ausfällt, wurde doch nachgewiesen, dass die Geruchsleistung von Rauchern beeinträchtigt sein kann. Die Identifikationsleistung ist hoch negativ korreliert mit der Anzahl der gerauchten Schachteln Zigaretten pro Jahr (Frye, Schwartz & Doty, 1990). Die Regeneration der Geruchsleistung benötigt dabei in etwa so lange, wie die Zeit, die eine Person Raucher gewesen ist. Das Ergebnis, dass Raucher eine schlechtere Identifikationsleistungen als Nichtraucher zeigen, wurde auch in neueren Studien bestätigt (McLean et al., 2004).

Stoffwechselstörungen

Zu den am weitesten verbreiteten Stoffwechselstörungen zählt die Erkrankung Diabetes mellitus, bei der Geruchsstörungen, wie beispielsweise Störungen der Identifikationsleistung beobachtet werden können (Weinstock, Wright & Smith, 1993). Auch wenn die Prävalenz bei Teilnehmern in der Altersgruppe von 18-39 Jahren nur bei rund 1% liegt (www.gbe-bund.de) nimmt diese in höherem Alter stark zu, so dass sie in der Phase der Testkonstruktion, bei der auch ältere Teilnehmer in die Datenerhebung mit einbezogen werden sollten, besondere Beachtung erfahren musste.

Riechstörungen

Auch wenn dieses Ausschlusskriterium trivial erscheint, zählten auch Riechstörungen, das heißt eine fehlende (Anosmie) oder eingeschränkte Riechfähigkeit (Selektive Anosmie oder Hyposmie) zu den Ausschlusskriterien.

Erkrankungen der Nase oder des oberen Respirationstrakts, sowie grippale Infekte oder akute Allergien

Da die Wahrnehmung von Geruchsstoffen in hohem Maße durch die Ventilation in den Nasenhöhlen mit beeinflusst wird, waren Teilnehmer, bei denen von einer Einschränkung der Ventilation auf Grund entsprechender Erkrankungen ausgegangen werden musste ebenfalls von der Teilnahme ausgeschlossen. So zählen zu den drei Hauptursachen von Riechstörungen neben Traumata einerseits nasale, beziehungsweise ventilatorische Ursachen und andererseits virale Infekte (Reiß & Reiß, 2000).

Chirurgische Eingriffe im Bereich der Nase

Dieses Ausschlusskriterium wurde mit der gleichen Begründung definiert, wie das Ausschlusskriterium Erkrankungen der Nase oder des oberen Respirationstrakts. So verändern chirurgische Eingriffe an der Nase die nasale Durchlässigkeit und folglich auch die Geruchswahrnehmung (Kamami, Pandraud & Bougara, 2000).

Regelmäßige Medikamenteneinnahme und Drogenkonsum

Reiß und Reiß (2000) haben an Hand der Roten Liste eine Auswahl an Medikamenten zusammengestellt, bei denen Riechstörungen zu erwarten sind. Hierzu zählen unter anderem Medikamente aus den Klassen Antibiotika, Diagnostika, Hypophysen-/Hypothalamushormone, Immuntherapeutika, Magen-Darm-Mittel, Psychopharmaka und Rhinologica. Da nicht alle Substanzklassen in Hinblick auf Einflüsse auf die Geruchswahrnehmung untersucht wurden und die Geruchswahrnehmung auf verschiedenen Dimensionen gestört sein kann, wurde bei der Auswahl der Teilnehmer konservativ vorgegangen, so dass generell eine regelmäßige Medikamenteneinnahme sowie die Einnahme von anderen Substanzen als Ausschlusskriterium definiert wurde. Ausgenommen hiervon waren homöopathische Präparate und orale Kontrazeptiva. Von letzterem geht in gleicher Weise wie von Menstruationszyklus ein Einfluss auf die Geruchswahrnehmung aus (Doty, Snyder, Huggins & Lowry, 1981), jedoch fiel die Entscheidung aus Gründen der externen Validität auf die Zulassung von Frauen, die orale Kontrazeptive einnehmen.

Hormonelle Erkrankungen

Erkrankungen der Schilddrüse, der Nebenschilddrüse und der Nebennierenrinde sind mit Geruchsstörungen assoziiert (Calzá, Forrest, Vennström & Hökfelt, 2000). Aus diesem Grund wurden nicht nur Teilnehmer mit diesen Erkrankungen von der Teilnahme ausgeschlossen, sondern generell Personen mit hormonellen Erkrankungen, da auch für andere hormonelle Störung nicht ausgeschlossen werden kann, dass Geruchsstörungen auftreten können.

Chronische Erkrankungen und Behinderungen

Als letzte Gruppe an Ausschlusskriterien wurden sonstige chronische Erkrankungen und Behinderungen (wie beispielsweise Down-Syndrom (Wetter & Murphy, 1999)) definiert. Weitere Ausschlusskriterien wurden aus Gründen der externen Validität nicht bestimmt. So könnte beispielsweise ein potentieller Einflussfaktor die Arbeit mit Geruchsstoffen darstellen und zu den Ausschlusskriterien hinzugezählt werden. Hummel und Mitarbeiter stellten fest, dass Arbeiter, die täglich mit Geruchsstoffen arbeiten bessere Leistungen in der Diskriminationsleistung aufweisen (Hummel, Guel & Delank, 2004). Ob dieser Effekt auf die Arbeit mit Geruchsstoffen zurückzuführen ist, oder die Arbeiter auf Grund ihrer guten Geruchsleistung zu ihrer Arbeit gekommen sind, wurde nicht diskutiert. Somit wurden sämtliche weitere Fakto-

ren, bei denen nicht von einer pathologischen Veränderung der Geruchsleistungen ausgegangen werden kann, nicht als Ausschlusskriterien definiert.

Kontrolle des Alters

In allen Studien wurde das Alter kontrolliert. So zeigen sich bei älteren Teilnehmern im Alter von 70-90 Jahren geringere Identifikationsleistungen und höhere Wahrnehmungsschwellen im Vergleich zu jüngeren Teilnehmern im Alter von 18-24 Jahren (Stevens & Cain, 1987). Entsprechend der geringeren Identifikationsleistung bei älteren Teilnehmern zeigt sich auch eine geringere Aktivierung in kortikalen Strukturen, die mit der Geruchsverarbeitung assoziiert sind, wie beispielsweise dem primären olfaktorischen Kortex und dem enthorinalen Kortex (Wang, Eslinger, Smith & Yang, 2005). Auch die Diskriminationsfähigkeit war in einer Studie von Kaneda und Mitarbeitern bei älteren Teilnehmern im Alter von 59-75 Jahren im Vergleich zu jüngeren Teilnehmern im Alter von 21-40 Jahren geringer (Kaneda, Maeshima, Goto, Kobayakawa, Ayabe-Kanamura & Saito, 2000). Eine Abnahme in der Diskriminationsfähigkeit mit zunehmendem Alter wurde auch in einer aktuellen Studie beobachtet (Hummel, Kobal, Gudziol & Mackay-Sim, 2007). Aus diesem Grund wurden die Altersgrenzen auf 20-40 Jahre festgelegt. Wenn von diesen Altersgrenzen abgewichen wurde, wird diese Maßnahme in der entsprechenden Studie diskutiert.

Kontrolle des Geschlechts

Studien, die einen Geschlechtsunterschied berichten zeigen vor allem bessere Geruchsleistungen bei weiblichen Teilnehmern und das vor allem in Bereichen, bei denen höher kognitive Fähigkeiten, wie Geruchsidentifikation erforderlich sind. Es wurden in einer Studie von Heilmann und Mitarbeitern ebenfalls Geschlechtsunterschiede in der Diskriminationsleistung beobachtet (Heilmann, Strehle, Rosenheim, Damm & Hummel, 2002). In einer anderen Studie wurden Geschlechtsunterschiede für den Diskriminationsuntertest der Sniffin'Sticks nur bei einer differenzierteren Betrachtung verschiedener Altersklassen beobachtet. So zeigten sich bei weiblichen Teilnehmern in jüngeren (18-35 Jahre) und mittleren Altersklassen (36-55 Jahre) bessere Diskriminationsleistungen als bei männlichen Teilnehmern, während männliche Teilnehmer in der Altersklasse von 56-80 Jahren bessere Leistungen zeigten (Stuck, Frey, Freiburg, Hörmann, Zahnert & Hummel, 2006). Eine höhere Sensitivität zeigt sich nur bei Frauen im Reproduktionsalter, was mit einer biologischen Relevanz erklärt werden kann

(Dalton, Doolittle & Breslin, 2002). Dass das Alter weiblicher Teilnehmer einen Einfluss besitzt, zeigt die Untersuchung der Wahrnehmungsschwelle bei prämenopausalen und postmenopausalen Frauen. Bei postmenopausalen Frauen ist die Wahrnehmungsschwelle signifikant höher als bei prämenstrualen Frauen in der ovulatorischen Phase (Navarette-Palacios, Hudson, Reyes-Guerrero & Guevara-Gusmán, 2003). Dieser Unterschied unterstützte die Entscheidung, die Altersgrenzen auf 20-40 Jahre festzulegen. Da bei allen Studien Zufallsstichproben erhoben wurden, wurde von unspezifischen Effekten des Menstruationszyklus ausgegangen.

3.2.3 Aufgabe

3.2.3.1 Methodische Vorüberlegungen

Um die sechs Geruchsstoffe bezüglich Ihrer Intensität auf einander abstimmen zu können, wurde die Überlegung angestellt, dass sich am besten eine Aufgabe eignen würde, bei der ein Referenzgeruchsstoff mit einer fixen Intensität vorgegeben wird. Die Geruchsstoffe müssten dann bezüglich ihrer Intensität an diesen angepasst werden. Da die Intensität eines Geruchsstoffs an die Konzentration gebunden ist, wäre es für die methodische Umsetzung dieser Aufgabe sinnvoll, für jeden Geruchsstoff verschiedene Konzentrationsstufen vorzugeben. Aus diesen könnte dann jeweils eine ausgewählt werden, bei der die subjektiv wahrgenommene Intensität, mit der Intensität des Referenzgeruchsstoffs optimal übereinstimmt.

Um diese Aufgabe realisieren zu können, bestand der erste Schritt darin, einen Referenzgeruchsstoff mit einer fixen Intensität auszuwählen. Die Auswahl des Referenzgeruchsstoffs ist essenziell, da das übrige Stimulusmaterial an diesen angepasst werden muss. Für die Auswahl des Referenzgeruchsstoffs gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

1. Zu den sechs zu untersuchenden Geruchsstoffen könnte ein zusätzlicher Geruchsstoff als Referenzgeruchsstoff ausgewählt werden. Die Aufgabe der Studienteilnehmer würde dann darin bestehen, für jeden der sechs Geruchsstoffe, eine von verschiedenen vorgegebenen Konzentrationsstufen auszuwählen, bei der die subjektiv wahrgenommene Intensität zu der Intensität des Referenzgeruchsstoffs am ähnlichsten ist (Intensitätsmatching). Nach Abschluss der Studie würde man anschließend das Ergebnis erhalten, in welchen Konzentrationen die sechs Geruchsstoffe vorliegen müssen, damit ihre Intensitäten mit dem Referenzgeruchsstoff und damit folglich auch untereinander vergleichbar sind.

2. An Stelle eines zusätzlichen Geruchsstoffs könnte einer der sechs zu untersuchenden Geruchsstoffe als Referenzgeruchsstoff ausgewählt werden, um die restlichen fünf Geruchsstoffe bezüglich ihrer Intensität auf diesen abgestimmt werden.

Im Vergleich der Konsequenzen für die methodische Umsetzung und der Gültigkeit der Ergebnisse besitzt die zweite Variante verschiedene Vorteile. Durch die geringere Anzahl an Reizen wird auch die Gesamtfehlervarianz beim Intensitätsmatching kleiner. Zusätzlich wäre in Folge der geringeren Anzahl von notwendigen Vergleichen zwischen dem Referenzgeruchsstoff und den übrigen Geruchsstoffen die Studiendauer um exakt ein Siebtel der Zeit kürzer. Es wäre darüber hinaus wichtig, einen Geruchsstoff als Referenzgeruchsstoff zu wählen, der auch als primär olfaktorisch eingestuft werden kann. So könnte beim Vergleich der Intensitäten eines trigeminalen Geruchsstoffs mit olfaktorischen Geruchsstoffen die Validität der Ergebnisse angezweifelt werden. Zudem müsste in der dritten Studie, in der die olfaktorischen Eigenschaften der Geruchsstoffe untersucht werden sollen, auch der zusätzlich ausgewählte Referenzgeruchsstoff untersucht werden. Dies würde ebenfalls zu einer längeren Dauer der dritten Studie führen. Aus diesen Gründen fiel die Entscheidung für das methodische Vorgehen in dieser Studie auf die zweite Variante.

3.2.3.2 Auswahl des Referenzgeruchsstoffs

Nachdem das grundlegende methodische Vorgehen ausgewählt wurde, stellte sich weitergehend die Frage, nach welchem Kriterium Geruchsqualität und -konzentration des Referenzgeruchsstoffs ausgewählt werden sollten. Da eine Zielsetzung der Testentwicklung darin Bestand einen überschwelligen Geruchstest zu entwickeln, sollte sich die Intensität des Referenzgeruchsstoffs an einem überschwelligen Geruchsstoff aus der Literatur orientieren. Von den sechs verwendeten Geruchsstoffen wird Phenyl-Ethanol als Geruchsstoff für das Schwellenverfahren nach Doty eingesetzt (Doty et al., 1984). Als deutlich überschwellige Intensität wird dort, für die höchste Konzentrationsstufe, Phenyl-Ethanol in einer Verdünnung von 1:2 präsentiert. Somit könnte Phenyl-Ethanol in der Konzentration von 1:2 als möglicher Referenzgeruchsstoff verwendet werden. Diese Wahl wäre allerdings nur dann methodisch sinnvoll, wenn sich mit allen anderen fünf Gerüchen auch intensiver riechende Konzentrationen erzeugen ließen, so dass die Teilnehmer der Studie aus verschiedenen Konzentrationsstufen die passende auswählen können Bei Probemischversuchen im abteilungseigenen Nasslabor stellte sich allerdings heraus, dass Vanillin ab einer Konzentration von 1:10 nicht mehr voll-

ständig in Diethyl-phtalat, einem Lösungsmittel, indem alle sechs Geruchsstoffe gelöst werden können, löslich ist. In dieser Konzentration war die Intensität zu der von Phenyl-Ethanol in einer Konzentration von 1:2 zum einen geringer und es ließen sich zum anderen keine höhere Konzentration mehr herstellen. Mit den übrigen Geruchsstoffen ließen sich jedoch, in ihren maximal erreichbaren Konzentrationen, deutlich intensiver riechende Konzentrationen herstellen. Da sich auch Phenyl-Ethanol höher konzentrieren ließ, als Vanillin in der Verdünnung 1:10, fiel die Entscheidung für den Referenzgeruchsstoff auf Vanillin in einer Konzentration von 1:10, an den die übrigen fünf Geruchsstoffe bezüglich ihrer Intensität angepasst werden sollten.

3.2.3.3 Wahl der Vergleichskonzentrationen für die übrigen Geruchsstoffe

Bevor Vergleichskonzentrationen ausgewählt werden konnten, musste auch hier zunächst geklärt werden, wie die Aufgabe methodisch aufgebaut sein soll, dass heißt, *wie viele* Vergleichskonzentrationen für jeden der übrigen fünf Geruchsstoffe vorgegeben werden sollten. Aus diesem Grund wurde sich dazu entschieden, jeweils drei Konzentrationen pro Geruchsstoff vorzugeben. Es sollte zunächst für jeden der fünf Geruchsstoffe eine Konzentration ausgewählt werden, bei der die Intensität mit dem Vanillinreferenzgeruchsstoff in der Konzentration von 1:10 vergleichbar ist. Für jeden der fünf Geruchsstoffe sollte anschließend jeweils eine stärkere und eine schwächere Konzentrationsstufe generiert werden, so dass eine sinnvolle Auswahl von Konzentrationen zur Verfügung steht.

Für die Auswahl der drei Konzentrationen wurden zunächst durch den Studienleiter für jeden Geruchsstoff drei Konzentrationen bestimmt, von denen der Studienleiter den subjektiven Eindruck hatte, dass diese Konzentrationen eine ähnliche Intensität wie Vanillin in der Konzentration von 1:10 erzeugen könnten. Aus dieser Vorauswahl wählten acht Mitarbeiter aus der gleichen Arbeitsgruppe wie der Studienleiter jeweils eine Konzentration, die ihrer Einschätzung nach am besten geeignet ist. Die Konzentrationen, die am häufigsten gewählt wurden, wurden für die Studie als *mittlere Konzentrationen* ausgewählt. Zu den mittleren Konzentrationen wurden jeweils eine stärkere und eine schwächere Konzentration generiert, um in der Studie drei Konzentrationsstufen, entsprechend den methodischen Vorüberlegungen vorgeben zu können. Da für die Wahrnehmung von Geruchsintensitäten ein logarithmischer Zusammenhang angenommen wird (Berglund et al., 1971), wurden für die stärkeren und schwächeren Konzentrationen solche Konzentrationen gewählt, bei denen der Abstand zur

mittleren Konzentration jeweils eine ganze natürliche Zahl zum Logarithmus zu der Basis 2 beträgt (Tabelle 3-5).

Tabelle 3-5: *Konzentrationsstufen der Geruchsstoffe.*

	schwache Konzentration	**mittlere Konzentration**	**starke Konzentration**
Kumarin	1:10	1:5	1:3,3
Eugenol	1:80	1:40	1:20
Geraniol	1:80	1:40	1:20
Phenyl-Ethanol	1:20	1:10	1:5
Dekansäure	1:80	1:40	1:20

Anmerkung. Dargestellt sind die für jeden Geruchsstoff vorgegebenen Konzentrationen. Die mittleren Konzentrationen wurden von der Arbeitsgruppe ausgewählt. Die Abstände für die schwachen und starken Konzentrationen betragen jeweils eine ganze natürliche Zahl zum Logarithmus zu der Basis 2.

Lediglich die starke Kumarin-Konzentration, die bei einer mittleren Konzentration von 1:5 folglich 1:2,5 betragen müsste, konnte nicht hergestellt werden, da Kumarin in dieser Konzentration nicht mehr vollständig in Diethyl-phtalat löslich ist. Aus diesem Grund wurde eine Konzentration von 1:3,3 gewählt, was einem Anstieg der Kumarin-Konzentration in der Lösung um anteilig 10% gegenüber der mittleren Konzentration entspricht. Die Basis 2 wurde aus folgendem Grund gewählt: Bei dem Schwellentest nach Doty (Doty et al., 1984) wurden die Abstände der Konzentrationen zur Basis eines halben 10er-Logarithmus gewählt. Würde man für die Aufgabe in diesem Experiment ähnliche große Abstände vorgeben, hätte dies den Nachteil, dass auf Grund der großen Konzentrationsabstände zwischen den Konzentrationen möglicherweise Informationen verschenkt werden würden.

Für eine übersichtlichere Darstellung der drei Konzentrationsstufen werden die schwachen Konzentrationen im Weiteren mit „1“, die mittleren mit „2“ und die starken Konzentrationen mit „3“ kodiert. Aus den bisher angestellten methodischen Überlegungen ließ sich die Aufgabe herleiten, für jeden der fünf Geruchsstoffe aus jeweils drei vorgegebenen Konzentrationen eine auszuwählen.

3.2.4 Versuchsmaterial

3.2.4.1 Stimuli

Für die Herstellung der Geruchsproben wurden die Geruchsstoffe Vanillin, Phenyl-Ethanol, Kumarin, Dekansäure, Geraniol und Eugenol verwendet. Für die Replikation der durchgeführten Studien spielen insbesondere die verwendeten Chemikalien eine entscheidende Rolle, da die Güte der Chemikalien und die richtige Handhabung für die Qualität der Geruchsproben ausschlaggebend sind. Dieser Absatz liefert demnach alle notwendigen Informationen zu den chemischen Eigenschaften der verwendeten Geruchsstoffe, sowie zu den Maßnahmen die beim Umgang mit den Geruchsstoffen ergriffen wurden. Er ist auch für alle folgenden durchgeführten Studien gültig. Auf Abweichungen beim Umgang mit den Geruchsstoffen, sowie auf Mengenverhältnisse in den Geruchsproben wird in den Methoden der jeweiligen Studien detailliert eingegangen. Die sechs Geruchsstoffe Dekansäure, Vanillin, Pheny-Ethanol, Eugenol, Kumarin und Geraniol, die zur Herstellung der Geruchsstoffe verwendet wurden, wurden für alle durchgeführten Studien von der Firmengruppe Sigma-Aldrich (SIGMA-ALDRICH Chemie GmbH, Taufkirchen) bezogen. Zusätzlich wurde als gemeinsames Lösungsmittel das lipophile und nahezu geruchsneutrale Lösungsmittel Diethyl-phtalat verwendet. Ein einheitliches Lösungsmittel ist aus folgenden Gründen unerlässlich:

1. In allen durchgeführten Studien müssen die verwendeten Geruchsstoffe in ihren Konzentrationen und den damit verbundenen Geruchsintensitäten variiert werden können.
2. Um die Geruchsstoffe für den späteren Diskriminationstest zu Geruchsgemischen zusammenfügen zu können ist ein einheitliches, entweder lipophiles oder hydrophiles Lösungsmittel als Basis, mit dem die Geruchsstoffe verdünnt werden können Grundvoraussetzung. Lipophile und hydrophile Geruchsstoffe könnten nur erschwert, unter zu Hilfenahme von Emulgatoren zusammengeführt werden, was einen weiteren Störfaktor für die Geruchsqualität darstellen würde.
3. In allen Studien ist der Vergleich der unterschiedlichen Geruchsqualitäten der Geruchsstoffe bedeutsam. Würden neben den Geruchsstoffen auch die Lösungsmittel variiert werden, könnten Effekte nicht mehr ausschließlich auf die Unterschiede der Geruchsstoffe zurückgeführt werden.

Tabelle 3-6: *Eigenschaften der verwendeten Geruchsstoffe.*

Stoff	Chemische Summenformel	Reinheit	Dichte (g/ml)	Schmelzpunkt	Best.-Nr.
Dekansäure (Sigma) Capric acid	$CH_3(CH_2)_8COOH$	≥98%	0.893 (25 C°)	31 C°	C1875
Vanillin (Sigma) 4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyd	4-(HO)C_6H_3-3-(OCH_3)CHO	≥98%	-	83 C°	V2375
Phenyl Ethyl Alkohol (Phenyl-Ethanol) (Fluka) Benzyl Carbinol	$C_6H_5CH_2CH_2OH$	≥99%	1.020 (20 C°)	-27 C°	77861
Kumarin (Sigma) 1,2 Benzopyrone	$C_9H_6O_2$	≥99%	-	71 C°	C4261
Eugenol (Fluka) 2-Methoxy-4-allyl-phenol	$C_{10}H_{12}O_2$	≥99%	1.066 (20 C°)	-12 C°	46100
Geraniol (Aldrich) trans-3,7-Dimethyl-2,6-octadienyl acetate	$(CH_3)_2C=CHCH_2CH_2C(CH_3)= CHCH_2OH$	98%	0.889 (20 C°)	15 C°	163333
Diethyl-phtalat (Fluka) Phtalsäurediethylesther Studie 1, 2 und 3	$C_{12}H_{14}O_4$	≥96%	1.118 (20 C°)	-3 C°	80800
Diethyl-phtalat (Merck) Phtalsäurediethylesther Studie 4 und 5	$C_{12}H_{14}O_4$	>99%	1.117 – 1.119 (20 C°)	-3 C°	8.22323

Das Lösungsmittel Diethyl-phtalat wurde für die ersten vier Studien ebenfalls von Sigma-Aldrich bezogen. Auf Grund von Qualitätsschwankungen[1] wurde die Bestellung in den Studien 5 und 6 bei Merck (Merck Eurolab GmbH, Darmstadt) vorgenommen. Tabelle 3-6 zeigt eine Übersicht über die chemischen Eigenschaften aller verwendeten Chemikalien.

Alle für diese Studie hergestellten Geruchsproben wurden nach den im Folgenden beschriebenen Verfahren, zum Umgang mit flüssigen, beziehungsweise festen Chemikalien hergestellt.

[1] Vor der Verwendung des Losungsmittels wurde dieses auf seine geruchsneutrale Eigenschaft hin überprüft. Vor Beginn der fünften Studie besaß das neu georderte Lösungsmittel einen starken, untypischen Eigengeruch.

Feste Geruchsstoffe wurden in Diethyl-phtalat gelöst. Alle Geruchsstoffe wurden mit Diethyl-phtalat verdünnt, um die Konzentrationen variieren zu können. Wie in der Einleitung bereits beschrieben wurde, wurde als Referenzgeruchsstoff Vanillin in einer Konzentration von 1:10, in Diethyl-phtalat gelöst gewählt. Die Konzentrationen wurden auf Basis der im Absatz 3.2.3.3 beschriebenen Überlegungen gewählt und entsprechen damit den Konzentrationen, die in Tabelle 3-5 angegeben wurden. Die fertigen Geruchsproben wurden nach ihrer Herstellung bei Raumtemperatur (21 C° ± 1C°) gelagert. Die Geruchsstoffe wurden eigens für diese Studie vom Hersteller bezogen, so dass von einer maximalen Reinheit der Substanzen ausgegangen werden kann. Die Geruchsstoffe wurden im Rahmen der Studie über einen Zeitraum von rund drei Wochen verwendet.

3.2.4.1.1 Verarbeitung der Geruchsstoffe

Alle Chemikalien wurden im abteilungseigenen Nasslabor bei Raumtemperatur (21 C° ± 1C°) verarbeitet. Die Raumtemperatur wurde mit einer Klimaanlage konstant gehalten und regelmäßig überprüft. Da im endgültigen Geruchstest flüssige Geruchsproben verwendet werden sollten, mussten auch in allen Studien, die für die Entwicklung des Geruchstests notwendig waren, flüssige Geruchsproben verwendet werden. Zudem war es für die Testentwicklung entscheidend, die Konzentrationen der Geruchsstoffe variieren zu können und verschiedene Geruchsstoffe zu Geruchsgemischen zusammenfügen zu können.

Für die Herstellung der Geruchsproben war jedoch zu beachten, dass die Geruchsstoffe bei Raumtemperatur unterschiedliche Aggregatszustände besitzen. So sind drei der sechs Geruchsstoffe bei Raumtemperatur flüssig, das heißt ihr Schmelzpunkt liegt unterhalb der Raumtemperatur (Geraniol, Eugenol und Phenyl-Ethanol < 21 C° ±1C°), wohingegen drei einen Schmelzpunkt über Raumtemperatur besitzen (Vanillin, Kumarin und Dekansäure > 21 C° ±1C°) und diese somit einen festen Aggregatszustand besitzen (Vergleich Tabelle 3-4). Hieraus ergaben sich Unterschiede in der Verarbeitung.

Verarbeitung flüssiger Geruchsstoffe

Die Herstellung der Geruchsproben aus den flüssigen Geruchsstoffen ist unproblematisch, da sich die Geruchsstoffe, sowie das Lösungsmittel pipettieren oder mit dem Messbecher abmessen lassen. Alle bei Raumtemperatur flüssigen Geruchsstoffe lassen sich zudem vollständig in dem Lösungsmittel Diethyl-phtalat lösen und somit auch untereinander mischen. Die Konzentrationen der Geruchsstoffe können folglich durch ihre Volumenanteile bestimmt werden.

So beträgt beispielsweise bei einer Geruchsprobe, die den flüssigen Geruchsstoff X in einer Konzentration von 1:10 enthält, der Volumenanteil des Geruchsstoffs, bei einem Gesamtvolumen der Geruchsprobe von 10 ml, folglich1 ml und der Volumenanteil des Lösungsmittels 9 ml. Das Volumen wurde in allen Studien in der Einheit Milliliter (ml) gemessen.

Verarbeitung fester Geruchsstoffe

Die drei Geruchsstoffe Vanillin, Kumarin und Dekansäure, die bei Raumtemperatur fest sind, können im Gegensatz zu den flüssigen Geruchsstoffen nicht pipettiert werden. Auch das Pipettieren der geschmolzenen Geruchsstoffe nach Erwärmung ist nicht möglich, da sie im Inneren der vergleichsweise kühleren Pipette kristallisieren würden. Eine Erwärmung der Pipetten ist ausgeschlossen, da alle verwendeten Pipetten bei 21 C° geeicht sind. Aus diesem Grund mussten die festen Geruchsstoffe zur Erzeugung flüssiger Geruchsproben zunächst gelöst werden. Hierzu wurden die Geruchsstoffe im festen Zustand in das Lösungsmittel gegeben und die Mischung in einem Wasserbad auf die entsprechende Schmelztemperatur des Geruchsstoffs erwärmt, bis sich dieser vollständig gelöst hatte. Die Lösungen können anschließend in gleicher Weise wie die flüssigen Geruchsstoffe verarbeitet werden. Dass heißt, dass die Lösungen pipettiert werden können und mit allen anderen Geruchsstoffen zu Geruchsgemischen zusammengefügt werden können.

Für die Herstellung einer Geruchsprobe aus festen Geruchsstoffen können jedoch nicht die Volumenanteile als Maß genommen werden, da sich die Geruchsstoffe in ihrer Reinform nicht pipettieren lassen. Somit wurden die Anteile von Geruchsstoff und Lösungsmittel in der Geruchsprobe nicht durch ihren Volumen-, sondern durch ihren Masseanteil bestimmt. So beträgt beispielsweise bei einer Geruchsprobe mit der Gesamtmasse von 10g, die den festen Geruchsstoff X in einer Konzentration von 1:10 enthält der Masseanteil des Geruchsstoffs folglich1 g und der Masseanteil des Lösungsmittels 9 g. Die Masse wurde dabei immer in der Einheit Gramm (g) gemessen. Zum Einwiegen der Chemikalien wurde eine Waage des Typs Kern 572 verwendet (Kern & Sohn GmbH, Balingen Frommern, Modell 572). Durch dieses geänderte Verfahren müssen zwei wichtige Aspekte beachtet werden:

1. Die Herstellung verschiedener Konzentrationsstufen mit den festen Geruchsstoffen wird durch die Sättigung des Lösungsmittels Diethyl-phtalat limitiert. Das heißt, die höchste mögliche Konzentration des festen Geruchsstoffs in einer flüssigen Geruchsprobe ist nicht der Geruchsstoff in seiner Reinform, sondern die Konzentration, bei der der Anteil des festen Geruchsstoffs in der Lösung so hoch ist, dass das Lösungs-

mittel maximal gesättigt ist. Diese Limitation besitzt eine wichtige Implikation für die erste Studie.

2. Alle drei festen Geruchsstoffe besitzen unterschiedliche Dichten im Vergleich zu dem Lösungsmittel Diethyl-phtalat (Vergleich Tabelle 3-4). Somit ist der Masseanteil eines festen Geruchsstoffs in der Lösung nicht äquivalent zum Volumenanteil eines flüssigen Geruchsstoffs in der Lösung, wie das folgende Beispiel zeigt: Bei einer 10ml Geruchsprobe, die den flüssigen Geruchsstoff Geraniol mit einem Volumenanteil von 1:10 enthält, beträgt das Masseverhältnis von Geruchsstoff zu Lösungsmittel 0.889g zu 10.062g. 10ml entsprechen dabei 10.961g.

Anteile von Geruchsstoff und Lösungsmittel in einer Geruchsprobe mit der Konzentration 1:X

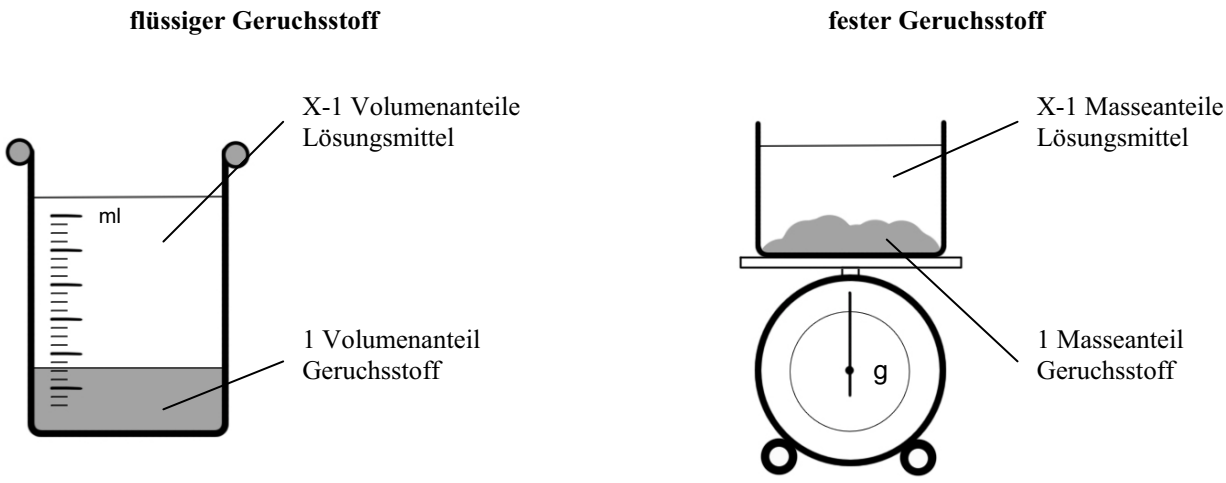


Abbildung 3-7**:** Vergleich zwischen den Verarbeitungsverfahren von flüssigen und festen Geruchsstoffen.

Für die Darstellung der Konzentration eines Geruchsstoffs in einer Geruchsprobe wird in allen Studien immer der Anteil des Geruchsstoffs in der Geruchsprobe angegeben. So würde beispielsweise bei einer Geruchsprobe, die den Geruchsstoff X in einer Konzentration von 1:10 enthält, ein Anteil des Geruchsstoffs mit neun Anteilen Lösungsmittel zu zehn Teilen Geruchsprobe zusammengemischt werden. Abbildung 3-7 zeigt schematisch den Vergleich der beiden Verarbeitungsverfahren.

3.2.4.1.2 Reinheit im Labor

Um die Kontamination der Chemikalien auch während der Verarbeitung möglichst gering zu halten und eine maximale Reinheit bei der Verarbeitung mit den Chemikalien gewährleisten zu können, wurden bei allen Arbeiten folgende Maßnahmen ergriffen:

1. Alle Arbeiten wurden stets unter Digestorien durchgeführt. Die Arbeitsflächen in den Digestorien wurden vor dem Beginn der Arbeiten mit demineralisiertem Wasser und 70%igem technischem Ethanol gereinigt.
2. Alle Originalverpackungen mit den reinen Chemikalien wurden nur für die Zeit der Entnahme der Chemikalie geöffnet, und nach der Entnahme umgehend wieder mit Parafilm® luftdicht verschlossen. Die Chemikalien wurden vor Ihrer Weiterverarbeitung immer zunächst in ein entsprechend großes Becherglas umgeschüttet, so dass keine Verunreinigung der reinen Chemikalie in der Originalverpackung durch eine mechanische Entnahme entstehen kann.
3. So weit möglich wurden bei der Verarbeitung der Chemikalien Einmalgeräte verwendet. Zum Umrühren der Lösungen wurden Einmal-Rührspatel verwendet (Hersteller Brand; Lieferant Peter Oehmen GmbH, Essen (Best.-Nr. 9.409 501)). Zum Pipettieren wurden serologischen Polystyrol-Messpipetten in den Größen 1ml, 5ml und 10ml (Hersteller Ratiolab; Lieferant Peter Oehmen GmbH, Essen (Best.-Nr. 9.380 431, 9.380 433 und …)) verwendet. Da in den Studien 4 und 5 größere Mengen der Geruchsstoffe pipettiert werden mussten, wurden hierfür manuelle Handdispenser verwendet (Eppendorf AG, Hamburg, Modell Multipette plus (Best.-Nr. 4981 000.019) mit 25ml und 50ml CombiTips plus (Best.Nr. 0030 069.293 und 0030 069.277)). Alle Pipetten und Handdispenseraufsätze wurden stets nur einmal pro Pipettiervorgang und jeweils nur für eine Chemikalie verwendet. Lediglich größere Mengen des Lösungsmittels wurden mit wieder verwendbaren 10ml Glas-Messpipetten (Hersteller Brand; Lieferant Peter Oehmen GmbH, Essen (Best.-Nr. 9.272 077)) pipettiert.
4. Alle wieder verwendbaren Labormaterialen (Beispielsweise Bechergläser oder Glas-Messpipetten), die mit den Chemikalien in Kontakt kamen, wurden vor jedem Arbeitsgang auf Geruchlosigkeit durch Riechen an dem jeweiligen Gegenstand überprüft, und nach jedem Arbeitsgang zunächst mit heißem Wasser und anschließend mit demineralisiertem Wasser und 70%igem technischen Ethanol gereinigt, bis sie keinen subjektiv wahrnehmbaren Geruchseindruck mehr erzeugten.

5. Die Geruchsstoffe und das Lösungsmittel wurden immer unter separaten Digestorien aus den Originalverpackungen entnommen. Es wurde ebenfalls immer darauf geachtet, dass beim Verdünnen der Geruchsstoffe zunächst erst das Lösungsmittel und dann der Geruchsstoff in das Gefäß gegeben wurden, in dem beide Chemikalien gemischt werden sollten, damit keine Verunreinigung des Lösungsmittels durch in der Luft verbliebene Geruchsmoleküle stattfinden konnte.
6. Beim Umgang mit Chemikalien wurden Einmalhandschuhe aus Latex getragen. Diese wurden bei versehentlichem Kontakt mit einer Chemikalie, jedoch spätestens, wenn die Arbeit mit einer Chemikalie abgeschlossen war gewechselt.
7. Alle Gefäße, in denen die Geruchsstoffe länger als für den Mischvorgang gelagert wurden, wurden im weiteren Verlauf der Studien für keinen anderen Geruchsstoff verwendet.

3.2.4.1.3 Lagerung der Chemikalien

Alle Chemikalien wurden entsprechend der Vorgaben der Hersteller gelagert. Die Geruchsstoffe Dekansäure, Vanillin, Phenyl Ethyl Alkohol, Eugenol und Kumarin wurde gekühlt bei 8 C° gelagert, und der Geruchsstoff Geraniol, sowie das Lösungsmittel Diethyl-phtalat bei Raumtemperatur (21 C° ±1C°). Die Raumtemperatur wurde mit einer Klimaanlage konstant gehalten und regelmäßig kontrolliert. Um eine Kontamination der Chemikalien während der Lagerung ausschließen zu können, wurde alle Gefäße mit dem Beginn der Einlagerung stets mit Parafilm® luftdicht verschlossen (Hersteller Brand; Lieferant Peter Oehmen GmbH, Essen (Best.-Nr. 9.170 005). Zusätzlich dazu wurde das Lösungsmittel in einem separaten Schrank gelagert. Alle für die weitere Verwendung hergestellten Geruchsproben wurden in 100ml Schott-Duran Braunglas-Laborflaschen, mit Schraubverschlusskappen, die eine geruchsneutrale PTFE (Teflon) Dichtung besaßen (Schott Duran GmbH, Wertheim/Main, Laborflasche Best.-Nr. 21 806 24, Schraubverschlusskappe Best.-Nr. 29 240 28), ebenfalls bei Raumtemperatur (21 C° ±1C°) aufbewahrt.

3.2.4.2 Verwendete Flaschen

Die Geruchsstoffe wurden in dieser Studie in 50ml Braunglas-Weithalsflaschen mit DIN 32 Mündung präsentiert (NE-Verpackungen, Kehl, Best.-Nr. W-020050BG01 S). Das Volumen

der Geruchsstoffe in den Flaschen betrug jeweils 20ml. Da sich der Versuch über mehrere Tage erstreckte, wurden die Flaschen am Ende eines jeden Untersuchungstages mit Parafilm® verschlossen. Die Flaschen wurden jeweils am Deckel und am Flaschenboden etikettiert. Der Inhalt der Flasche wurde durch den Anfangsbuchstaben des Geruchsstoffs, sowie dessen Konzentrationsstufe kodiert. Die Flasche „K1“ enthielt somit beispielsweise Kumarin in der Konzentration 1:10.

3.2.4.3 Präsentation der Geruchsstoffe

Zum Riechen wurden die Flaschen mit den Geruchsstoffen auf dem Tisch vor dem Teilnehmer platziert. Die Teilnehmer mussten sich über die Geruchsproben beugen. Die Flaschen wurden den Teilnehmern nicht angereicht, um zum einen zu verhindern, dass diese auf Grund ihrer kleinen Größe verschüttet wurden. Zum anderen stellte sich im Rahmen der Probedurchläufe vor Beginn der Studie heraus, dass es sich nicht vermeiden ließ, dass durch das wiederholte Aufschrauben minimale Rückstände der Geruchsstoffe an das Äußere der Flaschen gelangten, mit denen die Teilnehmer nicht in Kontakt kommen sollten. Aus diesem Grund wurden alle Flaschen auch regelmäßig von außen mit Einmal-Papierhandtüchern gereinigt. Die Anordnung der Flaschen ist Abbildung 3-8 dargestellt.

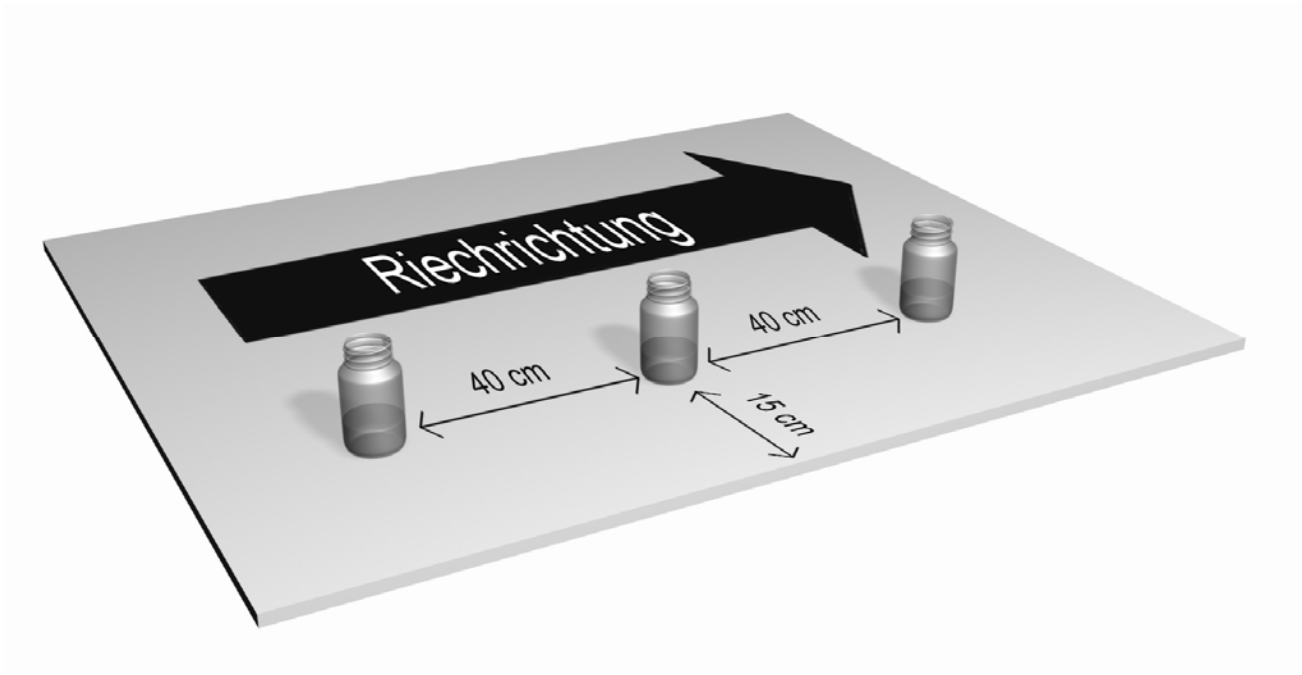


Abbildung 3-8: Anordnung der Flaschen. Die Teilnehmer wurden vor die mittlere Flasche platziert und mussten in der Reihenfolge von links nach rechts riechen („Riechrichtung“).

Der Abstand der Flaschen zur Tischkante betrug 15 cm. Die Flasche mit dem Vanillin-Referenzgeruchsstoff wurde mittig vor dem Teilnehmer platziert. Nachdem der Teilnehmer an dieser Flasche gerochen hatte, wurde sie von der Position entfernt, zugeschraubt und weggestellt. Anschließend wurden die drei Flaschen mit den Konzentrationen des jeweiligen Geruchsstoffs aufgeschraubt und vor dem Teilnehmer platziert. Eine Flasche wurde mittig vor dem Teilnehmer und die anderen beiden im Abstand von jeweils 40 cm links und rechts daneben platziert. Von dem Teilnehmer aus gesehen stand auf der linken Seite die Flasche, an der als erstes gerochen werden musste, mittig die Flasche, an der als zweites und rechts die Flasche, an der als letztes gerochen werden musste. Die Teilnehmer erhielten die Instruktion, an den Flaschen der Reihe nach, von links nach rechts zu riechen.

3.2.4.3 Teilnehmerbögen

Der Teilnehmerbogen ist im Anhang A1 abgebildet. Jeder Teilnehmer erhielt einen individuellen Teilnehmerbogen entsprechend seiner Zuweisung zu einer Teilnehmernummer. Individuelle Teilnehmerbögen wurden auf Grund des Studiendesigns verwendet (Abschnitt 3.2.5.3). Auf den Teilnehmerbögen war angegeben, in welcher Abfolge die fünf Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol und Dekansäure präsentiert werden mussten. Zusätzlich dazu war die Reihenfolge angegeben, in der die drei verschiedenen Konzentrationsstufen des Geruchsstoffs präsentiert werden mussten. Aus Gründen der Praktikabilität wurden die Konzentrationsstufen auf dem Teilnehmerbogen identisch kodiert, wie die Flaschen. So erhielten die schwachen Konzentrationen die Nummer „1“, die mittleren die Nummer „2“ und die hohen Konzentrationen die Nummer „3“. Würde auf dem Teilnehmerbogen neben einem Geruchsstoffe beispielsweise die Reihenfolge „2 - 1 - 3“ auf dem Teilnehmerbogen aufgeführt sein, müssten die Teilnehmer an den Konzentrationsstufen des Geruchsstoffs in der Reihenfolge „mittlere Konzentration“, „schwache Konzentration“ und „starke Konzentration“ riechen.

3.2.5 Design

3.2.5.1 Unabhängige Variable

Als unabhängige Variable wurde für jeden Geruchsstoff die Variable „Konzentrationsstufe“ mit den jeweiligen drei Konzentrationsstufen „schwache Konzentration“, „mittlere Konzentration“ und „starke Konzentration“, entsprechend der drei Konzentrationsstufen eines jeden Geruchsstoffs variiert. Diese Variation wurde für die fünf Geruchsstoffe in fünf verschiedenen Designs separat durchgeführt, so dass es keinen Faktor „Geruchsstoff“ gab

3.2.5.2 Abhängige Variablen

Als abhängige Variable diente für jeden Geruchsstoff zum einen die Variable „Antwort“. Es wurden somit fünf unterschiedliche abhängige Variablen erfasst. Es wurde für jeden der fünf Geruchsstoffe erfasst, welche der drei vorgegeben Konzentrationen von den Teilnehmern ausgewählt wurde. Die ordinalskalierten Variablen konnte folglich die Werte „1“ für die schwache Konzentration, „2“ für die mittlere und „3“ für die starke Konzentration annehmen. Die Auswertung erfolgt univariat

Zusätzlich wurde die nominalskalierte abhängige Variable „Valenz“ für alle sechs Geruchsstoff getrennt erfasst. Hierfür mussten sich die Teilnehmer für eine der beiden Kategorien „angenehm“ und „unangenehm“ entscheiden, die mit den Werten „0“ für unangenehm und „1“ für angenehm kodiert wurden. In allen sechs abhängigen Variablen wurde die gleiche Skalierung verwendet. Die Studienteilnehmer sollten die Valenzratings für die fünf Geruchsstoffe Vanillin, Phenyl-Ethanol, Kumarin, Dekansäure, Geraniol und Eugenol jeweils für alle Konzentrationsstufen zusammen beurteilen, nachdem sie eine Konzentrationsstufe ausgewählt hatten. Das Valenzrating für den Vanillin-Referenzgeruchsstoff erfolgte nach dem letzten Durchgang. Auch für diese Variablen erfolgte die Auswertung univariat. Für beide Variablen wurden nonparametrische Testverfahren zur Auswertung verwendet.

3.2.5.3 Gegenbalancierungs-Design

Zur Kontrolle von Reihenfolgeeffekten wurde ein Gegenbalancierungsdesign gebildet. Zum einen wurde die Reihenfolge, in der die Geruchsstoffe präsentiert wurden wurde gegenbalanciert, um Transfereffekten zwischen den Geruchsstoffen zu kontrollieren. Das Gegenbalancierungs-Design erfüllt folgende beiden Bedingungen:

1. Jeder Geruchsstoff kommt an jeder Position gleich häufig vor.
2. Jeder Geruchsstoff kommt gleich häufig vor und nach jedem anderen Geruchsstoff vor.

Das Gegenbalancierungs-Design für die Zuweisung der fünf Gerüche zu den fünf Positionen im Studienablauf zeigt Tabelle 3-9 dargestellt. Da es nicht nur einen Effekt der Reihenfolge geben könnte, an welcher Position die Geruchsstoffe präsentiert werden, sonder auch einen Effekt der 3! = 6 verschiedenen Reihenfolgen, in denen die drei verschiedenen Konzentrationsstufen eines Geruchsstoffs präsentiert werden können, wurde auch diese Reihenfolge gegenbalanciert. Das Gegenbalancierungs-Design der Anordnung der Konzentrationen erfüllte dabei folgende zwei Bedingungen:

1. Jede mögliche Anordnung der Konzentrationen kommt für jeden Geruchsstoff an jeder Position gleich häufig vor.
2. Jede mögliche Anordnung der Konzentrationen kommt für jeden Geruchsstoff gleich häufig vor und nach jedem anderen Geruchsstoff vor.

Eine Zusammenführung beider Gegenbalancierungs-Designs führte zu insgesamt 60 verschiedenen Bedingungen und bedingte damit die 60 verschiedenen Teilnehmernummern. Die vollständige Übersicht über die Abfolgen, mit der Zuordnung zu den Teilnehmernummern, ist in der folgenden Abbildung 3-10 dargestellt.

Tabelle 3-9: *Gegenbalancierungs-Design für die fünf Geruchsstoffe.*

Geruch 1	Geruch 2	Geruch 3	Geruch 4	Geruch 5
Geruch 1	Geruch 3	Geruch 5	Geruch 2	Geruch 4
Geruch 1	Geruch 5	Geruch 4	Geruch 3	Geruch 2
Geruch 1	Geruch 4	Geruch 2	Geruch 5	Geruch 3
Geruch 2	Geruch 3	Geruch 4	Geruch 5	Geruch 1
Geruch 2	Geruch 4	Geruch 1	Geruch 3	Geruch 5
Geruch 2	Geruch 1	Geruch 5	Geruch 4	Geruch 3
Geruch 2	Geruch 5	Geruch 3	Geruch 1	Geruch 4
Geruch 3	Geruch 4	Geruch 5	Geruch 1	Geruch 2
Geruch 3	Geruch 5	Geruch 2	Geruch 4	Geruch 1
Geruch 3	Geruch 2	Geruch 1	Geruch 5	Geruch 4
Geruch 3	Geruch 1	Geruch 4	Geruch 2	Geruch 5
Geruch 4	Geruch 5	Geruch 1	Geruch 2	Geruch 3
Geruch 4	Geruch 1	Geruch 3	Geruch 5	Geruch 2
Geruch 4	Geruch 3	Geruch 2	Geruch 1	Geruch 5
Geruch 4	Geruch 2	Geruch 5	Geruch 3	Geruch 1
Geruch 5	Geruch 1	Geruch 2	Geruch 3	Geruch 4
Geruch 5	Geruch 2	Geruch 4	Geruch 1	Geruch 3
Geruch 5	Geruch 4	Geruch 3	Geruch 2	Geruch 1
Geruch 5	Geruch 3	Geruch 1	Geruch 4	Geruch 2

Tabelle 3-10: *Übersicht über die 60 verschiedenen Bedingungen.*

Nr.	Durchgang 1	Durchgang 2	Durchgang 3	Durchgang 4	Durchgang 5
1	Kumarin 1 - 2 - 3	Geraniol 3 - 1 - 2	Phenyl-Ethanol 1 - 3 - 2	Eugenol 2 - 3 - 1	Dekansäure 1 - 3 - 2
2	Kumarin 3 - 2 - 1	Phenyl-Ethanol 2 - 1 - 3	Dekansäure 2 - 1 - 3	Geraniol 3 - 1 - 2	Eugenol 3 - 2 - 1
3	Kumarin 1 - 3 - 2	Dekansäure 2 - 1 - 3	Eugenol 3 - 1 - 2	Phenyl-Ethanol 1 - 2 - 3	Geraniol 3 - 2 - 1
4	Kumarin 1 - 3 - 2	Eugenol 2 - 1 - 3	Geraniol 3 - 1 - 2	Dekansäure 1 - 2 - 3	Phenyl-Ethanol 1 - 2 - 3
5	Kumarin 3 - 1 - 2	Geraniol 2 - 3 - 1	Phenyl-Ethanol 1 - 2 - 3	Eugenol 3 - 2 - 1	Dekansäure 1 - 2 - 3
6	Kumarin 2 - 3 - 1	Phenyl-Ethanol 2 - 1 - 3	Dekansäure 1 - 3 - 2	Geraniol 3 - 1 - 2	Eugenol 3 - 2 - 1
7	Kumarin 3 - 1 - 2	Dekansäure 2 - 1 - 3	Eugenol 2 - 1 - 3	Phenyl-Ethanol 1 - 2 - 3	Geraniol 2 - 1 - 3
8	Kumarin 3 - 2 - 1	Eugenol 1 - 2 - 3	Geraniol 3 - 2 - 1	Dekansäure 2 - 1 - 3	Phenyl-Ethanol 3 - 2 - 1
9	Kumarin 2 - 1 - 3	Geraniol 2 - 1 - 3	Phenyl-Ethanol 3 - 1 - 2	Eugenol 3 - 1 - 2	Dekansäure 2 - 1 - 3
10	Kumarin 2 - 3 - 1	Phenyl-Ethanol 2 - 3 - 1	Dekansäure 2 - 3 - 1	Geraniol 2 - 1 - 3	Eugenol 3 - 1 - 2
11	Kumarin 1 - 2 - 3	Dekansäure 2 - 3 - 1	Eugenol 2 - 1 - 3	Phenyl-Ethanol 2 - 1 - 3	Geraniol 3 - 2 - 1
12	Kumarin 2 - 1 - 3	Eugenol 3 - 2 - 1	Geraniol 3 - 1 - 2	Dekansäure 1 - 3 - 2	Phenyl-Ethanol 2 - 3 - 1
13	Geraniol 2 - 3 - 1	Phenyl-Ethanol 3 - 2 - 1	Eugenol 1 - 3 - 2	Dekansäure 3 - 2 - 1	Kumarin 1 - 3 - 2
14	Geraniol 1 - 2 - 3	Eugenol 3 - 2 - 1	Kumarin 2 - 3 - 1	Phenyl-Ethanol 2 - 1 - 3	Dekansäure 2 - 1 - 3
15	Geraniol 2 - 1 - 3	Kumarin 1 - 2 - 3	Dekansäure 2 - 3 - 1	Eugenol 3 - 1 - 2	Phenyl-Ethanol 3 - 2 - 1
16	Geraniol 1 - 2 - 3	Dekansäure 3 - 1 - 2	Phenyl-Ethanol 2 - 3 - 1	Kumarin 3 - 2 - 1	Eugenol 1 - 2 - 3
17	Geraniol 1 - 3 - 2	Phenyl-Ethanol 3 - 1 - 2	Eugenol 2 - 3 - 1	Dekansäure 2 - 3 - 1	Kumarin 2 - 3 - 1
18	Geraniol 1 - 3 - 2	Eugenol 3 - 1 - 2	Kumarin 3 - 1 - 2	Phenyl-Ethanol 1 - 3 - 2	Dekansäure 3 - 2 - 1
19	Geraniol 2 - 3 - 1	Kumarin 1 - 3 - 2	Dekansäure 3 - 2 - 1	Eugenol 3 - 2 - 1	Phenyl-Ethanol 1 - 2 - 3
20	Geraniol 2 - 1 - 3	Dekansäure 1 - 3 - 2	Phenyl-Ethanol 2 - 1 - 3	Kumarin 1 - 3 - 2	Eugenol 1 - 3 - 2

Nr.	Durchgang 1	Durchgang 2	Durchgang 3	Durchgang 4	Durchgang 5
21	Geraniol 3 - 1 - 2	Phenyl-Ethanol 1 - 3 - 2	Eugenol 1 - 2 - 3	Dekansäure 3 - 1 - 2	Kumarin 3 - 1 - 2
22	Geraniol 3 - 1 - 2	Eugenol 1 - 3 - 2	Kumarin 2 - 3 - 1	Phenyl-Ethanol 1 - 3 - 2	Dekansäure 2 - 3 - 1
23	Geraniol 3 - 2 - 1	Kumarin 3 - 1 - 2	Dekansäure 3 - 1 - 2	Eugenol 2 - 1 - 3	Phenyl-Ethanol 3 - 1 - 2
24	Geraniol 3 - 2 - 1	Dekansäure 3 - 1 - 2	Phenyl-Ethanol 1 - 3 - 2	Kumarin 3 - 2 - 1	Eugenol 1 - 2 - 3
25	Phenyl-Ethanol 2 - 3 - 1	Eugenol 2 - 1 - 3	Dekansäure 2 - 1 - 3	Kumarin 2 - 3 - 1	Geraniol 1 - 2 - 3
26	Phenyl-Ethanol 1 - 3 - 2	Dekansäure 2 - 3 - 1	Geraniol 2 - 1 - 3	Eugenol 1 - 2 - 3	Kumarin 2 - 1 - 3
27	Phenyl-Ethanol 2 - 1 - 3	Geraniol 1 - 2 - 3	Kumarin 1 - 3 - 2	Dekansäure 2 - 1 - 3	Eugenol 1 - 3 - 2
28	Phenyl-Ethanol 3 - 2 - 1	Kumarin 3 - 2 - 1	Eugenol 3 - 2 - 1	Geraniol 2 - 3 - 1	Dekansäure 3 - 1 - 2
29	Phenyl-Ethanol 2 - 3 - 1	Eugenol 1 - 2 - 3	Dekansäure 1 - 3 - 2	Kumarin 2 - 1 - 3	Geraniol 2 - 3 - 1
30	Phenyl-Ethanol 3 - 2 - 1	Dekansäure 1 - 2 - 3	Geraniol 1 - 2 - 3	Eugenol 1 - 3 - 2	Kumarin 3 - 2 - 1
31	Phenyl-Ethanol 1 - 2 - 3	Geraniol 3 - 1 - 2	Kumarin 3 - 1 - 2	Dekansäure 2 - 3 - 1	Eugenol 2 - 1 - 3
32	Phenyl-Ethanol 3 - 1 - 2	Kumarin 2 - 1 - 3	Eugenol 2 - 3 - 1	Geraniol 1 - 2 - 3	Dekansäure 1 - 3 - 2
33	Phenyl-Ethanol 2 - 1 - 3	Eugenol 2 - 3 - 1	Dekansäure 1 - 2 - 3	Kumarin 3 - 1 - 2	Geraniol 2 - 3 - 1
34	Phenyl-Ethanol 1 - 2 - 3	Dekansäure 1 - 3 - 2	Geraniol 1 - 3 - 2	Eugenol 2 - 3 - 1	Kumarin 1 - 2 - 3
35	Phenyl-Ethanol 1 - 3 - 2	Geraniol 2 - 3 - 1	Kumarin 1 - 2 - 3	Dekansäure 1 - 3 - 2	Eugenol 2 - 3 - 1
36	Phenyl-Ethanol 3 - 1 - 2	Kumarin 3 - 1 - 2	Eugenol 1 - 2 - 3	Geraniol 2 - 1 - 3	Dekansäure 2 - 3 - 1
37	Eugenol 3 - 1 - 2	Dekansäure 1 - 2 - 3	Kumarin 3 - 2 - 1	Geraniol 2 - 3 - 1	Phenyl-Ethanol 2 - 3 - 1
38	Eugenol 1 - 2 - 3	Kumarin 3 - 2 - 1	Phenyl-Ethanol 1 - 2 - 3	Dekansäure 3 - 2 - 1	Geraniol 1 - 2 - 3
39	Eugenol 3 - 1 - 2	Phenyl-Ethanol 1 - 2 - 3	Geraniol 1 - 2 - 3	Kumarin 1 - 2 - 3	Dekansäure 3 - 1 - 2
40	Eugenol 3 - 2 - 1	Geraniol 3 - 2 - 1	Dekansäure 3 - 2 - 1	Phenyl-Ethanol 3 - 1 - 2	Kumarin 2 - 3 - 1

Nr.	Durchgang 1	Durchgang 2	Durchgang 3	Durchgang 4	Durchgang 5
41	Eugenol 1 - 3 - 2	Dekansäure 3 - 2 - 1	Kumarin 1 - 2 - 3	Geraniol 3 - 2 - 1	Phenyl-Ethanol 3 - 1 - 2
42	Eugenol 2 - 3 - 1	Kumarin 1 - 3 - 2	Phenyl-Ethanol 3 - 2 - 1	Dekansäure 3 - 1 - 2	Geraniol 1 - 3 - 2
43	Eugenol 2 - 1 - 3	Phenyl-Ethanol 1 - 2 - 3	Geraniol 1 - 3 - 2	Kumarin 2 - 1 - 3	Dekansäure 3 - 2 - 1
44	Eugenol 2 - 1 - 3	Geraniol 1 - 3 - 2	Dekansäure 3 - 1 - 2	Phenyl-Ethanol 3 - 1 - 2	Kumarin 2 - 1 - 3
45	Eugenol 1 - 2 - 3	Dekansäure 3 - 2 - 1	Kumarin 2 - 1 - 3	Geraniol 1 - 3 - 2	Phenyl-Ethanol 1 - 3 - 2
46	Eugenol 2 - 3 - 1	Kumarin 2 - 3 - 1	Phenyl-Ethanol 3 - 1 - 2	Dekansäure 1 - 2 - 3	Geraniol 1 - 3 - 2
47	Eugenol 3 - 2 - 1	Phenyl-Ethanol 2 - 3 - 1	Geraniol 3 - 2 - 1	Kumarin 1 - 2 - 3	Dekansäure 1 - 2 - 3
48	Eugenol 1 - 3 - 2	Geraniol 1 - 3 - 2	Dekansäure 1 - 2 - 3	Phenyl-Ethanol 3 - 2 - 1	Kumarin 3 - 1 - 2
49	Dekansäure 1 - 2 - 3	Kumarin 1 - 2 - 3	Geraniol 2 - 3 - 1	Phenyl-Ethanol 3 - 2 - 1	Eugenol 2 - 1 - 3
50	Dekansäure 1 - 3 - 2	Geraniol 2 - 1 - 3	Eugenol 3 - 2 - 1	Kumarin 2 - 3 - 1	Phenyl-Ethanol 2 - 1 - 3
51	Dekansäure 1 - 3 - 2	Eugenol 2 - 3 - 1	Phenyl-Ethanol 3 - 2 - 1	Geraniol 3 - 2 - 1	Kumarin 1 - 2 - 3
52	Dekansäure 3 - 1 - 2	Phenyl-Ethanol 3 - 1 - 2	Kumarin 2 - 1 - 3	Eugenol 1 - 2 - 3	Geraniol 3 - 1 - 2
53	Dekansäure 3 - 2 - 1	Kumarin 2 - 3 - 1	Geraniol 2 - 3 - 1	Phenyl-Ethanol 2 - 3 - 1	Eugenol 3 - 1 - 2
54	Dekansäure 2 - 3 - 1	Geraniol 1 - 2 - 3	Eugenol 3 - 1 - 2	Kumarin 1 - 3 - 2	Phenyl-Ethanol 2 - 1 - 3
55	Dekansäure 2 - 1 - 3	Eugenol 3 - 1 - 2	Phenyl-Ethanol 2 - 3 - 1	Geraniol 1 - 2 - 3	Kumarin 1 - 3 - 2
56	Dekansäure 2 - 3 - 1	Phenyl-Ethanol 1 - 3 - 2	Kumarin 1 - 3 - 2	Eugenol 2 - 1 - 3	Geraniol 3 - 1 - 2
57	Dekansäure 1 - 2 - 3	Kumarin 2 - 1 - 3	Geraniol 2 - 1 - 3	Phenyl-Ethanol 2 - 3 - 1	Eugenol 2 - 3 - 1
58	Dekansäure 3 - 1 - 2	Geraniol 3 - 2 - 1	Eugenol 1 - 3 - 2	Kumarin 3 - 1 - 2	Phenyl-Ethanol 1 - 3 - 2
59	Dekansäure 2 - 1 - 3	Eugenol 1 - 3 - 2	Phenyl-Ethanol 2 - 1 - 3	Geraniol 1 - 3 - 2	Kumarin 3 - 2 - 1
60	Dekansäure 3 - 2 - 1	Phenyl-Ethanol 3 - 2 - 1	Kumarin 3 - 2 - 1	Eugenol 1 - 3 - 2	Geraniol 2 - 1 - 3

3.2.6 Studiendurchführung

Die Durchführung ist in Tabelle 3-11 schematisch dargestellt. Zunächst erfolgte die Zuweisung zu einer Teilnehmernummer zwischen 1 und 60, was auf Grund des Studiendesigns notwendig war (vgl. Abschnitt 3.2.5.3). Die Zuweisung zu einer Teilnehmernummer wurde randomisiert durch Urnenziehung vorgenommen. Vor dem Beginn des ersten Durchgangs wurden den Teilnehmern die Aufgabe und der Studienablauf erklärt. Die Geruchsstoffe wurden entsprechend der auf den Teilnehmerbögen vorgegebenen Abfolgen präsentiert.

Tabelle 3-11: *Abfolge der Studiendurchführung.*

1.	**Einführung** (Begrüßung, Versuchsinformationen, Ausschlusskriterien, Einverständnis, Einführung in die Aufgabe)
2.	**Erster Durchgang** • Präsentation Vanillin-Referenzgeruch • Präsentation der drei Konzentrationsstufen des ersten Geruchsstoffs • Auswahl einer passenden Konzentrationsstufe durch den Teilnehmer • Valenzrating für den ersten Geruchsstoff
3.	**Zweiter Durchgang** • Präsentation Vanillin-Referenzgeruch • Präsentation der drei Konzentrationsstufen des zweiten Geruchsstoffs • Auswahl einer passenden Konzentrationsstufe durch den Teilnehmer • Valenzrating für den zweiten Geruchsstoff
4.	**Dritter Durchgang** • Präsentation Vanillin-Referenzgeruch • Präsentation der drei Konzentrationsstufen des dritten Geruchsstoffs • Auswahl einer passenden Konzentrationsstufe durch den Teilnehmer • Valenzrating für den dritten Geruchsstoff
5.	**Vierter Durchgang** • Präsentation Vanillin-Referenzgeruch • Präsentation der drei Konzentrationsstufen des vierten Geruchsstoffs • Auswahl einer passenden Konzentrationsstufe durch den Teilnehmer • Valenzrating für den vierten Geruchsstoff
6.	**Fünfter Durchgang** • Präsentation Vanillin-Referenzgeruch • Präsentation der drei Konzentrationsstufen des fünften Geruchsstoffs • Auswahl einer passenden Konzentrationsstufe durch den Teilnehmer • Valenzrating für den fünften Geruchsstoff
7.	**Valenzrating für den Vanillin-Referenzgeruch**
8.	**Abschluss** (Abschließendes Gespräch mit Teilnehmern zur Klärung offener Fragen des Teilnehmers

Anmerkungen. Die Zuweisung der Geruchsstoffe zu den 5 Durchgängen erfolgte entsprechend des Studiendesigns (Abschnitt 3.2.5.3).

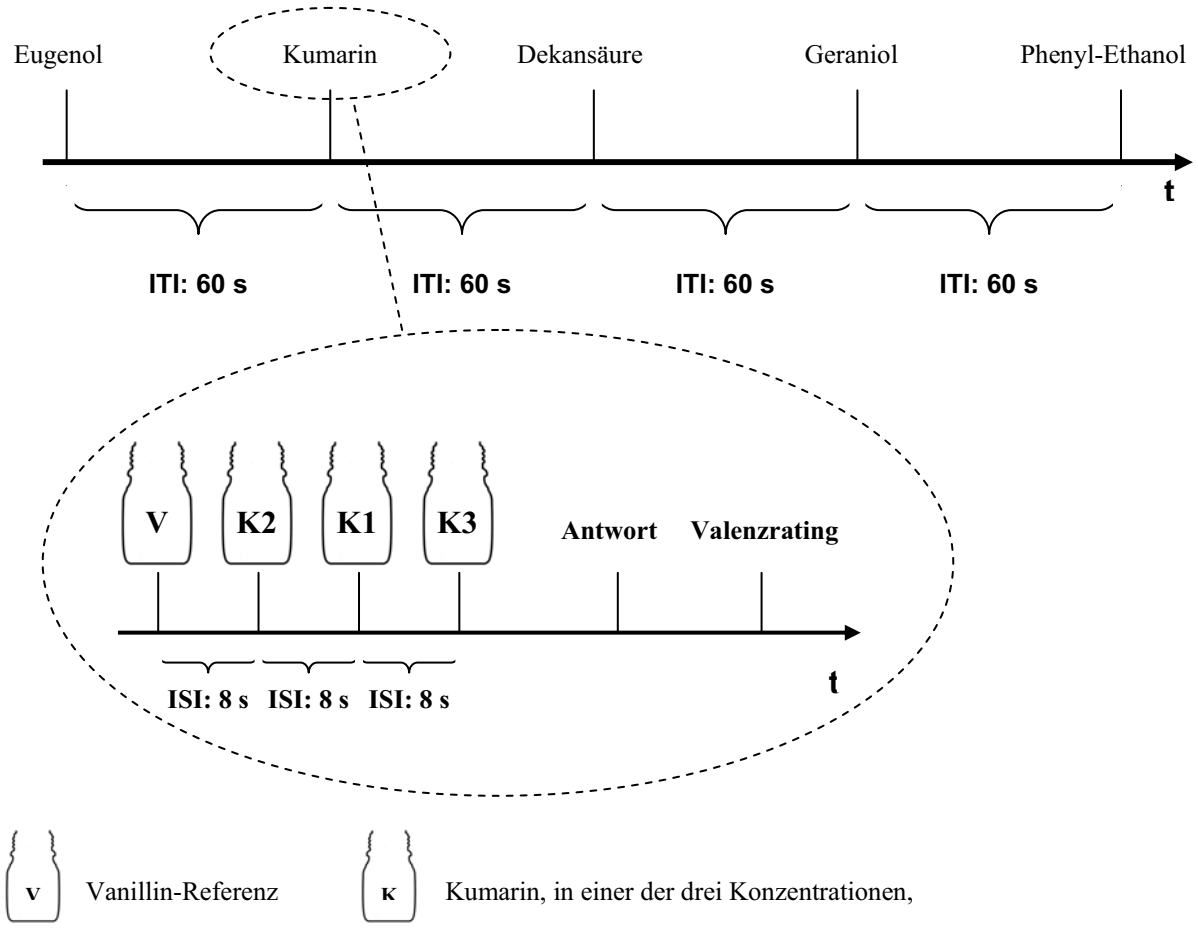


Abbildung 3-12: Zeitliche Abfolge der Geruchspräsentation. Die Intervalle zwischen den Konzentrationsstufen eines Geruchsstoffs sind exemplarisch für Kumarin dargestellt. Die Abfolge der Geruchsstoffe, sowie die Reihenfolge der drei Konzentrationsstufen für Kumarin sind beispielhaft gewählt und können durch jede andere Reihenfolge ersetzt werden. ISI gibt das Zwischen-Stimulus-Intervall und ITI das Zwischen-Durchgangs-Intervall an.

In jedem Durchgang wurden den Teilnehmern immer zunächst der Vanillin-Referenzgeruchsstoff und anschließend die drei Konzentrationsstufen des jeweiligen Geruchsstoffs präsentiert. Die Teilnehmer erhielten die Instruktion an allen Geruchsstoffen mit einem einzigen, natürlichen Atemzug zu riechen (Single-Sniff). Das Zwischen-Stimulus-Intervall (ISI), das heißt das zeitliche Intervall zwischen dem Riechen an zwei Flaschen eines Durchgangs, wurde auf 8 Sekunden festgelegt. Das Zwischen-Durchgangs-Intervall (ITI), das heißt das Intervall zwischen zwei Durchgängen mit verschiedenen Geruchsstoffen wurde auf 60 Sekunden gesetzt. Die Einhaltung dieser Intervalle wurde mit einer Stoppuhr kontrolliert. Nachdem die Teilnehmer in jedem Durchgang an dem Vanillinreferenzgeruchsstoff und anschließend an den drei Konzentrationsstufen des jeweiligen Geruchsstoffs gerochen hatten, wurden in beiden Gruppen zunächst die Antwort und dann das Valenzrating des Geruchs-

stoffs erfasst (vgl. Abschnitt 3.2.5.2). Eine Darstellung des zeitlichen Ablaufs findet sich in Abbildung 3-12. Die ITI, das heißt das Intervall zwischen zwei Durchgänge wurden auf mindestens 60 Sekunden festgelegt um Transfereffekte zwischen den Geruchsstoffen zu unterbinden und auch mögliche Kreuzadaptationen zwischen Geruchsstoffen zu reduzieren. Die ISI, das heißt das Intervall zwischen den Präsentationen der Geruchsstoffe in einem Durchgang wurden mit 8 Sekunden aus dem Grund relativ kurz gewählt, da die Teilnehmer alle drei Konzentrationsstufen in ihrem Gedächtnis speichern und vergleichen mussten. Am Ende des Versuchs hatten die Versuchspersonen die Möglichkeit sich über die Studie zu informieren.

3.2.7 Hypothesen

Für die Ergebnisse wurde erwartet, dass für jeden Geruch jeweils eine der drei vorgegebenen Konzentrationen häufiger gewählt wird, als die beiden anderen. Bei 60 Teilnehmern würden bei einer Gleichverteilung der Antworten alle drei Konzentrationsstufen die gleichen absoluten Häufigkeiten (h_1, h_2 und h_3) von 20 Antworten besitzen. Da keine Gleichverteilung erwartet wurde, lauten die Null- und Alternativhypothese folglich:

Nullhypothese: Die Wahrscheinlichkeit für die Auswahl einer Konzentrationsstufe ist bei jedem Geruch gleichverteilt. Daraus folgt:
$h_1 = h_2 = h_3$.

Alternativhypothese: Die Wahrscheinlichkeit für die Auswahl einer Konzentrationsstufe weicht bei jedem Geruch von einer Gleichverteilung ab. Daraus folgt: mindestens ein $h_i \neq h_j$ mit $i \neq j$ (i und j kennzeichnen unterschiedliche Konzentrationsstufen).

Die inferenzstatistische Auswertung wurde für jeden der fünf Gerüche Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol und Dekansäure mit einem Chi-Quadrat-Test gegen die Gleichverteilung von 20 Antworten für jede Konzentrationsstufe getestet. Das α-Niveau wurde für jeden Test auf .05 festgesetzt.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SPSS 16.0. Auf Grund der Datenstruktur wurden nonparametrische Testverfahren angewendet. Die Bestimmung der Effektstärken w für den Chi-Quadrat-Test erfolgte mit dem Programm G-Power 3 (Faul, Erdfel-

der, Lang & Buchner, 2007). Entsprechend Cohen (1988) gelten die Konventionen, dass 0,1 einen kleinen, 0,3 einen mittleren und 0,5 einen großen Effekt aufzeigt.

3.3 Ergebnisse

In diesem Absatz werden die Ergebnisse dargestellt. Zunächst erfolgt die hypothesengeleitete Auswertung. Die Auswertung der Valenzen wird im Anschluss dargestellt. Abschließend erfolgt eine explorative Datenanalyse für die Faktoren Geschlecht und Rauchen.

3.3.1 Hypothesengeleitete Auswertung

Die Aufgabe der Teilnehmer bestand darin, für jeden Geruchsstoff jeweils eine von drei Konzentrationsstufen auszuwählen, bei der die Intensität am ähnlichsten zu der Intensität des Vanillin-Referenzgeruchsstoffs ist. Abbildung 3-12 zeigt die Verteilung der Antworten der 60 Studienteilnehmer auf die drei Konzentrationsstufen der Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol und Dekansäure für die abhängige Variable Antwort.

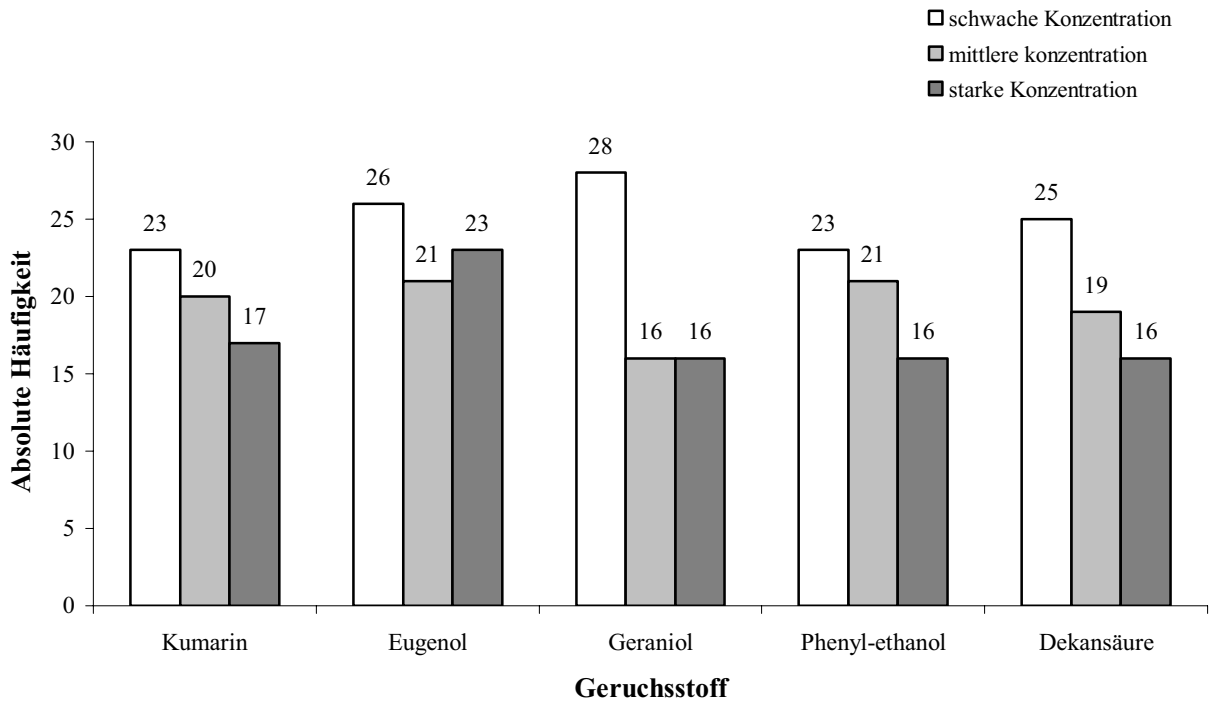


Abbildung 3-13: Absolute Häufigkeiten für die Abhängige Variable Antwort.

Die inferenzstatistische Auswertung ergab, dass für keinen der fünf Gerüche eine der drei Antwortalternativen überzufällig häufig gewählt wurde (Tabelle 3-14).

Tabelle 3-14: *Abweichung der Verteilung der gewählten Konzentrationsstufen von einer Gleichverteilung.*

Geruchsstoff	χ^2	***df***	***p***	***w***
Kumarin	0,90	2	0,638	0,12
Eugenol	4,30	2	0,116	0,27
Geraniol	4,80	2	0,091	0,28
Phenyl-Ethanol	1,30	2	0,522	0,15
Dekansäure	2,10	2	0,350	0,19

*Anmerkung*Dargestellt sind die χ^2-Werte für die Abweichung der Verteilung der Antworten auf die drei Konzentrationsstufen von einer Gleichverteilung, sowie die zugehörigen *p*-Werte und Effektgrößen, getrennt nach Geruchsstoff.

Es zeigte sich damit, dass keine der für jeden Geruchsstoff vorgegeben Konzentrationsstufen von den Teilnehmern überzufällig häufig als zu der Vanillin-Konzentration passend gewählt wurde. Selbst für den Geruchsstoff Geraniol, bei dem 28 Teilnehmer die niedrigste Konzentration gewählt haben, wurde das Ergebnis nicht signifikant.

3.3.2 Post-hoc Auswertungen

3.3.2.1 Auswertung der Abhängigen Variable Valenz

Abbildung 3-15 zeigt, wie häufig die sechs Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol, Dekansäure und Vanillin jeweils als angenehm und unangenehm bewertet wurden. Für alle Geruchsstoffe wurde ein Chi-Quadrat-Test auf Gleichverteilung der beiden Kategorien angenehm und unangenehm gerechnet. Für alle Geruchsstoffe wich das Antwortmuster von einer Gleichverteilung ab (Tabelle 3-16). Damit können die Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Vanillin und Phenyl-Ethanol als angenehm und Dekansäure als unangenehm eingestuft werden.

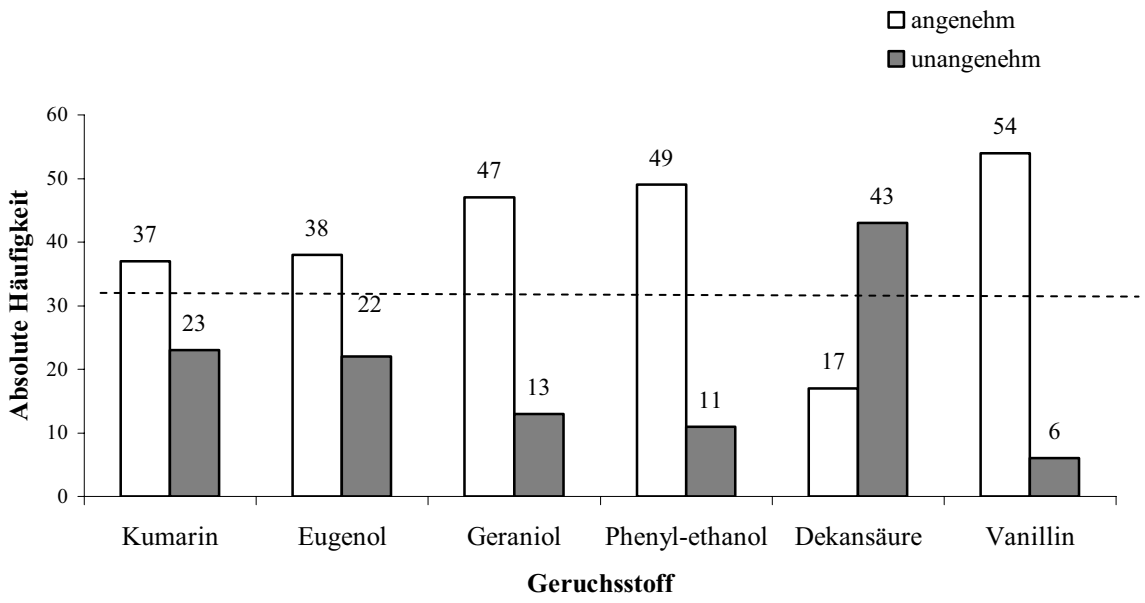


Abbildung 3-15: Valenzratings für die sechs Geruchsstoffe.

Tabelle 3-16: *Abweichung der Verteilung der Valenzratings von einer Gleichverteilung.*

Geruchsstoff	χ^2	***df***	***p***	***w***
Kumarin	3,27	1	0,071	0,24
Eugenol	4,27	1	0,039	0,28
Geraniol	19,27	1	< 0,001	0,69
Phenyl-Ethanol	24,07	1	< 0,001	0,82
Dekansäure	11,27	1	0,001	0,48
Vanillin	38,40	1	< 0,001	1,33

Anmerkungen. Dargestellt sind die χ^2-Werte für die Abweichung der Verteilung der Antworten für die Valenzratings von einer Gleichverteilung, sowie die zugehörigen *p*-Werte und Effektgrößen, getrennt nach Geruchsstoff.

Wie in der Einleitung bereits beschrieben wurde, wird davon ausgegangen, dass die Valenz eines Geruchsstoffs mit dessen wahrgenommenen Intensität interagiert. Aus diesem Grund

wurden die Korrelationen zwischen den Valenz- und Intensitätsratings bestimmt. Wenn dieser Zusammenhang besteht ist es ebenso plausibel, dass die Valenz bedingen kann, wie sensitiv Konzentrationsunterschiede wahrgenommen werden können. Daher wurde für jeden Geruchsstoff die Korrelation zwischen den Valenzratings und den gewählten Konzentrationsstufen mit Spearman's Rangkorrelationskoeffizient bestimmt (r_s). Für keinen Geruchsstoff zeigte sich ein signifikanter korrelativer Zusammenhang zwischen den abhängigen Variablen Valenz und Antwort (Tabelle 3-17). Die Wahl einer Konzentrationsstufe stand somit bei keinem Geruchsstoff in einem linearen Zusammenhang mit der wahrgenommen Valenz.

Tabelle 3-17: *Korrelation zwischen den Valenzratings und den gewählten Konzentrationsstufen.*

Geruchsstoff	**r_s**	***p*-Wert**
Kumarin	0,05	0,671
Eugenol	-0,19	0,119
Geraniol	-0,15	0,216
Phenyl-Ethanol	-0,03	0,806
Dekansäure	-0,01	0,923

Anmerkungen. Dargestellt sind die Korrelationen zwischen den Valenz- und den Intensitätsratings. Eine positive Korrelation zeigt, dass eine höhere Konzentrationsstufe gewählt wurde, wenn der Geruchsstoff als angenehm bewertet wurde (n = 60).

3.3.2.2 Einfluss des Faktors Geschlecht

Es wurde post-hoc ausgewertet ob es einen Einfluss des Faktors Geschlecht gegeben hatte. Die Auswertung wurde mit einem Chi-Quadrat-Test vorgenommen, ob sich die Verteilung der Antworten zwischen beiden Geschlechtern unterscheidet. Tabelle 3-18 zeigt den Vergleich weiblicher und männlicher Teilnehmer. Wie den Chi-Quadrat-Werten entnommen werden kann, unterscheidet sich das Antwortverhalten zwischen den Geschlechtern nicht.

Tabelle 3-18: *Verteilung der gewählten Konzentrationsstufen zwischen den Geschlechtern.*

		Konzentrationsstufe						
Geruchsstoff	**Geschlecht**	**1**	**2**	**3**	χ^2	***df***	***p***	***w***
Kumarin	w	13	8	9	1,25	1,2	0,535	0,31
	m	10	12	8				
Eugenol	w	10	13	7	2,65	1,2	0,266	0,44
	m	16	8	6				
Geraniol	w	15	9	6	1,39	1,2	0,498	0,34
	m	13	7	10				
Phenyl-Ethanol	w	12	10	8	0,09	1,2	0,955	0,08
	m	11	11	8				
Dekansäure	w	13	9	8	0,09	1,2	0,955	0,08
	m	12	10	8				

Anmerkungen. Dargestellt ist der Vergleich der Absoluten Häufigkeiten für die gewählten Konzentrationen für weibliche (w) und männliche (m) Teilnehmer, sowie die entsprechenden χ^2- und *p*-Werte und die Effektgröße.

3.3.2.3 Einfluss des Rauchverhaltens

Es wurde ebenfalls mit einem Chi-Quadrat-Test ausgewertet, ob es Unterschiede in der Verteilung der gewählten Konzentrationsstufen zwischen Rauchern und Nichtrauchern gegeben hatte. Unter den Teilnehmern befanden sich 15 Raucher und 45 Nichtraucher. Wie auch für den Vergleich weiblicher und männlicher Teilnehmer gab es keinen Unterschied in dem Muster gewählter Konzentrationsstufen zwischen Rauchern und Nichtrauchern (Tabelle 3-19). Allerdings wird der Vergleich für den Geruchsstoff Kumarin fast statistisch bedeutsam. Für diesen Geruchsstoff wählten Raucher eher schwache und mittlere Konzentrationsstufen, während sich die Antworten der Nichtraucher auf alle Konzentrationsstufen verteilten.

Tabelle 3-19: *Verteilung der gewählten Konzentrationsstufen zwischen Rauchern und Nichtrauchern.*

		Konzentrationsstufe						
Geruchsstoff	**Geschlecht**	**1**	**2**	**3**	χ^2	***df***	***p***	***w***
Kumarin	R	6	8	1	5,73	1,2	0,057	1,18
	NR	17	12	16				
Eugenol	R	6	6	3	0,22	1,2	0,896	0,14
	NR	20	15	10				
Geraniol	R	7	5	3	0,67	1,2	0,717	0,25
	NR	21	11	13				
Phenyl-Ethanol	R	6	7	2	2,13	1,2	0,345	0,54
	NR	17	14	14				
Dekansäure	R	6	5	4	0,03	1,2	0,985	0,05
	NR	19	14	12				

Anmerkungen. Dargestellt ist der Vergleich der Absoluten Häufigkeiten für die gewählten Konzentrationen für Raucher (R) und Nichtrauchern (NR), sowie die entsprechenden χ^2- und *p*-Werte und die Effektgröße.

3.3.3 Bestimmung des geometrischen Mittels

Das Ziel dieser Studie bestand darin, abschließend für jeden der fünf Geruchsstoffe eine Intensität zu erhalten, bei der die subjektiv wahrnehmbare Intensität zu der Intensität von Vanillin in einer Konzentration von 1:10 maximal ähnlich ist. Da keine der Antwortalternativen überzufällig häufig gewählt wurde, besteht eine Alternative darin, einen Mittelwert für jeden Geruchsstoff zu bilden. Auf Grund des logarithmischen Zusammenhangs zwischen den Konzentrationen wurde für jeden Geruchsstoff, das geometrische Mittel mit der Formel

$$\overline{X}_{geom} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} X_i}$$

berechnet (Bortz, 1999). Für alle sechs Geruchsstoffe lag jeweils die mittlere der vorgegebenen Konzentrationen am nächsten zum geometrischen Mittel, so dass die jeweils mittlere Konzentration als am besten passend zum Vanillinreferenzgeruchsstoff gewertet werden kann, und in den weiteren Studien als Ausgangskonzentration verwendet werden könnte. (Tabelle 3-20).

Tabelle 3-20: *Geometrische Mittel.*

Geruchsstoff	$\overline{X}_{geom}$	Gewählte Konzentration
Kumarin	1:5,26	1:5
Eugenol	1:46,51	1:40
Geraniol	1:45,87	1:40
Phenyl-Ethanol	1:12,03	1:10
Dekansäure	1:44,44	1:40

Anmerkungen. Für jeden Geruchsstoff wurde aus den Daten der Studie das geometrische Mittel bestimmt und die Konzentrationen ausgewählt, die am nächsten am geometrischen Mittel lag. Die geometrischen Mittel und die gewählten Konzentrationen sind in dieser Tabelle dargestellt.

3.4 Diskussion

Die Auswertung der Daten hatte ergeben, dass für keinen Geruchsstoff eine der drei vorgegebenen Konzentrationsstufen überzufällig häufig gewählt wurde. Damit konnte die Nullhypothese, dass sich das Antwortverhalten von einer Gleichverteilung unterscheidet nicht verworfen werden. Die post-hoc durchgeführten Analyen bezüglich möglicher Einflussfaktoren auf die Ergebnisse konnten keinen Hinweis darauf erbringen, dass das Geschlecht oder das Rauchverhalten einen Einfluss auf die Ergebnisse der Fragestellung gehabt haben. Im Folgenden werden die Ergebnisse in Bezug auf deren interne und externe Validität sowie deren Implikation für die weitere Testentwicklung diskutiert.

3.4.1 Diskussion der internen Validität

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass für keinen Geruchsstoff eine der drei vorgegebenen Konzentrationsstufen überzufällig häufig gewählt wurde. In erster Linie stellt sich somit die Frage, ob Versäumnisse in der Versuchsplanung die interne Validität gefährden.

3.4.1.1 Bedeutung der post-hoc-Analysen

Die post-hoc-Analysen der Daten in beiden Gruppen konnten keinen Hinweis darauf erbringen, dass es einen Einfluss des Geschlechts oder des Rauchverhaltens gibt. In den folgenden Studien soll dennoch der Faktor Geschlecht weiterhin balanciert bleiben, da es möglich sein kann, dass sich Geschlechtseffekte in anderen Paradigmen zeigen. Auch die Teilnahme von Rauchern kann kritisch angesehen werden. Zwar erhöht die Teilnahme von Rauchern an dieser Studie die externe Validität, jedoch gäbe es Interpretationsschwierigkeiten in Bezug auf die interne Validität, wenn sich Unterschiede gezeigt hätten.

Des Weiteren gab es für keinen Geruchsstoff einen korrelativen Zusammenhang zwischen den gewählten Konzentrationsstufen und den Valenzratings. Dieses Ergebnis scheint im Widerspruch zu den Studien zu stehen, die im Theoretischen Hintergrund beschrieben wurden und die einen deutlichen Zusammenhang zwischen Intensitäts- und Valenzratings nahe legen. In der Studie von Distel und Mitarbeiter (Distel et al., 1999) zeigte sich, dass es einen linearen Zusammenhang zwischen den hedonischen Stärke und den Intensitätsratings gibt. Da in der hier durchgeführten Studie für die Valenzratings nur die beiden Kategorien angenehm und unangenehm vorgegeben wurden, muss in Betracht gezogen werden, dass die fehlende Abstufung in Bezug auf die hedonische Stärke dazu führt, dass kein Zusammenhang zwischen den

Valenz- und Intensitätsratings nachgewiesen werden kann. In einer folgenden Studie, in der ein Einfluss der Valenz untersucht werden soll, empfiehlt es sich daher, mehrere Abstufungen zwischen den bipolaren Kategorien *angenehm* und *unangenehm* zu erfassen oder die Dimensionen „Angenehmheit“ und „Unangenehmheit“ auf zwei unipolaren Skalen zu erfassen. Eine weitere Abhängige Variable, die erfasst werden könnte, ist die Bekanntheit. In der Studie von Distel (Distel et al., 1999) zeigten sich positive Korrelationen für alle Zusammenhänge zwischen Intensität, Valenz und Bekanntheit. Im Zusammenhang mit der Bekanntheit der Geruchsstoffe kamen Distel und Hudson (2001) darüber hinaus zu dem Ergebnis, dass Gerüche die nicht nur als bekannt gewertet werden, sondern darüber hinaus auch noch identifiziert werden können, als intensiver und angenehmer bewertet werden. Es könnte vermutet werden, dass auf Grund der positiven Korrelationen zwischen Intensität, Valenz und Bekanntheit das Konzept der Bekanntheit nicht erfasst werden müsste, da es im gleichen Zusammenhang zu der wahrgenommen Intensität steht, wie die Valenz, jedoch zeigte sich in einer aktuellen Studie von Deplanque und Mitarbeitern (Deplanque et al., 2008), dass der lineare Zusammenhang zwischen Valenz und Bekanntheit nicht für unangenehme Gerüche gilt, so dass beide Kategorien getrennt von einander erfasst werden sollten. Als weitere Erklärung muss in Betracht gezogen werden, dass die Konzentrationsunterschiede zwischen den Konzentrationsstufen nicht groß genug waren, so dass sich die Valenz mit den Konzentrationsstufen auch nicht verändert hatte.

3.4.1.2 Kontrolle von top-down-Einflüssen

Wie im Theoretischen Hintergrund bereits beschrieben wurde, zeigt sich auf Ebene der ORN, dass eine längere Stimulation zu einem gleichen Effekt führt, wie eine Stimulation mit höheren Konzentrationen (Firestein & Werblin, 1989). Ebenso zeigte sich, dass die subjektiven Intensitätsratings bei Reizen, für die eine unterschiedliche Gesundheitsgefährdung angenommen wird, vergleichbar sind, wenn die Teilnehmer den Geruchsstoff frei inhalieren können, allerdings in Abhängigkeit der eingeschätzten Gefährdung variieren, wenn die Stimulationsdauer kontrolliert wird (Dalton, 1996). Es könnte möglich sein, dass die Teilnehmer unterschiedliche Bedenken bezüglich einer potentiellen Gefährdung durch die Geruchsstoffe besaßen und sie folglich an verschiedenen Geruchsstoffen unterschiedlich stark gerochen haben. In diesem Fall wären die Ergebnisse in beiden Aufgaben stark mit top-down Mechanismen konfundiert. Frasnelli und Mitarbeiter (Frasnelli, Wohlgemuth & Hummel, 2006) zeigten für olfaktorisch evozierte Potentiale auch auf kortikaler Ebene den Zusammenhang zwischen

Stimulationsdauer und Intensitätsverarbeitung. Allerdings verglichen sie Stimulationszeiten von 100, 200 und 300 ms. Laing (1985) wies hingegen nach, dass eine Stimulationsdauer ab 640 ms zu keiner bedeutsamen weiteren Zunahme der subjektiv wahrnehmbaren Intensität führt. Die praktikabelste Lösung, um die Stimulationsdauer zu kontrollieren ohne ein Olfaktometer einsetzten zu müssen, würde somit zum einen darin bestehen, die Teilnehmer noch ausführlicher darüber zu informieren, dass keine Gefährdung durch die Geruchsstoffe besteht. Zum anderen könnten die Teilnehmer vor Beginn der Studie darauf trainiert werden, Geruchsstoffe für ein vorgegebenes Zeitintervall zu inhalieren. Da Widerstände im Luftfluss durch die Nase auch einen Einfluss auf die Intensitätswahrnehmung besitzen (Youngentob, Stern, Mozell, Leopold & Hornung, 1986) könnte diese durch Nasenaufsätze angepasst werden, die eine Dilatation der Nasenflügel bewirken (Hornung, Chin, Kurtz, Kent und Mozell, 1997).

Darüber hinaus könnte es von Interesse sein, auch den emotionalen Zustand der Teilnehmer mit zu erfassen. Pollatos und Mitarbeiter (Pollatos, Kopietz, Linn, Albrecht, Sakar, Anzinger, Schandry und Wiesmann, 2007) konnte zeigen, dass ein negativer emotionaler Zustand, der durch IAPS-Bilder induziert wurde, einen Einfluss auf die Sensitivität für Geruchsstoffe besitzen kann. Des Weiteren beschrieben Pause und Krauel (Pause & Krauel, 2000), dass chemosensorisch evozierte Potentiale verschwinden können, wenn sich der Aufmerksamkeitsfokus der Teilnehmer, in diesem Fall auf eine weitere Aufgabe, verschiebt. Um möglichst unverfälschte Ergebnisse erhalten zu können wäre es somit auch ratsam, die Teilnehmer explizit darauf hinzuweisen, ihre Aufmerksamkeit auf die Aufgabe zu fokussieren.

3.4.1.3 Kontrolle der Unterscheidbarkeit der Konzentrationsstufen

Als dritter Diskussionspunkt muss in Betracht gezogen werden, dass die Teilnehmer nicht in der Lage waren, die drei Konzentrationsstufen, die für jeden Geruchsstoff vorgegeben wurden, zu unterscheiden. Im Vergleich zu den Konzentrationsunterschieden die im Phenyl-Ethanol-Schwellentest verwendet werden (Doty et al., 1987) wurden die Konzentrationsunterschiede in dieser Studie geringer gewählt. So betragen die Konzentrationsunterschiede im Phenyl-Ethanol-Schwellentest eine ganze Zahl des halben Zehner-Logarithmus, während in dieser Studie Abstände gewählt wurden, die dem Abstand einer ganzen Zahl zum Logarithmus mit der Basis 2 entsprechen. Folglich würde ein schwerer Fehler in der Versuchsplanung vorliegen und auch die Bildung eines Mittelwerts über alle gewählten Konzentrationsstufen wäre nicht zulässig. Da die Schaffung vergleichbarer Intensitäten beziehungsweise Konzent-

rationen der sechs Geruchsstoffe essentiell für die weitere Testentwicklung ist, muss dieser Aspekt in einer weiteren Studie eingehend geprüft werden.

3.4.2 Diskussion der externen Validität

Wie bisher im Theoretischen Hintergrund beschrieben wurde, gibt es große interindividuelle Unterschiede in Bezug auf die Geruchswahrnehmung und dies ins Besondere auch in Bezug auf die Wahrnehmung von Geruchsintensitäten. Folglich könnte hierin de Erklärung für die hohe Variabilität in den gewählten Konzentrationen liegen. Wenn der im vorangehenden Abschnitt 3.4.1.3 angeführte Aspekt geprüft wäre und davon ausgegangen werden könnte, dass die vorgegeben Konzentrationsstufen unterscheidbar wären, würden die Ergebnisse die hohen interindividuellen Unterschiede in der Geruchswahrnehmung widerspiegeln. Dies würde für eine hohe externe Validität der Ergebnisse dieser Studie sprechen.

Des Weiteren spricht für die externe Validität, dass einerseits Raucher von der Teilnahme an der Studie nicht ausgeschlossen wurden. Andererseits wurde auch die Prozedur relativ einfach gestaltet. Die Teilnehmer erhielten mit Ausnahme der Beschränkung, nur einen Atemzug zum Riechen verwenden zu dürfen, keine Vorgaben in Bezug auf eine unnatürliche Riechtechnik. Die Geruchsstoffe wurde ebenfalls nicht in die Nase der Teilnehmer geblasen, sondern die Teilnehmer hatten die Aufforderung aktiv an den Geruchsstoffen zu riechen, wie es auch im Alltag der Fall ist. Einschränkungen erfährt die externe Validität ausschließlich dadurch, dass die Aufgabenstellung per se, nämlich Geruchsintensitäten zwischen Geruchsstoffen mit unterschiedlichen Konzentrationen zu abzugleichen, nicht Teil des Alltags ist.

3.4.3 Ausblick

3.4.3.1 Veränderungsmöglichkeiten im Versuchsaufbau

Zunächst könnte es von Interesse sein, die Ergebnisse zu replizieren um eine Kreuzvalidierung der Ergebnisse vornehmen zu können. Hierbei könnte auch variiert werden, welcher der sechs Geruchsstoffe als Referenzgeruchsstoff vorgegeben wird. Um die Reliabilität der Ergebnisse entscheidend verbessern zu können, könnte auch ein Training der Teilnehmer vor dem Beginn der Studie erfolgen. Nachnani und Mitarbeiter (Nachnani, Majerus, Lenton, Hodges & Magallanes, 2005) wiesen einen positiven Trainingseffekt auf die Intensitätsratings nach. Die Teilnehmer wurden in einem Theorieteil über die Geruchswahrnehmung geschult

und durchliefen ebenfalls einen praktischen Teil, in dem die theoretischen Grundlagen praktisch vertieft werden konnten. Die Bewertungen der Intensitäten in den folgenden Testdurchgängen für neue Geruchsstoffe besaßen wesentlich höhere Reliabilitäten unabhängig von den individuellen Erfahrungen der Teilnehmer. Diese Studie liefert viel versprechende Möglichkeiten, um die Reliabilität der subjektiven Intensitätsbewertung zu erhöhen.

3.4.3.2 Fortschritte in der Genetik

Viel versprechende Möglichkeiten könnten zukünftig die Fortschritte in der Genetik liefern und somit dazu beitragen, dass das methodische Vorgehen verbessert wird und Alternativerklärungen ausgeschlossen werden können. Da jedes ORN nur ein Rezeptorgen exprimiert (Serizawa, Miyamichi, & Sakano, 2004), ist es möglich, in vivo die Reaktionen eines spezifischen ORNs auf verschiedene Geruchsstoffe zu untersuchen. Für den mOR-EG, einen olfaktorischen Rezeptor der Maus für Eugenol, ist bekannt, dass es für diesen 25 verschiedene Agonisten und 3 verschiedene unterschiedlich potente Antagonisten gibt (Oka, Nakamura, Watanabe & Touhara, 2004; Oka et al., 2004). Das Wissen aus den Studien über die Eigenschaften der OR und ORN und deren Sensitivität für bestimmte Geruchsstoffe kann folglich weitergehend genutzt werden, um auch höhere Ebenen der Geruchswahrnehmung zu untersuchen. So untersuchten Oka und Mitarbeiter (Oka,, Katada, Omura, Suwa, Yoshihara & Touhara, 2006) bei transgenen Mäusen die Sensitivität von Glomeruli im BO, die unter anderem durch das ORN innerviert werden, das den mOR-Eg exprimiert. Da diese Aktivierung durch das spezielle ORN im BO lokalisiert werden kann, konnten sie zum einen nachweisen, dass sich die räumliche Kodierung eines Geruchs zwischen den Individuen stark unterscheidet. Dieses Ergebnis untermauert die hohe interindividuelle Variation bei der Geruchsverarbeitung. Zum anderen konnten sie zeigen, dass sich die Sensitivität des ORN in vitro von der in vivo unterscheidet. Mediierend sind hierfür Faktoren wie die Strömungsgeschwindigkeit und die Transduktion der Geruchsmoleküle durch die Mukosa. Dennoch kann das Wissen über das Genom eines Menschen und damit über dessen genetische Prädisposition dazu genutzt werden, Vorhersagen über dessen Geruchsleistungen treffen zu können. Keller und Mitarbeiter (Keller, Zhuang, Chi, Vosshall & Matsunami, 2007) untersuchten die Responsivität des OR7D4 WM Rezeptors auf verschiedene Geruchsstoffe und kamen zu dem Ergebnis, dass dieser selektiv auf Androstenon und Androstadienon reagiert. Die Variationen im Genotyp verschiedener Teilnehmer bezüglich des Genabschnitts, auf dem dieser Rezeptor kodiert ist, bedingen die Sensitivität der Teilnehmer für Androstenon und Androstadienon, sowie deren

Valenzratings. Mit dem zunehmenden Wissen über die genetischen Grundlagen könnten somit, zumindest theoretisch, zukünftig die Ergebnisse dieser Studie auch dahingehend untersucht werden, ob individuelle Unterschiede im Genom der Teilnehmer und der damit verbundenen Expression von ORN im Zusammenhang mit den gewählten Konzentrationsstufen stehen.

3.4.3.3 Gesamtbeurteilung und Verwendung der Ergebnisse in der weiteren Testentwicklung

Die Betrachtung der internen Validität ergibt keinen Hinweis darauf, dass die Ergebnisse durch andere Faktoren, in Folge von Unzulänglichkeiten in der Versuchsplanung hervorgerufen wurden. Die Frage, ob die Daten auch extern valide sind, muss differenziert betrachtet werden. Wie bereits diskutiert wurde, gibt es verschiedene Möglichkeiten, durch weitere Kontrollmechanismen die Annäherung an optimale Ergebnisse dahingehend zu verbessern, dass die Genauigkeit der subjektiven Bewertungen verbessert wird und Alternativerklärungen ausgeschlossen werden können. Eine zusätzlich Regulierung würde zwar einerseits dazu führen, dass die externe Validität der Ergebnisse dahingehend erhöht wird, dass verschiedene Einflussfaktoren kontrolliert werden, andererseits würde dies auch dazu führen, dass die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die spätere Testentwicklung verloren geht. So sollen die Teilnehmer in den späteren Testaufgaben die drei Mischgerüche in Flaschen präsentiert bekommen, an denen mit einem einzigen Atemzug („Single-Sniff“) gerochen werden soll und aus denen anschließend eine Flasche ausgewählt werden muss. Zudem sollen die Instruktionen für den späteren Test möglichst einfach gehalten werden und auch die Aufgabe an sich nicht mehr Kontrollmechanismen unterliegen, als unbedingt notwendig. Somit unterliegt die subjektive Wahrnehmung der Intensitäten in den späteren Mischgerüchen den gleichen Einflüssen, wie die subjektive Wahrnehmung der Intensitäten in dieser Studie. Wie bei der Frage nach der optimalen Messmethode steht damit die weitere Verwendung der Ergebnisse im Vordergrund. In Anbetracht der weiteren Verwendung der Ergebnisse, nämlich als Grundlage für die Generierung von Mischgerüchen, besitzt diese Studie somit eine hohe externe Validität.

3.4.3.4 Schlussfolgerungen

Betrachtet man die biologischen Mechanismen sowie die Ergebnisse in psychophysiologischen und psychophysikalischen Studien, kann der Schluss gezogen werden, dass es sich bei der Verarbeitung von Geruchsintensitäten um einen hoch komplexen Mechanismus handelt. Je nach methodischer Herangehensweise und Fokus der Fragestellung müssen andere Interaktionen zwischen verschiedenen Ebenen berücksichtigt werden und auch andere Maßstäbe für die Validität der Ergebnisse gesetzt werden. Während Overbosch und DeJong (Overbosch & DeJong, 1989) noch versuchten die Intensitätswahrnehmung über eine allgemeingültige mathematische Formel zu beschreiben, beschränkten sich Lánský und Rospars (Lánský & Rospars, 1998) darauf, eine mathematische Formel für die Intensitätsverarbeitung auf Ebene des ersten und zweiten Neurons zu entwickeln. Zieht man aktuelle Ergebnisse hinzu, beschreibt auch letzterer Ansatz die Intensitätsverarbeitung nur unzulänglich. Im Gegenzug kann es allerdings, wie in dieser Studie gezeigt wurde, ausreichend sein, die Intensitätswahrnehmung mit einem psychophysikalischen Versuchsaufbau zu erfassen und dabei dennoch valide Ergebnisse zu erzeugen, die eine hohe Relevanz besitzen. Da es jedoch essentiell war, die Frage zu klären, ob die vorgegebenen Konzentrationsstufen bezüglich ihrer subjektiv wahrnehmbaren Intensität unterscheidbar waren, da hiervon die weitere Verwendung der Ergebnisse abhängig ist, musste dieser Aspekt in der nachfolgenden Studie geklärt werden.

4. Studie 2: Intensitätenordnen

4.1 Theoretischer Hintergrund

Wie in der Diskussion der vorangehenden Studie bereits beschriebe wurde, war es essentiell, die Frage zu klären, ob die in der Studie Intensitätsmatching vorgegeben Konzentrationsstufen unterscheidbar waren. Auch wenn es in der Literatur bisher keine Hinweise darauf gibt, wie gut Menschen in der Lage sind, Konzentrationen von Geruchsstoffen bezüglich ihrer Intensität zu ordnen, wurde in dieser Studie die Aufgabe gewählt, dass die Teilnehmer die in der vorangehenden Studie verwendeten Konzentrationsstufen für die Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol und Dekansäure bezüglich ihrer subjektiv wahrnehmbaren Intensität und damit auch bezüglich ihrer Konzentration ordnen mussten.

4.1.1 Fragestellung

Die Fragestellung dieser Studie lautete, ob die in der Studie Intensitätsmatching für jeden der fünf Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol und Dekansäure vorgegebenen Konzentrationsstufen hinreichend unterscheidbar waren, was über die Fähigkeit der Teilnehmer, die Konzentrationsstufen in Bezug auf ihre Intensität aufsteigend anzuordnen, operationalisiert wurde.

4.2 Methoden

4.2.1 Stichprobe

Die Studie wurde im Zeitraum vom 09. Februar bis zum 20. Februar 2007 in einem Studienraum der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf in der Abteilung für Biologische Psychologie und Sozialpsychologie mit 60 Teilnehmern durchgeführt. Die Teilnahme an der Studie erfolgte freiwillig. Auf Grund der kurzen Studiendauer von rund 10 Minuten wurden die Teilnehmer durch direkte Ansprache rekrutiert. Sie erhielten Informationen zu Zielen und Hintergründen der Studie, den Ablauf und die Aufgabe, den Gesundheitsschutz, die Dauer und Entlohnung, den Datenschutz sowie die Freiwilligkeit der Teilnahme. Alle Teilnehmer mussten nachdem sie über die Studie aufgeklärt wurden ihre mündlich Zustimmung geben, dass sie sich mit der Teilnahme einverstanden erklären. Der Faktor Geschlecht wurde wie bereits in der vorangehenden Studie balanciert. Als Ausschlusskriterien zählten die gleichen Ausschlusskriterien, die bereits in der Studie Intensitätsmatching festgelegt wurden (Alzheimer-Demenz, Parkinson-Erkrankung, Depression, Schizophrenie, Essstörungen, Epilepsie, Korsakow-Syndrom, Chorea-Huntington, Schädel-Hirn-Trauma, Multiple-Sklerose, HIV, neurochirurgische Eingriffe, Stoffwechselstörungen, Riechstörungen, Erkrankungen der Nase oder des oberen Respirationstrakts, grippale Infekt, akute Allergien, chirurgische Eingriffe im Bereich der Nase, regelmäßige Medikamenteneinnahme, Drogenkonsum, hormonelle Erkrankungen, chronische Erkrankungen und Behinderungen). Alle Teilnehmer versicherten nach Selbstauskunft, dass keines der Ausschlusskriterien zutreffend war. Den Interessenten dieser Studie wurden bei der Rekrutierung die Ausschlusskriterien mitgeteilt, so dass sich nur die Interessenten zur Teilnahme meldeten, auf die die Ausschlusskriterien nicht zutrafen. Raucher wurden in dieser Studie von der Teilnahme nicht ausgeschlossen um eine Vergleichbarkeit zwischen der ersten und der zweiten Studie zu gewährleisten. Als Kriterium für die Zuordnung eines Teilnehmers zu der Gruppe der Raucher wurde eine durchschnittliche Anzahl von mehr als sieben gerauchten Zigaretten pro Woche festgelegt. Es gab ebenfalls keine Altersgrenze. Die Teilnehmer waren zwischen 20 und 52 Jahre alt (M = 24,4, SD = 7,1). Männliche Teilnehmer (M = 24,8, SD = 5,4) und weibliche Teilnehmer (M = 24,07, SD = 4,1) unterschieden sich nicht in Bezug auf das Alter (t_{58} = 0,59, p = 0,556). 11 Teilnehmer rauchten, 6 davon waren weiblich. Die durchschnittliche Anzahl gerauchter Zigaretten betrug 10 Stück (SD = 5,3). Die Teilnehmer wurden durch persönliches Ansprechen an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf rekrutiert. Die Auswahl der Teilnehmer erfolgt zufällig. Als Auf-

wandsentschädigung für die Teilnahme an der Studie wurden den Teilnehmern nach der Studie Süßigkeiten ausgehändigt. Die Teilnahme erfolgte freiwillig.

4.2.2 Aufgabe

In der vorangehenden Studie bestand die Aufgabe der Teilnehmer darin, aus drei vorgegebenen Konzentrationsstufen für die Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol und Dekansäure eine Konzentrationsstufe auszuwählen, bei der die subjektiv wahrnehmbare Intensität am ähnlichsten zu der Intensität der Referenzgeruchsstoffs Vanillin in der Konzentration von 1:10 war. Es musste jedoch auch gewährleistet werden, dass die Studienteilnehmer in der Lage waren, die drei vorgegebenen Konzentrationsstufen zu unterscheiden, so dass auch bei der gefundenen Gleichverteilung der Antworten für die ausgewählten Konzentrationsstufen die Ergebnisse verwertbar sind. So wäre in diesem Fall die Berechnung des geometrischen Mittels zulässig, da sichergestellt ist, dass die Antworten der Versuchspersonen ihre subjektive Wahrnehmung der Intensitäten valide widerspiegeln. Aus diesem Grund wurde die Aufgabe vorgegeben, für jeden der fünf Geruchsstoffe die drei Konzentrationsstufen aus der vorangehenden Studie hinsichtlich ihrer Intensitäten aufsteigend zu ordnen.

4.2.3 Versuchsmaterial

4.2.3.1 Stimuli

Als Stimuli wurden die gleichen Geruchsstoffe in den gleichen Konzentrationen verwendet wie bereits in der ersten Studie Intensitätsmatching (Tabelle 4-1). Um die Aufgaben zwischen beiden Studien maximal ähnlich zu gestalten wurde den Teilnehmern vor jedem Durchgang auch der Vanillin-Referenzgeruch präsentiert, an dessen Intensität in der ersten Studie die Intensitäten der fünf Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol und Dekansäure angepasst werden sollten. Somit wurde neben den in Tabelle 4-1 aufgelisteten Geruchsstoffen auch der Geruchsstoff Vanillin in der Konzentration 1:10 verwendet. Die Stimuli wurden in gleicher Weise hergestellt wie die Stimuli in der Studie Intensitätsmatching (Abschnitt 3.2.4.1).

Tabelle 4-1: *Konzentrationsstufen der Geruchsstoffe.*

	schwache Konzentration	mittlere Konzentration	starke Konzentration
Kumarin	1:10	1:5	1:3,3
Eugenol	1:80	1:40	1:20
Geraniol	1:80	1:40	1:20
Phenyl-Ethanol	1:20	1:10	1:5
Dekansäure	1:80	1:40	1:20

Anmerkung. Dargestellt sind die für jeden Geruchsstoff vorgegebenen Konzentrationen. Die identischen Konzentrationen wurden ebenfalls in der ersten Studie „Intensitätsmatching" verwendet.

4.2.3.2 Präsentation der Geruchsstoffe

Es wurden die gleichen 50ml Braunglas-Weithalsflaschen verwendet wie in der Studie Intensitätsmatching (Abschnitt 3.2.4.2). Zum Riechen wurden die Flaschen mit den Geruchsstoffen auf dem Tisch vor dem Teilnehmer platziert. Die Teilnehmer mussten sich über die Geruchsproben beugen um an diesen zu Riechen. Die Flaschen wurden den Teilnehmern nicht angereicht um zu verhindern, dass diese auf Grund ihrer kleinen Größe verschüttet werden. Zunächst wurde in jedem Durchgang zu Beginn den Teilnehmern die Flasche mit dem Geruchsstoff Vanillin präsentiert. Nachdem an dieser gerochen wurde, wurde sie verschlossen und weggestellt. Anschließend wurden die drei Konzentrationsstufen des jeweiligen Geruchsstoffs auf dem Tisch platziert. Die Flaschen wurden im Abstand von 15cm von der Tischkante auf dem Tisch platziert. Der Abstand der drei Flaschen eines Geruchsstoffs zu einander betrug 40cm.

4.2.3.3 Teilnehmerbögen

Der verwendete Teilnehmerbogen ist in Anhang A2 abgebildet. Der Teilnehmerbogen war in seinem Aufbau identisch zu dem der Studie Intensitätsmatching mit dem einzigen Unterschied, dass ein anderes Antwortfeld verwendet wurde. Jeder Teilnehmer erhielt einen individuellen Teilnehmerbogen auf Grund des Studiendesigns (Abschnitt 4.2.4.3). Auf den Teilnehmerbögen war angegeben, in welcher Abfolge die fünf Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol,

Geraniol, Phenyl-Ethanol und Dekansäure präsentiert werden mussten. Die Geruchsstoffe waren untereinander, entsprechend einer durch das Studiendesign vorgegebenen Reihenfolge aufgelistet. Die Abfolge, in der die Konzentrationsstufen eines Geruchsstoffs präsentiert werden mussten war neben dem Geruchsstoff aufgelistet. Die Reihenfolge wurde über die Kodierung der Konzentrationsstufen auf den Flaschen angegeben. So erhielten die schwachen Konzentrationen die Nummer „1“, die mittleren die Nummer „2“ und die hohen Konzentrationen die Nummer „3“.

4.2.4 Design

4.2.4.1 Unabhängige Variable

Als unabhängige Variable wurde wie bereits in der Studie Intensitätsmatching für jeden Geruchsstoff die Variable „Konzentrationsstufe“ mit den jeweiligen drei Konzentrationsstufen „schwache Konzentration“, „mittlere Konzentration“ und „starke Konzentration“, entsprechend der drei Konzentrationsstufen eines jeden Geruchsstoffs variiert. Da die Auswertung für jeden Geruchsstoff im Zuge eines separaten Designs erfasst wurde, wurde keine weitere unabhängige Variable für die Variation der fünf Geruchsstoffe eingeführt.

4.2.4.2 Abhängige Variablen

Als abhängige Variablen dienten zum einen für jeden Geruchsstoff die nominalskalierte Variablen „Anordnung“ und es wurden die beiden Stufen erfasst, ob die Konzentrationsstufen richtig („1“) oder falsch („0“) angeordnet wurden. Als richtige Anordnung wurde eine aufsteigende Anordnung der Konzentrationsstufen in der Reihenfolge „1 - 2 - 3“ gewertet. Die fünf für jeden Geruchsstoff getrennt erfassten abhängigen Variablen wurden univariat ausgewertet. Zusätzlich wurde für jeden Geruchsstoff eine nominalskalierte abhängige Variable „Valenz“ erfasst. Hierfür mussten sich die Teilnehmer für eine der beiden Kategorien „angenehm“ und „unangenehm“ entscheiden. Wurde ein Geruchsstoff als angenehm bewertet, wurde dies mit einer „1“ kodiert, wurde er als unangenehm bewertet erfolgte die Kodierung mit dem Wert „0“. Auch für diese sechs Variablen erfolgte die Auswertung univariat. Auf Grund der Skalierung der Variablen erfolgte die Auswertung mit nonparametrischen Testverfahren.

4.2.4.3 Gegenbalancierungs-Design

Es wurde das gleiche Gegenbalancierungsdesign zu Grunde gelegt wie in der vorangehenden Studie. So wurde die Reihenfolge in der die Geruchsstoffe präsentiert wurden und die Anordnungen der drei Konzentrationsstufen gegenbalanciert (Abschnitt 3.2.5.3). Folglich waren beide Studien auch in Bezug auf das Studiendesign identisch aufgebaut.

4.2.5 Studiendurchführung

Tabelle 4-2: *Abfolge der Studiendurchführung.*

1. **Einführung** (Begrüßung, Versuchsinformationen, Ausschlusskriterien, Einverständnis, Einführung in die Aufgabe)
2. **Erster Durchgang**
   - Präsentation Vanillin-Referenzgeruch
   - Präsentation der drei Konzentrationsstufen des ersten Geruchsstoffs
   - Anordnung der Konzentrationsstufen durch den Teilnehmer
   - Valenzrating für den ersten Geruchsstoff
3. **Zweiter Durchgang**
   - Präsentation Vanillin-Referenzgeruch
   - Präsentation der drei Konzentrationsstufen des zweiten Geruchsstoffs
   - Anordnung der Konzentrationsstufen durch den Teilnehmer
   - Valenzrating für den zweiten Geruchsstoff
4. **Dritter Durchgang**
   - Präsentation Vanillin-Referenzgeruch
   - Präsentation der drei Konzentrationsstufen des dritten Geruchsstoffs
   - Anordnung der Konzentrationsstufen durch den Teilnehmer
   - Valenzrating für den dritten Geruchsstoff
5. **Vierter Durchgang**
   - Präsentation Vanillin-Referenzgeruch
   - Präsentation der drei Konzentrationsstufen des vierten Geruchsstoffs
   - Anordnung der Konzentrationsstufen durch den Teilnehmer
   - Valenzrating für den vierten Geruchsstoff
6. **Fünfter Durchgang**
   - Präsentation Vanillin-Referenzgeruch
   - Präsentation der drei Konzentrationsstufen des fünften Geruchsstoffs
   - Anordnung der Konzentrationsstufen durch den Teilnehmer
   - Valenzrating für den fünften Geruchsstoff
7. **Valenzrating für den Vanillin-Referenzgeruch**
8. **Abschluss** (Abschließendes Gespräch mit Teilnehmern zur Klärung offener Fragen des Teilnehmers

Anmerkungen. Die Zuweisung der Geruchsstoffe zu den 5 Durchgängen erfolgte entsprechend des Studiendesigns (Abschnitt 4.2.4.3).

Tabelle 4-2 zeigt die Abfolge, wie die Studie durchgeführt wurde. Zunächst erfolgte die Zuweisung zu einer Teilnehmernummer zwischen 1 und 60 durch Urnenziehung. Dieser Schritt war notwendig auf Grund des Studiendesigns (vgl. Abschnitt 4.2.4.3). Vor dem Beginn des ersten Durchgangs wurden den Teilnehmern ihre Aufgabe und der Studienablauf erklärt und es bestand für die Teilnehmer die Möglichkeit etwaige Rückfragen zu klären. Die Geruchsstoffe wurden entsprechend der vorgegebenen Abfolgen präsentiert, die auf den Teilnehmerbögen aufgeführt waren. Als Riechtechnik wurde auch in dieser Studie eine Single-Sniff-Prozedur vorgegeben. So durfte nur ein Atemzug zur Inhalation des Geruchs gemacht werden.

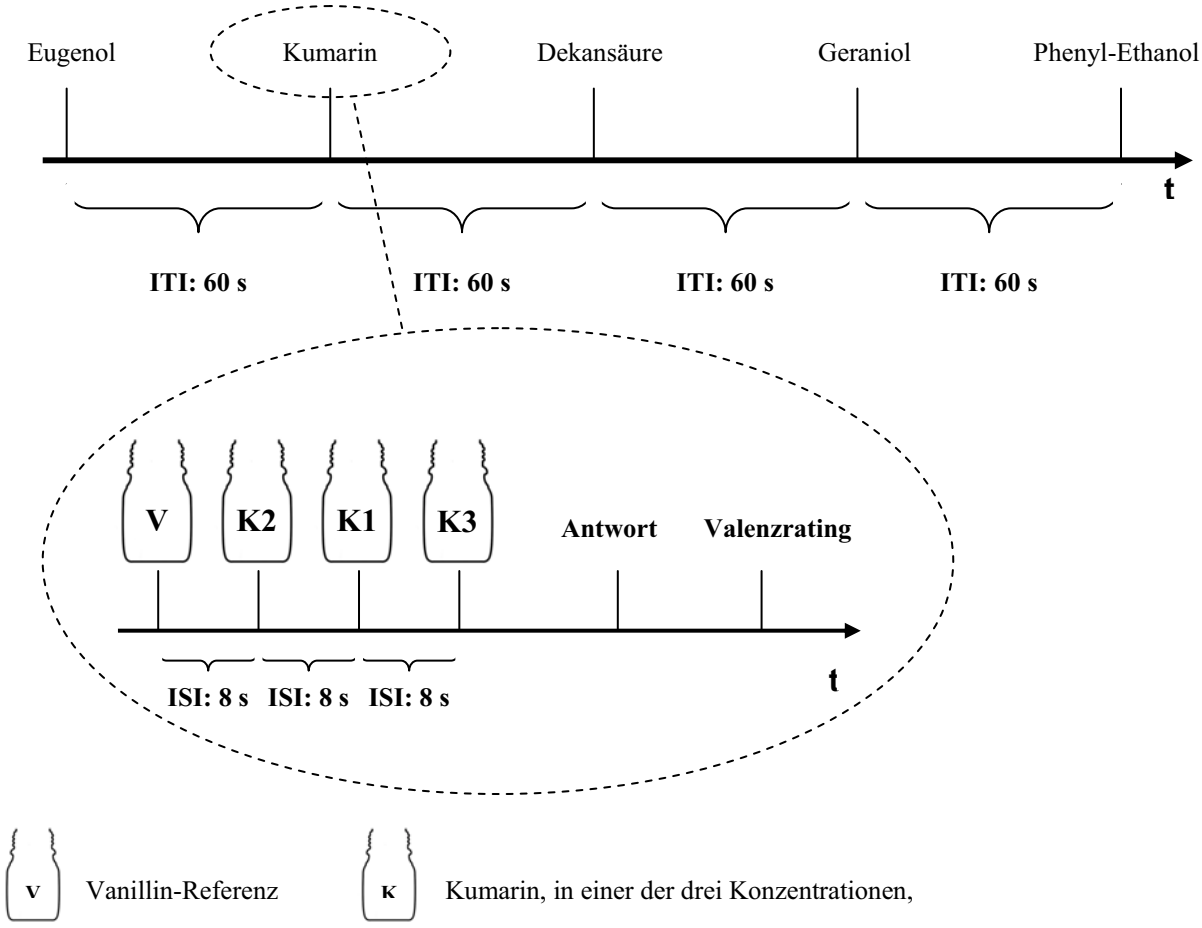


Abbildung 4-3: Abfolge der Geruchspräsentation. Die Intervalle zwischen den Konzentrationsstufen eines Geruchsstoffs sind exemplarisch für Kumarin dargestellt. Die Abfolge der Geruchsstoffe, sowie die Reihenfolge der drei Konzentrationsstufen für Kumarin sind beispielhaft gewählt und können durch jede andere Reihenfolge ersetzt werden. ISI gibt das Zwischen-Stimulus-Intervall und ITI das Zwischen-Durchgangs-Intervall an.

Das Zwischen-Stimulus-Intervall (ISI), das heißt das zeitliche Intervall zwischen dem Riechen an zwei Flaschen eines Durchgangs wurde auf 8 Sekunden festgelegt. Das Zwischen-Durchgangs-Intervall (ITI), das heißt das Intervall zwischen zwei Durchgängen mit verschie-

denen Geruchsstoffen wurde auf 60 Sekunden gesetzt. Die Intervalle entsprachen damit ebenfalls denen der vorangehenden Studie. Sie wurden mit einer Stoppuhr kontrolliert. Den schematischen Ablauf zeigt Abbildung 4-3. Nach dem Abschluss der Studie hatten die Teilnehmer die Möglichkeit, sich über die Studie zu informieren.

4.2.5 Hypothesen

Die Anordnung „1 - 2 - 3“ wurde als richtige Antwort gewertet. Bei 60 Teilnehmern würden bei einer zufälligen Anordnung der Flaschen 10 Antworten auf die richtige Anordnung „1 - 2 - 3“ entfallen, da es 3! = 6 verschiedene mögliche Anordnung gibt. Somit erfolgte die Testung des Mittelwerts für die Anzahl richtiger Anordnungen (X_{1-2-3}) gegen den Wert 1/6. Da erwartet wurde, dass alle Konzentrationen hinreichend unterschieden werden können und die Unterscheidbarkeit über das richtige Anordnen der vorgegebenen Konzentrationen operationalisiert wurde, lauteten die Hypothesen wie folgt:

Nullhypothese: Die Wahrscheinlichkeit für eine richtige Anordnung der Konzentrationen ist für jeden Geruch kleiner oder gleich der Wahrscheinlichkeit für eine Antwort auf Zufallsniveau. Daraus folgt:
$X_{1-2-3} = 1/6$.

Alternativhypothese: Die Wahrscheinlichkeit für eine richtige Anordnung der Konzentrationen ist für jeden Geruch größer als die Wahrscheinlichkeit für eine Antwort auf Zufallsniveau. Daraus folgt:
$X_{1-2-3} > 1/6$.

Die inferenzstatistische Auswertung wurde für jeden der fünf Gerüche Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol und Dekansäure mit einem Binomialtest gegen den Wert 1/6 vorgenommen. Auf Grund dessen, dass für die Berechnung mit dem Programm SPSS keine Bruchzahl verwendet werden konnte, wurde eine Testung gegen den Wert 0,166667 vorgenommen, was einer konservativeren Testung entspricht. Das α-Niveau wurde für jeden Test auf .05 festgesetzt.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SPSS 16.0. Auf Grund der Datenstruktur wurden nonparametrische Testverfahren angewendet. Die Bestimmung von Effektstärken für die im Rahmen der explorativen Datenanalyse gerechneten Chi-Quadrat-

Tests erfolgte mit dem Programm G-Power 3 (Faul, Erdfelder, Lang & Buchner, 2007). Entsprechend Cohen (1988) gelten die Konventionen für die Effektstärke w, dass 0,1 einen kleinen, 0,3 einen mittleren und 0,5 einen großen Effekt aufzeigen.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Hypothesengeleitete Auswertung

Die Aufgabe der Teilnehmer bestand darin für jeden Geruchsstoff die drei Konzentrationsstufen bezüglich ihrer wahrnehmbaren Intensität und damit folglich auch bezüglich ihrer Intensität zu ordnen. Eine Antwort in der aufsteigenden Reihenfolge „1 - 2 - 3“ wurde als richtig gewertet. Abbildung 4-4 zeigt die relativen Häufigkeiten richtiger und falscher Antworten für die abhängige Variable Anordnung, getrennt für die Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol und Dekansäure, um den Vergleich zu einer Antwort auf Zufallsniveau (1/6) zu verdeutlichen.

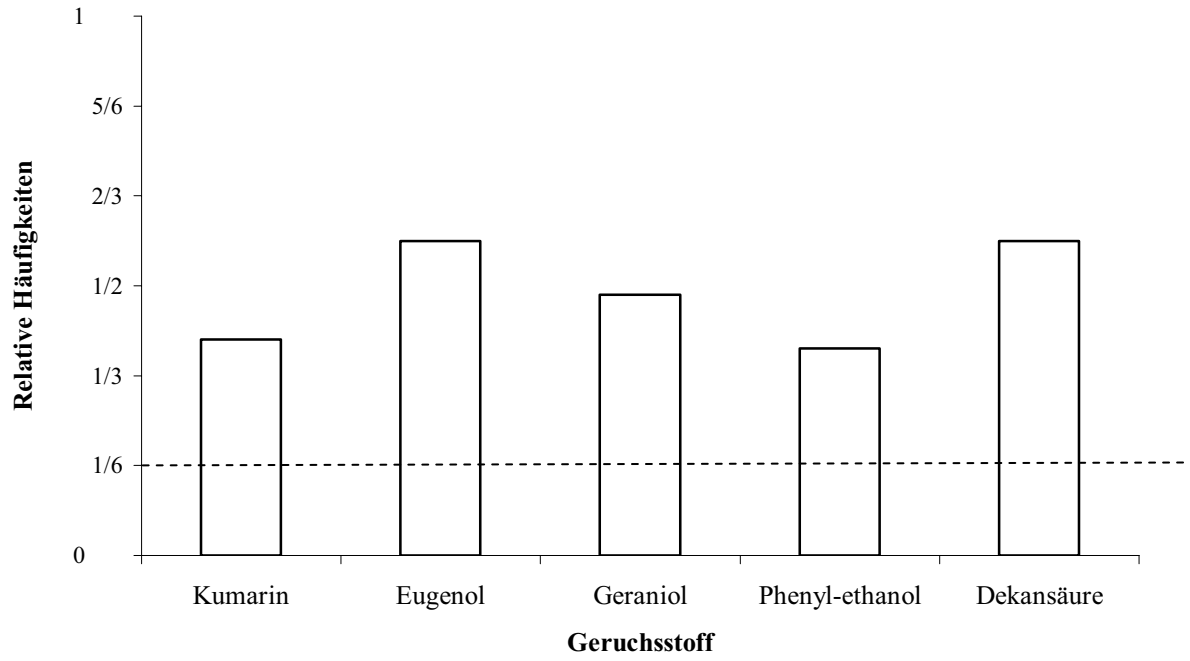


Abbildung 4-4: Relative Häufigkeiten richtiger Antworten für die Variablen Antwort. Es sind die empirischen Mittelwerte, beziehungsweise die relativen Häufigkeiten dargestellt, wie häufig die drei Konzentrationsstufen richtig in der aufsteigenden Reihenfolge „1 - 2 - 3", angeordnet wurden, getrennt für die fünf Geruchsstoffe. Die erwartete relative Häufigkeit für eine Antwort auf Zufallsniveau liegt bei 1/6.

Es wurde für die absoluten Häufigkeiten analysiert, ob die Konzentrationsstufen überzufällig häufig angeordnet wurden. Die inferenzstatistische Auswertung ergab, dass die Konzentrati-

onsstufen für alle fünf Geruchsstoffe überzufällig häufig richtig angeordnet wurden (Tabelle 4-5).

Tabelle 4-5: *Auswertung der richtigen Anordnungen der Konzentrationsstufen.*

Geruchsstoff	Absolute Häufigkeiten	Relative Häufigkeiten	*p*
Kumarin	24	0,400	< 0,001
Eugenol	35	0,583	< 0,001
Geraniol	29	0,483	< 0,001
Phenyl-Ethanol	23	0,383	< 0,001
Dekansäure	35	0,583	< 0,001

Anmerkungen. Dargestellt sind die absoluten und relativen Häufigkeiten richtiger Antworten, sowie die *p*-Werte der für jeden Geruchsstoff gerechneten Binomialtests B(60, 0,166667). Der Testwert wurde auf 0,166667 aufgerundet, was einer konservativeren Testung entspricht.

Betrachtet man die absoluten und relativen Häufigkeiten in Tabelle 4-5 unter dem Gesichtspunkt, dass 10 richtige Antworten pro Geruchsstoff ein Antwortverhalten auf Zufallsniveau (1/6) widerspiegeln würden, sind die Ergebnisse wie auch die *p*-Werte deutlich. Die meisten Teilnehmer waren damit in der Lage, die drei vorgegebenen Konzentrationsstufen für jeden Geruchsstoff zu unterscheiden. Dennoch muss beachtet werden, dass nicht alle Teilnehmer in der Lage waren, die Konzentrationsstufen richtig anzuordnen.

4.3.2 Post-hoc Auswertung

4.3.2.1 Auswertung der Abhängigen Variable Valenz

Abbildung 4-6 zeigt wie häufig die sechs Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol, Dekansäure und Vanillin jeweils als angenehm und unangenehm bewertet wurden.

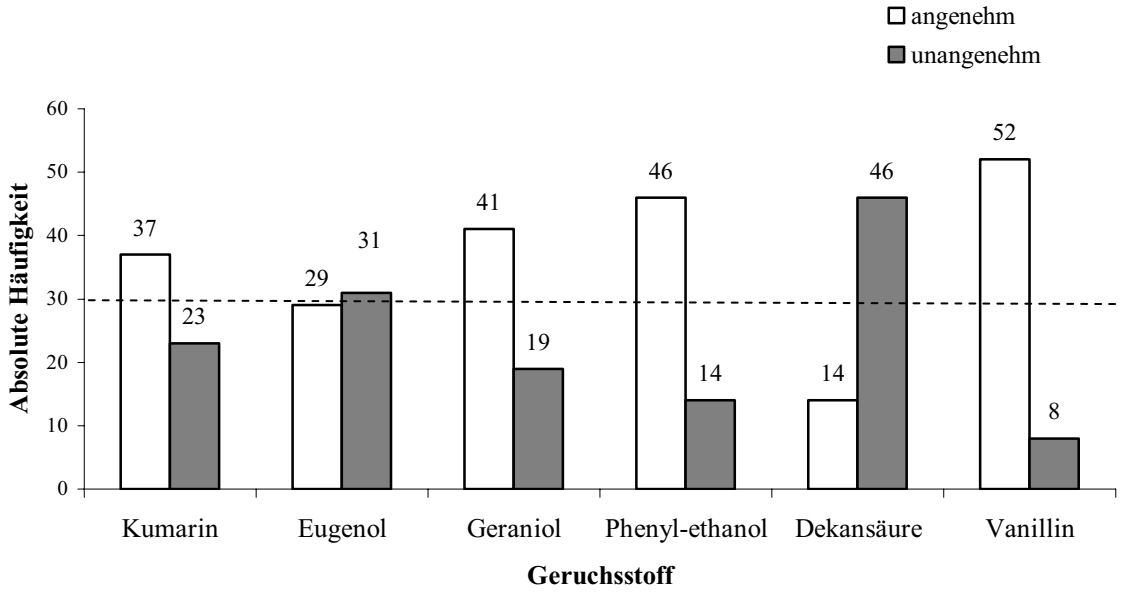


Abbildung 4-6: Valenzratings für die sechs Geruchsstoffe.

Für alle Geruchsstoffe wurde ein Chi-Quadrat-Test auf Gleichverteilung der beiden Kategorien angenehm und unangenehm gerechnet (Tabelle 4-7). Mit Ausnahme von Eugenol wich die Verteilung der Antworten bei allen Geruchsstoffen von einer Gleichverteilung ab. Damit können die Geruchsstoffe Kumarin (tendenziell), Geraniol und Phenyl-Ethanol als angenehm und Dekansäure als unangenehm eingestuft werden. Im Gegensatz zu der vorangehenden Studie wichen die Ergebnisse für den Geruchsstoff Eugenol nicht von einer Gleichverteilung ab. Eugenol kann an Hand dieser Daten folglich weder als angenehmer noch als unangenehmer Geruchsstoff eingestuft werden.

Tabelle 4-7: *Abweichung der Verteilung der Valenzratings von einer Gleichverteilung.*

Geruchsstoff	χ^2	***df***	***p***	***w***
Kumarin	3,27	1	0,071	0,24
Eugenol	0,07	1	0,796	0,03
Geraniol	8,07	1	< 0,001	0,39
Phenyl-Ethanol	17,07	1	< 0,001	0,63
Dekansäure	17,07	1	< 0,001	0,63
Vanillin	32,27	1	< 0,001	1,08

Anmerkungen. Dargestellt sind die χ^2-Werte für die Abweichung der Verteilung der Antworten für die Valenzratings von einer Gleichverteilung, sowie die zugehörigen *p*-Werte und Effektgrößen, getrennt nach Geruchsstoff.

Wie im Theoretischen Hintergrund der vorangehenden Studie bereits beschrieben wurde wird davon ausgegangen, dass die Valenz eines Geruchsstoffs mit dessen wahrgenommenen Intensität interagiert. Aus diesem Grund wurden für jeden Geruchsstoff die Korrelation zwischen den Valenzratings und den richtigen Antworten mit Spearmans Rangkorrelationskoeffizient bestimmt (r_s). Für keinen Geruchsstoff zeigte sich ein signifikanter korrelativer Zusammenhang zwischen den Abhängigen Variablen Valenz und Antwort (Tabelle 4-8). Die Bewertung der Valenz stand damit nicht im Zusammenhang mit der Wahrscheinlichkeit die Konzentrationsstufen richtig beziehungsweise falsch anzuordnen.

Tabelle 4-8: *Korrelation zwischen den Valenzratings und den richtigen.*

Geruchsstoff	$\mathbf{r_s}$	***p***
Kumarin	-0,06	0,664
Eugenol	-0,07	0,578
Geraniol	-0,02	0,884
Phenyl-Ethanol	-0,08	0,534
Dekansäure	0,01	0,920

Anmerkungen. Dargestellt sind die Korrelationen zwischen den Valenzratings und den richtigen Antworten. Eine positive Korrelation zeigt, dass mehr richtige Antworten gegeben wurden, wenn der Geruchsstoff als angenehm bewertet wurde.

4.3.2.2 Einfluss des Faktors Geschlecht

Die Auswertung wurde mit einem Chi-Quadrat-Test vorgenommen, ob sich die Verteilungen der Antworten für die jeweiligen Geruchsstoffe zwischen beiden Geschlechtern unterscheiden. Es zeigte sich kein Einfluss des Faktors Geschlecht (Tabelle 4-9). Weibliche und männliche Teilnehmer ordneten die drei verschiedenen vorgegeben Konzentrationsstufen nicht unterschiedlich häufig richtig an.

Tabelle 4-9: *Verteilung der richtigen Antworten zwischen den Geschlechtern.*

		Antwort					
Geruchsstoff	**Geschlecht**	**richtig**	**falsch**	χ^2	***df***	***p***	***w***
Kumarin	w	13	17	0,28	1,1	0,792	0,14
	m	11	19				
Eugenol	w	19	11	0,62	1,1	0,601	0,21
	m	16	14				
Geraniol	w	14	16	0,07	1,1	1,000	0,07
	m	15	15				
Phenyl-Ethanol	w	10	20	0,64	1,1	0,596	0,21
	m	13	17				
Dekansäure	w	19	11	0,62	1,1	0,601	0,21
	m	16	14				

Anmerkungen. Dargestellt ist der Vergleich der Absoluten Häufigkeiten richtiger und falscher Antworten für weibliche (w) und männliche (m) Teilnehmer, sowie die entsprechenden χ^2- und *p*-Werte und die Effektgrößen.

3.3.2.3 Einfluss des Rauchverhaltens

Es wurde ebenfalls mit einem Chi-Quadrat-Test ausgewertet, ob es einen Einfluss gehabt hatte, ob die Teilnehmer Raucher oder Nichtraucher waren. 11 Teilnehmer wurden der Gruppe der Raucher zugeordnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4-10 dargestellt. Auch für diesen Vergleich zeigte sich kein Unterschied zwischen den Gruppen bezüglich der Häufigkeit richtiger Antworten.

Tabelle 4-10: *Verteilung der richtigen Antworten zwischen den Geschlechtern.*

		Antwort					
Geruchsstoff	**Geschlecht**	**richtig**	**falsch**	χ^2	***df***	***p***	***w***
Kumarin	R	5	6	0,17	1,1	0,741	0,13
	NR	19	30				
Eugenol	R	8	3	1,15	1,1	0,332	0,40
	NR	27	22				
Geraniol	R	4	7	0,77	1,1	0,509	0,31
	NR	25	24				
Phenyl-Ethanol	R	3	8	0,70	1,1	0,506	0,30
	NR	20	29				
Dekansäure	R	6	5	0,08	1,1	1,000	0,09
	NR	29	20				

Anmerkungen. Dargestellt ist der Vergleich der Absoluten Häufigkeiten für die gewählten Konzentrationen für Raucher (R) und Nichtraucher (NR), sowie die entsprechenden χ^2- und *p*-Werte und die Effektgröße.

4.4 Diskussion

Die Auswertung der Daten für diese Studie hatte ergeben, dass die für jeden Geruchsstoff vorgegebenen drei Konzentrationsstufen bezüglich ihrer subjektiv wahrnehmbaren Intensität unterscheidbar sind. Unterstrichen wird dieser Befund durch die Größe der Effekte. Somit konnte für jeden Geruchsstoff die Nullhypothese verworfen werden, dass die Wahrscheinlichkeit für eine richtige Anordnung der Intensitäten auf Zufallsniveau liegt. Die post-hoc durchgeführten Analysen bezüglich möglicher Einflussfaktoren auf die Ergebnisse konnten wie bereits in der Studie Intensitätsmatching keinen Hinweis darauf erbringen, dass das Geschlecht oder das Rauchverhalten einen Einfluss auf die Ergebnisse der Fragestellung gehabt haben. Im Folgenden werden die Ergebnisse insbesondere in Hinblick auf die Bedeutung für die Studie Intensitätsmatching diskutiert.

4.4.1 Diskussion der internen Validität

Da der Aufbau dieser Studie mit Ausnahme der Aufgabe, die mit den vorgegeben Konzentrationsstufen absolviert werden musste, identisch zu dem Aufbau der Studie Intensitätsmatching war, könnten an dieser Stelle auch die gleichen Aspekte in Bezug auf die interne Validität diskutiert werden. Es kann als Fazit jedoch festgehalten werden, dass diese Studie zeigen konnte, dass eine fehlende Unterscheidbarkeit der vorgegebenen Konzentrationsstufen nicht als Alternativerklärung für die Ergebnisse der ersten Studie herangezogen werden kann. In beiden Studie waren die vorgegebenen Konzentrationsstufen eines jeden Geruchsstoff hinreichend unterscheidbar. Alternativerklärungen für das Zustandekommen der Ergebnisse in beiden Studien in Bezug auf die interne Validität sind somit unwahrscheinlich. Aus diesem Grund kann davon ausgegangen werden, dass beide Studien intern valide sind.

4.4.2 Diskussion der externen Validität

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass für Geruchsstoffe, die als primär olfaktorische eingestuft werden können und die in relativ hohen Konzentrationen vorliegen, Konzentrationsunterschiede, die dem Abstand einer ganzen Zahl zum Logarithmus mit der Basis 2 entsprechen unterschieden werden können. Die alltagsnahe aktive Riechtechnik die von den Teilnehmern angewendet wurde legt nahe, dass die Ergebnisse auch eine hohe externe Validität besitzen und für gesunde Teilnehmer, zu denen auch Raucher zählen gültig sind. Einschränkungen

erfährt die externe Validität jedoch dadurch, dass die Ergebnisse nicht generell für alle Geruchsstoffe gelten. Es bleibt ebenfalls ungeklärt, wie die Fähigkeit Konzentrationsstufen zu unterscheiden und bezüglich der Intensität zu ordnen bei niedrigeren Konzentrationen, insbesondere schwellennahen Konzentrationen beurteilt werden kann. Ebenfalls ungeklärt ist, ob die Ergebnisse auch auf trigeminale Geruchsstoffe ausgeweitet werden können. Im Vordergrund dieser Studie stand jedoch die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Studie Intensitätsmatching. Wie bereits in der Diskussion der Studie Intensitätsmatching erläutert wurde, muss die Bewertung der Gültigkeit einer Studie immer in Relation zu ihrem Ziel gesehen werden. In Bezug auf diese Studie kann eindeutig das Fazit gezogen werden, dass das Ziel dieser Studie in vollem Maß erreicht wurde, da sie als Methodenkontrolle fungieren kann.

4.4.3 Bedeutung der Ergebnisse für die weitere Testentwicklung

Mit den Ergebnissen dieser Studie konnte gezeigt werden, dass die Ergebnisse der vorangehenden Studie nicht darauf zurückgeführt werden müssen, dass Fehler im Versuchsaufbau bedingt haben, dass die vorgegeben Konzentrationsstufen nicht unterscheidbar waren. Die von den Teilnehmern in der Studie Intensitätsmatching gewählten Konzentrationsstufen spiegeln damit valide den subjektiven Eindruck der Teilnehmer wieder, welche der vorgegeben Konzentrationsstufen in Bezug auf die Intensität am besten zu dem Vanillin Referenzgeruchsstoff passt. Folglich können die Ergebnisse der Studie Intensitätsmatching eine weitere Verwendung für die Testentwicklung finden, obwohl die Verteilung der Antworten für keinen Geruchsstoff von einer Gleichverteilung abwich. Eine Mittelwertsbildung und die Auswahl der mittleren Konzentrationsstufen, die für jeden Geruchsstoff am nächsten zu den durch Mittelwertsbildung bestimmten Konzentrationen lagen, ist somit zulässig (Vergleich Abschnitt 3.3.3). Die in dieser Studie und der vorangehenden Studie gewählten mittleren Konzentrationsunterschiede dienten damit als Ausgangskonzentrationen für die weitere Testentwicklung, da bei diesen von vergleichbaren Intensitäten zwischen den Geruchsstoffen ausgegangen werden kann.

5. Studie 3: Lateralisierung

5.1 Theoretischer Hintergrund

Bereits 1975 bemängelte Doty, dass die Unterscheidung zwischen olfaktorischen und trigeminalen Geruchsstoffen zu wenig Beachtung in der Geruchsforschung findet und wies nach, dass von 31 getesteten Geruchsstoffen, die zu diesem Zeitpunkt weit verbreitet in der Geruchsforschung eingesetzt wurden, nur ¼ nicht von Anosmikern detektiert werden konnte (Doty, 1975). Trotzdem mussten über 20 Jahre später Pause und Mitarbeiter (Pause, Sojka & Ferstl, 1997) erneut die Kritik hervorbringen, dass nach wie vor viele Studien aus der Geruchsforschung die Unterscheidung zwischen olfaktorischer und trigeminaler Geruchswahrnehmung nicht berücksichtigen.

Das Ziel der dritten Studie Lateralisierung bestand darin, für jeden der sechs Geruchsstoffe die olfaktorische beziehungsweise trigeminale Eigenschaft zu bestimmen. Alle sechs Geruchsstoffe, insbesondere Vanillin, wurden danach ausgewählt, dass sie als primär olfaktorisch eingestuft werden können (Doty et al., 1978). Diese Auswahl erfolgte aus dem Grund, dass der spätere Diskriminationstest vor allem in der klinischen Diagnostik eingesetzt werden soll. Die meisten neurodegenerativen Erkrankungen gehen mit olfaktorischen Störungen einher. Somit ist das Wissen darüber, ob und wie stark die verwendeten Geruchsstoffe trigeminal sind essentiell, um Aussagen darüber treffen zu können, wie wahrscheinlich es ist, dass auch Personen mit einer gestörten olfaktorischen Geruchswahrnehmung in den späteren Testaufgaben den abweichenden Mischgeruch an Hand unterschiedlicher trigeminaler Reizung detektieren können. Dies wäre insbesondere dann problematisch, wenn die sechs Geruchsstoffe unterschiedlich starke trigeminale Eigenschaften besäßen. So könnte sich in diesem Fall die trigeminale Eigenschaft eines Mischgeruchs verändern könnte, wenn die Anteile seiner Komponenten verändert werden, so dass der Mischgeruch an Hand der unterschiedlich starken trigeminalen Reizung detektiert werden kann. Darüber hinaus interagieren die olfaktorische und die trigeminale Geruchswahrnehmung in Bezug auf die Intensitätsverarbeitung. Wenn die sechs Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Phenyl-Ethanol, Geraniol, Dekansäure und Vanillin starke trigeminale Eigenschaften besitzen würden, würde dies einen weiteren Störfaktor darstellen.

In diesem Abschnitt werden zunächst die biologischen Grundlagen der trigeminalen Geruchsverarbeitung beschrieben. Anschließend wird auf die Methoden zur Erfassung der trigeminalen Geruchswahrnehmung sowie auf Interaktion von olfaktorischer und trigeminaler

Geruchsverarbeitung eingegangen. Abschließend wird ein Fazit gezogen, welche Implikationen die beschriebenen Studien für den Aufbau dieser Studie besitzen.

5.1.1 Biologische Grundlagen

5.1.1.1 Trigeminale Innervation des Olfaktorischen Epithels

Die trigeminale Geruchsverarbeitung erfolgt über freie Nervenendigungen des rein somatosensiblen Nervus maxillaris und des rein somatosensiblen Nervus ophtalamicus des trigeminalen Nervs, die sich in der gesamten nasalen Mukosa befinden (Abbildung 5-1).

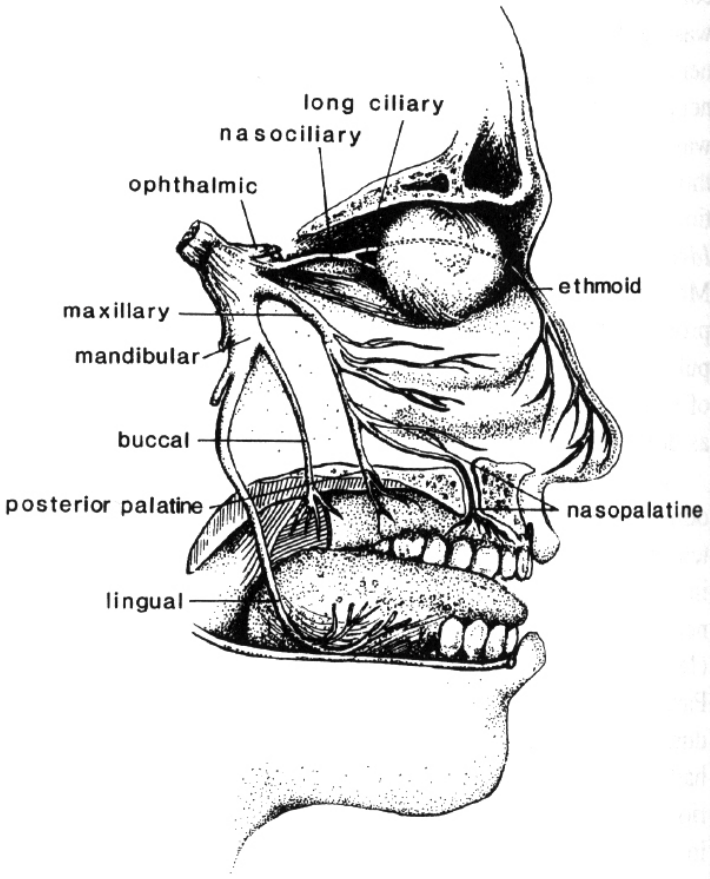


Abbildung 5-1: Nervus ophtalamicus und Nervus maxillaris (Doty & Cometto-Muniz, 2003).

In der Mukosa befinden sich dabei sowohl Nozizeptoren, als auch Mechanorezeptoren (Hummel, 2000), wobei die Nozizeptoren mit der chemosensorischen Geruchsverarbeitung assoziiert sind und die Mechanorezeptoren den Strömungsfluss durch die Nase vermitteln und damit auch indirekt an der Geruchsverarbeitung beteiligt sind. Die Reizweiterleitung erfolgt dabei

über C- und A-Delta-Fasern. Bei dem Vergleich anteriorer versus posteriorer Stimulation der nasalen Fossa, entweder mit dem trigeminalen Geruchsstoff Kohlendioxid oder mit mechanischer Stimulation durch Luftstöße, führt mechanische Stimulation im posterioren Teil der nasalen Fossa zu verkürzten CSEKP-Latenzen, während die trigeminale Geruchsempfindung bei Stimulation im anterioren Bereich stärker ist (Frasnelli, Heilmann & Hummel, 2004). Folglich ist die Sensitivität für trigeminale Geruchsstoffe in der Mukosa nicht gleichmäßig verteilt.

Es wird davon ausgegangen, dass die Nozizeption der trigeminalen Nervenendigungen in der nasalen Mukosa über Protonen vermittelt wird, die Kationen-selektive Kanäle aktivieren (Krishtal & Pidoplichko, 1981). 1981 tätigten Silver und Maruniak die Aussage, dass die trigeminale Chemorezeption über die primitivste Form des neuronalen Rezeptors, nämlich der freien Nervenendigung vermittelt wird (Silver & Maruniak, 1981). Dennoch ist die Funktionsweise der trigeminalen freien Nervenendigungen in der Nase, sowie deren Affinität für bestimmte Moleküle und den Zusammenhang zwischen Antwortverhalten und Stimuluskonzentration nach wie vor nicht eindeutig verstanden (Brand, 2006).

5.1.1.2 Rezeptorklassen in der nasalen Mukosa

Bisher wurden verschiedene Rezeptorfamilien für die Signaltransduktion an den freien Nervenendigungen des trigeminalen Nervs entdeckt, ohne dass hierbei die vielen verschiedenen individuellen Unterschiede in Bezug auf Subtypen innerhalb der Rezeptorfamilien berücksichtigt sind:

1. ASIC-Rezeptoren: Eine Rezeptorfamilie sind die *acid-sensing ion channels*, Ionenkanäle, die selektiv auf Säuren, wie beispielsweise Chlorwasserstoffsäure (Jones, Slater, Cadiou, McNaughton & Mahon, 2004) reagieren.
2. VR1-Rezeptoren: Eine weitere Rezeptorfamilie, die identifiziert wurde, sind die Capsaicin- (Vanilloid-) Rezeptoren, von denen angenommen wird, dass sie auf chemische und thermale Stimulation reagieren, ohne dass diese Annahme eindeutig bestätigt werden kann (Caterina, Leffler, Malmberg, Martin, Trafton, Petersen-Zeitz, Klotzenburg, Basbaum & Julius, 2000).
3. Acth-Rezeptoren: Des Weiteren werden nikotinerge Acetylcholin-Rezeptoren in der axonalen Membran unmyelinisierte C-Fasern des trigeminalen Nervs exprimiert und

stehen damit auch im Zusammenhang mit der Nozizeption (Lang, Burgstahler, Sippel, Irnich, Schlotter-Weigel & Grafe, 2003).

4. P2X-Rezeptoren: Ein weiterer Rezeptortyp, der für die trigeminale Wahrnehmung in der Nase verantwortlich ist, ist der P2X-Rezeptor, der durch ATP-Ströme aktiviert werden kann und dessen Funktionsweise beispielsweise durch Benzaldehyd, einen trigeminalen Geruchsstoff (Hummel, Futschnik, Frasnelli & Hüttenbrink, 2003) moduliert werden kann, wenn dieser Geruchsstoff kolokalisiert mit ATP auftritt (Spehr, Spehr, Hatt & Wetzel, 2004).

Es muss in diesem Zusammenhang beachtet werden, dass die trigeminale Wahrnehmung eines Geruchsstoffs durch den jeweilig aktivierten Rezeptortyp vermittelt wird. Die intranasale Präsentation von Nikotin führt beispielsweise zu einer Stimulation des nikotinergen Acetylcholinrezeptors (Theurauf, Kaegler, Dietz, Barocka & Kobal, 1999). Mecamlamin, ein Rezeptor-Antagonist für diesen Rezeptors inhibiert jedoch nur die trigeminale Wahrnehmung von Nikotin, jedoch nicht die von Kohlendioxid, das auf einen anderen Rezeptortyp wirkt (Theurauf et al., 2006). Um Interaktionen zwischen verschiedenen Geruchsstoffen mit trigeminalen Eigenschaften verstehen zu können scheint es wie im olfaktorischen System wichtig zu sein, die Rezeptorklassen zu identifizieren, die durch die jeweiligen Geruchsstoffe stimuliert werden.

Des Weiteren wird angenommen, dass die Freisetzung von Substanz P im Rahmen der trigeminalen Nozizeption mit der trigeminalen Geruchswahrnehmung im Zusammenhang steht. So besitzt die Substanz P, neben verschiedenen andere Peptiden wie dem CGRP (Calcitonin Gene-Related Peptide), einen trigeminalen Ursprung in den Nervenfasern der Nasenhöhle (Uddmann, Malm & Sundler, 1983). Chronische Exposition von Capsaicin führt bei Ratten dazu, dass die Substanz P-Speicher vollständig geleert werden und die Wahrnehmung trigeminaler Geruchsstoffe bei diesen Ratten fast vollständig gestört ist (Silver, Mason, Marshall & Maruniak, 1985).

5.1.1.3 Einfluss trigeminaler Stimulation auf Ebene des olfaktorischen Epithels

Zunächst stellt sich die Frage, ob auch das olfaktorische Epithel von trigeminalen Nervenfasern innerviert wird. Bouvet und Mitarbeiter (Bouvet, Delaleu & Holley, 1987) führten Einzelzellableitungen bei ORN von Fröschen durch und konnten zeigen, dass die Aktivität der ORN auf die Stimulation mit dem olfaktorischen Geruchsstoff Amylacetat reduziert wird,

wenn der ophtalamische Ast des Nervus trigeminus zusätzlich stimuliert wird. Den gleichen Effekt wie die Stimulation des Nervus trigeminus erzielte auch die künstliche Gabe von Substanz P. Dieses Ergebnis liefert beeindruckende Evidenz dafür, dass bereits auf Ebene des olfaktorischen Epithels Interaktionen beider Systeme angenommen werden können. Finger und Mitarbeiter (Finger, Jeor, Kinnamon & Silver, 1990) konnten ebenfalls bei Ratten nachweisen, dass trigeminale Nervenfasern, die die Peptide Substanz P und CGRP beinhalten, bis an die Oberfläche des olfaktorischen Epithels reichen.

5.1.1.4 Trigeminale Innervation des Bulbus olfaktorius

Finger und Böttger (Finger & Böttger, 1993) wiesen bei Ratten trigeminale Nervenfasern in der Glomeruli-Schicht nach. Untersuchungen bei Ratten in einer aktuellen Studie konnten ebenfalls zeigen, dass ein Teil der trigeminalen Fasern, die in das olfaktorische Epithel reichen über Kollaterale in den olfaktorischen Bulbus verfügen, so dass auch auf dieser Ebene Interaktionen beider Systeme denkbar sind (Schaefer, Böttger, Silver & Finger, 2002).

5.1.1.5 Involvierte kortikale Strukturen

Die Reizweiterleitung aus der nasalen Mukosa erfolgt über myelinisierte C-Fasern, sowie über unmyelinisierte ADelta-Fasern (Hummel, 2000; Anton & Peppel, 1991). Die Reizweiterleitung bei Ratten erfolgt über den rostralen Teil des spinalen Trigeminuskerns und gelangt von dort unter anderem in den Thalamus. Um diesen Weg der Reizweiterleitung sichtbar zu machen, wurde der Weg mitverfolgt, wie sich der Herpes-Simplex Virus bei Ratten ausbreitet, der seinen Weg über den trigeminalen Nerv ins Gehirn sucht (Barnett, Evans, Sun, Perlman & Cassel, 1995).

Trigeminale Geruchsstoffe führen nicht nur zu einer Aktivierung des Thalamus, sondern aktivieren verschiedene weitere kortikaler Strukturen. Hummel und Mitarbeiter (Hummel, Doty & Yousem, 2005) untersuchten in einer fMRT-Studie die Aktivität kortikaler Strukturen durch Stimulation mit Kohlendioxid. Die trigeminale Stimulation führt vor allem zu einer Aktivierung des Mittelhirns. Zudem sind weitere Strukturen involviert, wie der Gyrus temporalis superior, der dorsolaterale Orbitofrontalkortex, so wie der Nucleus caudatus. Boyle und Mitarbeiter (Boyle, Heinke, Gerber, Frasnelli & Hummel, 2007) konnten dieses Ergebnis replizieren und fanden zusätzlich Aktivität im kontralateral zur Stimulationsseite gelegenen

Piriformen Kortex. Zieht man hinzu, dass trigeminale Empfindungen fast ausschließlich mit taktilen Adjektiven wie beispielsweise „stechend“ oder „brennend“ beschrieben werden, ist auch die Aktivierung des primären somtosensorischen Kortex und des sekundären somatosensorischen Kortex nicht überraschend (Savic, Gulyas & Berglund, 2002; Hari, Portin, Kettenmann, Jousmäki & Kobal, 1997). Mit Ausnahme der somatosensorischen Kortizes sind sämtliche genannten Strukturen allerdings auch an der Verarbeitung olfaktorischer Geruchsstoffe beteiligt.

5.1.1.6 Weitere Einflüsse auf die trigeminale Geruchswahrnehmung

Ishimaru und Mitarbeiter (Ishimaru, Scheibe, Gudziol & Negoias, 2008) untersuchten, ob Geruchswahrnehmung auch in der mittleren Nasenmuschel stattfinden kann. Hierfür verwendeten sie die Methode des immanenten optischen Signals, das sich dazu eignet, Veränderungen in der Sauerstoffsättigung im Hämoglobin in Folge neuronaler Prozesse zu beobachten. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass auch die mittlere Nasenmuschel sowohl auf Stimulation mit dem olfaktorischen Geruchsstoff H_2S als auch auf Stimulation mit dem trigeminalen Geruchsstoff Kohlendioxid reagiert. Es muss folglich auch in betracht gezogen werden, dass in der Nasenhöhle noch weitere Strukturen an der Geruchswahrnehmung beteiligt sein können, wenn Interaktionen vollständig verstanden werden sollen. Die trigeminale Geruchswahrnehmung bleibt jedoch unbeeinflusst von zusätzlicher kutaner elektrischer Stimulation im Gesicht, was gegen die Vermutung spricht, dass die trigeminale Geruchsverarbeitung auch durch periphere Stimulation beeinflusst werden kann (Livermore et al., 1993).

5.1.2 Funktionale Grundlagen

Betrachtet man die biologischen Grundlagen im vorangehenden Abschnitt und insbesondere die räumliche Nähe der biologischen Strukturen, die an der olfaktorischen und trigeminalen Geruchswahrnehmung beteiligt sind sowie die Überschneidungen der kortikalen Areale beider Systeme, stellt sich die Frage nach den funktionalen Aspekten der trigeminalen Geruchswahrnehmung. Auf diese wird in diesem Abschnitt eingegangen.

5.1.2.1 Geruchsqualitäten trigeminaler Stimulation

Es konnte gezeigt werden, dass Tiger-Salamander nicht zwischen zwei trigeminalen Geruchsstoffen unterscheiden können, wenn diese bezüglich ihrer wahrnehmbaren Intensität angeglichen sind (Silver, Arzt & Mason, 1988). Zwar können die trigeminalen Eigenschaften von Geruchsstoffen mit verschiedenen Adjektiven beschrieben werden, wie beispielsweise „brennend“, „stechend“, „beißend“ oder „reizend“, ob es sich dabei allerdings um unterschiedliche Geruchseindrücke handelt, oder lediglich um ein Problem der Nomenklatur ist fraglich. Zumindest eine Unterscheidung zwischen trigeminalen Geruchseindrücken an Hand der involvierten Fasern ist möglich. Der stechende Geruchseindruck trigeminaler Stimulation wird dabei eher über C-Fasern vermittelt, während der brennende Eindruck eher über ADelta-Fasern vermittelt wird (Hummel, 2002).

5.1.2.2 Räumliche Integration trigeminaler Stimulation

Im Gegensatz zum olfaktorischen System, bei dem räumliche Integration bereits auf Ebene der ORN und des BO stattfindet, gibt es bisher keine Ergebnisse dazu, ob und wie räumliche Integration trigeminaler Informationen auf einer Stimulationsseite stattfindet. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass birhinale Stimulation mit dem trigeminalen Geruchsstoff Kohlendioxid einen höheren Intensitätseindruck erzeugt als monorhinale Stimulation (Garcia Medina & Cain, 1982). Dieses Ergebnis spricht auch für räumliche Integration im Bereich der trigeminalen Geruchsverarbeitung.

5.1.2.3 Zeitliche Integration trigeminaler Stimulation

Cometto-Muniz und Cain (Cometto-Muniz & Cain, 1984) beobachteten einen nahezu linearen Zusammenhang zwischen der Stimulationsdauer mit dem trigeminalen Geruchsstoff Ammoniak und der subjektiv berichteten Intensität. Auch Ergebnisse aus dem Bereich der Elektrophysiologie unterstreichen die zeitliche Integration trigeminaler Stimulation. Die Größe der Amplituden der N1 und P3-Komponente stehen in einem linearen Zusammenhang mit der Stimulus-Konzentration. Höhere Stimuluskonzentrationen führen dabei zu größeren Amplituden. In Bezug auf den Zusammenhang zwischen Stimuluskonzentration und Stimulationsdauer zeigt sich, dass eine längere Stimulation zu den gleichen Amplitudeneffekten in der P3-Komponente führt, wie eine höhere Stimuluskonzentration. Dieser Befund spricht dafür, dass

trigeminale Stimulation über einen relativ langen Zeitraum integriert werden kann (Frasnelli, Lötsch & Hummel, 2003).

5.1.2.4 Intensität trigeminaler Stimulation und Valenz

Wie im Abschnitt 3.1.2.4 des Theoretischen Hintergrunds der Studie Intensitätsmatching beschrieben wurde, wurden in Studien für die olfaktorische Geruchswahrnehmung die kortikalen Areale untersucht, die im Zusammenhang mit der Valenzverarbeitung im Kortex stehen. In welchem Zusammenhang die trigeminale Geruchsverarbeitung mit der olfaktorischen Valenzverarbeitung steht wurde erstmals in einer Studie von Zelano und Mitarbeitern (Zelano, Montag, Johnson, Khan & Sobel, 2007) untersucht. Sie konnten zeigen, dass die Aktivität im Piriformen Kortex von der Valenz des Geruchsstoffs abhängt, jedoch unabhängig von dessen olfaktorischer oder trigeminaler Eigenschaft ist. Im Gegensatz dazu zeigten sich Aktivitätsveränderungen im olfaktorischen Tuberkel in Abhängigkeit der olfaktorischen oder trigeminalen Eigenschaft, jedoch unabhängig von der Valenz. Auf Ebene des primären olfaktorischen Kortex zeigt sich somit zusammenfassend, dass angenommen werden kann, dass die Valenz eines Geruchsstoffs unabhängig davon verarbeite wird, ob er das olfaktorische oder das trigeminale System stimuliert.

5.1.2.5 Chemosensorisch evozierte Potentiale

Ebenfalls von Interesse ist es, ob sich die trigeminale Geruchswahrnehmung auch auf Ebene der Elektrophysiologie von der olfaktorischen Geruchswahrnehmung unterscheidet. Livermore und Mitarbeiter (Livermoore, Hummel & Kobal, 1992) zeigten, dass chemosensorische ereigniskorrelierte Potentiale (CSEKP) im Vergleich zu olfaktorisch evozierten Potentialen eher parietal dominieren und sich die trigeminale Aktivität vor allem in der Größe der N1-Amplitude widerspiegelt. Pause und Mitarbeiter (Pause et al., 1995) zeigten, dass höhere Konzentrationen eines trigeminalen Geruchsstoffs auch zu höheren Amplituden in den CSEKP führen. Olfaktorisch evozierte Potentiale könnten auf Grund ihres zu chemosensorisch evozierten Potentialen differenzierbaren Musters auch dazu genutzt werden, olfaktorische Dysfunktionen nachzuweisen (Rombaux, Moraux, Bertrand, Guerit & Hummel, 2006).

5.1.2.6 Geschlechtseffekte bei der Wahrnehmung trigeminaler Geruchsstoffe

Geschlechtsunterschiede bei der Wahrnehmung von trigeminalen Geruchsstoffen zeigten eine höhere trigeminale Sensitivität bei Frauen, wenn Geschlechtseffekte berichtet wurden. Frasnelli und Hummel (Frasnelli & Hummel, 2003) präsentierten männlichen und weiblichen Teilnehmern trigeminale Geruchsstoffe in verschiedenen Konzentrationen und bestimmten in einem Schwellenverfahren die Konzentrationen, ab denen trigeminale Empfindungen berichtet wurden. Shusterman und Mitarbeiter (Shusterman, Murphy & Balmes, 2003) bestimmten die trigeminale Geruchsschwelle für männliche und weibliche Probanden für Kohlendioxid. In beiden exemplarisch berichteten Studien wiesen Frauen hierbei signifikant niedrigere Schwellen und somit eine höhere Sensitivität auf. Lundström und Mitarbeiter (Lundström, Frasnelli, Larsson & Hummel, 2005) untersuchten Unterschiede in trigeminal evozierten Potentialen bei Männern und Frauen und fanden höhere Amplituden und Latenzen bei Frauen. Die Unterschiede waren vor allem in der P3-Komponente zu finden. Dieser Befund wurde damit interpretiert, dass es sich bei Geschlechtsunterschieden, die im Bereich der trigeminalen Geruchswahrnehmung berichtet werden, vor allem um eine unterschiedliche Bewertung der trigeminalen Reizung handeln kann. Diese Argumentation stimmt mit den Befunden überein, dass Frauen intranasale trigeminale Stimulation als schmerzhafter beschreiben (Comtto-Muniz & Noriega, 1985). Des Weiteren zeigen sowohl Frauen als auch Männer bei trigeminaler Stimulation höhere Amplituden und längere Latenzen in den EKP, jedoch sind diese bei Frauen eher links und bei Männern eher rechts dominierend (Lundström & Hummel, 2006). Insgesamt betrachtet scheint es daher interessant zu sein, Geschlechtsunterschiede in dieser Studie mit zu erfassen. Sollten die gewählten Geruchsstoffe wider Erwarten doch starke trigeminale Eigenschaften aufweisen, könnten Geschlechtsunterschiede in diesem Zusammenhang die Validität der Ergebnisse erhöhen.

5.1.3 Bedeutung der trigeminalen Geruchsverarbeitung

Zwar besitzen die meisten Geruchsstoffe sowohl einen olfaktorischen als auch einen trigeminalen Anteil (Doty et al., 1978), jedoch stellt sich die Frage nach der Bedeutung der trigeminalen Geruchswahrnehmung. Wie bereits im Abschnitt 5.1.1.1 beschrieben wurde, befinden sich auch Mechanorezeptoren in der nasalen Mukosa. Eine Aufgabe der trigeminalen Innervation besteht folglich darin, den Luftfluss durch die Nase zu vermittelt, der ebenfalls einen Einfluss auf die Intensitätswahrnehmung besitzt (Youngentob, Stern, Mozell, Leopold & Hor-

nung, 1986, Landis, Hummel, Hugentobler, Giger & Lacroix, 2002). Des Weiteren dient die trigeminale Nozizeption als Schutzmechanismus des Organismus vor Gefahren, wie beispielsweise der Wahrnehmung von Rauch oder vor schädlichen Gasen. Ist die trigeminale Reizung zu stark, führt dies zum nasopharyngalen Reflex. Das bedeutet, dass es zu einem reflexiven Atemstillstand kommt, der verhindert, dass giftige Gase inhaliert werden. Zusätzlich kommt es zu Bradykardie und Vasokonstriktion der Gefäße, um den im Körper befindlichen Sauerstoff effektiv für die lebensnotwendigen Organe nutzen zu können (McCulloch, Panneton & Guyenet, 1999). Das gleiche Phänomen wird auch als „Tauch-Reaktion" bezeichnet, da es ebenfalls auftritt, wenn Wasser in die Nasenhöhlen gelangt (McCulloch, Faber & Panneton, 1999). Dass die trigeminale Geruchswahrnehmung damit jedoch auch die Wahrnehmung von olfaktorischen Geruchsstoffen beeinflusst, stellt eine weitere Störquelle für die Entwicklung der Testaufgaben dar, wie im folgenden Absatz beschrieben wird.

5.1.4 Interaktionen zwischen dem olfaktorischen und dem trigeminalen System

Im Theoretischen Hintergrund der Studie Intensitätsmatching wurde bereits erwähnt, dass es Interaktionen zwischen dem olfaktorischen und dem trigeminalen System gibt. In verschiedenen Studien wurden Suppressionseffekte in binären Mischungen von olfaktorischen und trigeminalen Geruchsstoffen untersucht. Kobal und Hummel (Kobal & Hummel, 1988) konnten zeigen, dass die wahrgenommene Intensität von Vanillin reduziert wird, wenn Vanillin zusammen mit Kohlendioxid präsentiert wird. Dieser Effekt ist dabei auch zu beobachten, wenn ein olfaktorischer und ein trigeminaler Geruchsstoff in verschiedenen Nasenlöchern präsentiert werden, was für eine Interaktion auf einer zentralen Ebene spricht (Hummel & Livermore, 2002). Kürzlich konnte in einer Studie von Cashion und Mitarbeitern (Cashion, Livermore & Hummel, 2006) gezeigt werden, dass trigeminale Geruchsstoffe wie Kohlendioxid olfaktorische Geruchsstoffe wie Vanillin oder Phenyl-Ethanol in binären Mischungen dominieren. Stärker trigeminale Geruchsstoffe dominierten andere trigeminale Geruchsstoffe mit einer geringeren trigeminalen Eigenschaft jedoch nicht. Livermore und Hummel (Livermore & Hummel, 2004) konnten zeigen, dass Linanol, ein Geruchsstoff, der olfaktorisch und trigeminal wirkt, die Intensität sowohl des olfaktorischen Geruchsstoffs H_2S als auch des trigeminalen Geruchsstoffs Kohlendioxid reduziert, wenn er mit einem dieser Geruchsstoffe in einer binären Mischung präsentiert wird.

Andererseits werden nicht nur Suppressionseffekte berichtet, wie beispielsweise in einer Studie mit Patienten mit idiopathischer trigeminaler Neuralgie (Siqueira, Nóbrega, Tixeira

& Siquiera, 2006). Diese Erkrankung kann mit einem neurochirurgischen Eingriff therapiert werden, indem ein Ballon neben dem trigeminalen Ganglion aufgeblasen wird, der auf dieses drückt und zu einer Normalisierung der Symptomatik führt. Durch diesen Eingriff wird jedoch auch der trigeminale Nerv verletzt. Ein direkter Vergleich der prä- und postoperativen olfaktorischen Schwellen für Isopropanol zeigt eine deutliche Reduktion der Sensitivität nach dem Eingriff. Interessanter Weise konnten Husner und Mitarbeiter (Husner et al., 2006) in einer Einzelfallstudie nachweisen, dass eine trigeminale Schädigung die olfaktorische Schwelle nur für die betroffene Seite reduziert. Ergänzend dazu wurde beobachtet, dass der trigeminale Geruchsstoff Allyl Isothiocyanat zu einer höheren olfaktorischen Sensitivität für die olfaktorischen Geruchsstoffe Phenyl-Ethanol und Butanol führt (Jacquot, Monnin & Brand, 2004). Boyle und Mitarbeiter (Boyle, Frasnelli, Gerber, Heinke & Hummel, 2007) untersuchten die kortikale Aktivität, die durch einen olfaktorischen Geruchsstoff (Phenyl-Ethanol), einen trigeminalen Geruchsstoff (Kohlendioxid) sowie der binären Mischung aus beiden hervorgerufen wird. Die Präsentation des binären Mischgeruchs führte zu einer höheren kortikalen Aktivität sowohl in olfaktorischen als auch in trigeminalen Arealen als die Präsentation der einzelnen Geruchsstoffe

Es kann somit festgestellt werden, dass die Richtungen der Interaktionen zwischen olfaktorischen und trigeminalen Geruchsstoffen in gleicher Weise nicht vorherbestimmt werden können wie die Interaktionen verschiedener olfaktorischer Geruchsstoffe. Dass es zudem Schwierigkeiten geben kann, im within-subject-design die Reaktion auf einzelne Geruchsstoffe und deren binären Mischungen zu untersuchen zeigt eine aktuelle Studie (Bensafi, Frasnelli, Reden & Hummel, 2007). Hier wurden in einem ersten Durchgang die beiden olfaktorischen Geruchsstoffe Vanillin und Phenyl-Ethanol mit Kohlendioxid gepaart präsentiert. In einem zweiten Durchgang wurden die olfaktorischen Geruchsstoffe alleine präsentiert und EEG-Ableitung aufgezeichnet. Es zeigt sich, dass die Teilnehmer in den EKP auf die olfaktorischen Geruchsstoffe Veränderungen in der P2-Amplitude aufweisen, die für trigeminale Stimulation typisch sind. Es wurde gefolgert, dass der Kontext, in dem ein Geruch gelernt wird auch zu einer Aktivierung der neuronalen Strukturen führt, die mit dem Kontext und nicht ausschließlich mit dem Geruchsstoff in Verbindung stehen.

5.1.5 Studien mit Anosmikern

Ein Großteil der Erforschung der trigeminalen Geruchswahrnehmung beim Menschen stammt aus Studien mit Anosmikern, dass heißt mit Menschen, deren olfaktorische Geruchswahr-

nehmung vollständig gestört ist. Anosmiker sind dabei dennoch in der Lage, Geruchsstoffe die trigeminale Empfindungen erzeugen an Hand ihrer trigeminalen Eigenschaften zu unterscheiden. Ihre Diskriminationsleistung für trigeminale Geruchsstoffe unterscheidet sich dabei nur geringfügig von Normosmikern, dass heißt Menschen mit intakter olfaktorischer Geruchswahrnehmung. Die Beschreibungen des trigeminalen Gerucheindrucks ist zwischen Anosmikern und Normosmikern konform (Laska, Distel & Hudson, 1997).

Es stellt sich jedoch die Frage, in wie weit die trigeminale Geruchsverarbeitung bei Anosmikern und Normosmikern vergleichbar ist. Dieser Aspekt ist auch unter dem Gesichtspunkt relevant, dass die Konsequenzen für die Wahrnehmung der späteren Testaufgaben diskutiert werden müssen, falls die sechs Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol, Dekansäure und Vanillin trigeminale Anteile besitzen. So konnten aktuelle Studien auf der einen Seite zeigen, dass Anosmiker eine geringere Sensitivität für trigeminale Reize aufweisen als Normosmiker (Iannilli, Gerber, Frasnelli & Hummel, 2007). Gudziol und Mitarbeiter (Gudziol, Schubert & Hummel, 2001) erfassten mit einem Schwellenverfahren mit logarithmisch skalierten Konzentrationsunterschieden die Sensitivität für den stark trigeminalen Geruchsstoff Methansäure, im Vergleich von Anosmikern und Normosmikern, getrennt für jedes Nasenloch. Anosmiker wiesen signifikant höhere Schwellen auf. Zudem waren die Schwellen bei Anosmikern, deren Anosmie durch eine Erkrankung bedingt war, signifikant höher als bei Anosmikern mit einer posttraumatischen Anosmie. Unterschiede zwischen den Nasenseiten gab es keine. Ebenfalls eine geringere trigeminale Sensitivität für trigeminale Stimulation bei Anosmikern berichteten Hummel und Mitarbeiter (Hummel, Barz, Lötsch, Roscher, Kettenmann & Kobal, 1996). Sie wiesen bei Anosmikern eine geringere P1-N1 Amplitude für die Stimulation mit dem trigeminalen Geruchsstoff Kohlendioxid nach. Evidenz für einen Unterschied trigeminaler Geruchswahrnehmung zwischen Anosmikern und Normosmikern auf physiologischer Ebene liefern ebenfalls die Ergebnisse von Iannilli und Mitarbeitern (Iannilli, Gerber, Frasnelli & Hummel, 2006). Sie verglichen die kortikale Aktivität in Folge einer Stimulation mit Kohlendioxid. Normosmiker zeigten im Vergleich zu Anosmikern bei monorhinaler Stimulation eine stärkere Aktivität im ipsilateralen Präfrontalkortex und somatosensorischen Kortex sowie in der kontralateralen Insula, sowie eine niedrigere Aktivität in verschiedenen anderen Arealen. Dennoch konnten in einer anderen aktuellen Studie keine Unterschiede in den trigeminalen Schwellen zwischen Anosmikern und Normosmikern festgestellt werden (Frasnelli, Schuster, Zahnert & Hummel, 2006). Als Hauptursache für Inkonsistenzen in bisherigen Studien wurden in dieser Studie Unterschiede in den Stich-

probengrößen der verschiedenen Studien diskutiert, nämlich dass in den Studien in denen Effekte gefunden wurden größere Stichproben getestet wurden.

5.1.6 Das Phänomen der Lateralisierung

Auch wenn in verschiedenen zuvor beschriebenen Studien die olfaktorische und die trigeminale Geruchswahrnehmung vergleichend untersucht wurden, ist es dennoch schwierig beide Konzepte von einander abzugrenzen. Zum einen zeigen sich Überschneidungen bezüglich der aktivierten kortikalen Areale. Zum anderen sind die Ergebnisse im Vergleich von Anosmikern und Normosmikern nicht eindeutig. Da es des Weiteren unter Gesichtspunkten der Praktikabilität nicht möglich ist ausreichend viele Anosmiker zu rekrutieren um untersuchen zu können, ob die sechs Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol, Dekansäure und Vanillin trigeminale Anteile besitzen, besteht eine weitere Möglichkeit in der Überprüfung der Lateralisierbarkeit der Geruchsstoffe. Nach Kobal und Mitarbeitern (Kobal, Toller & Hummel, 1989) können nur trigeminale Geruchsempfindungen lateralisiert werden, das heißt dass die Nasenseite angegeben werden kann, auf der ein Geruchsstoff präsentiert wird. Auch in einer kürzlich erschienen Studie zeigte sich, dass der als olfaktorisch geltende Geruchsstoff Phenyl-Ethanol nicht lokalisiert werden kann. Auch die Variation, ob der Geruchsstoff passiv in die Nase gegeben wurde oder aktiv inhaliert werden musste erbrachte keinen Unterschied im Ergebnis (Frasnelli, Charbonneau, Collignon & Lepore, 2009). Neben dem Geruchsstoff Phenyl-Ethanol wurde auch für die Geruchsstoffe Kumarin und Vanillin nachgewiesen, dass diese keine trigeminale Aktivierung erzeugen sollten (Stephenson & Haltern, 2009).

5.1.6.1 Lateralisierungsaufgaben mit trigeminalen Geruchsstoffen

Lateralisierung von trigeminalen Geruchsstoffen wurde in einem Paradigma von Cometto-Muniz und Cain (Cometto-Muniz & Cain, 1998) angewendet. Sie verwendeten für die Präsentation der Geruchsstoffe Kunststoff-Flaschen, die in einer entsprechenden Apparatur so zusammengedrückt werden konnten, so dass sie eine fixe Menge Geruchsstoff abgeben. In einem Nasenloch wurde der jeweilige Geruchsstoff präsentiert und in dem anderen ein geruchsneutraler Kontrollgeruchsstoff. Als Geruchsstoffe wurden trigeminale Alkohole verwendet. Nachdem in einem ersten Durchgang eine Nasenseite mit dem Geruchsstoff stimuliert wurde, wurde in einem zweiten Durchgang die jeweils andere Nasenseite stimuliert. Im Anschluss

mussten die Teilnehmer für jede Nasenseite bestimmen, ob die Stimulation im ersten oder im zweiten Durchgang eine stärkere trigeminale Empfindung erzeugt hatte. Dieses Verfahren wurden genutzt, um bei Anosmikern und Normosmikern trigeminale Schwellen zu bestimmen. Hierfür wurde die Prozedur mit unterschiedlichen Konzentrationsstufen durchgeführt. Die Ergebnisse erbrachten keinen Hinweis auf Unterschiede in den Schwellen zwischen Anosmikern und Normosmikern. Ebenfalls keine Unterschiede fanden Cometto-Muniz und Mitarbeiter (Cometto-Muniz, Cain, Abraham & Kumarsingh, 1998), die mit demselben Verfahren die trigeminalen Eigenschaften von Terpenen untersuchten. In einer weiteren Studie wurden ebenfalls mit einer Lateralisierungsaufgabe sowohl Unterschiede in den trigeminalen Schwellen als auch in der Augen-Reizung durch die trigeminalen Geruchsstoff 1-Butanol und 2-Heptanol untersucht, ohne dass dabei Unterschiede zwischen Anosmikern und Normosmikern auftraten (Cometto-Muniz, Cain, Abraham & Gola, 1999). Diese Studien zeigen somit, dass Lateralisierungsparadigmen angewendet werden können, wenn trigeminale Eigenschaften untersucht werden sollen.

5.1.6.2 Lateralisierungsaufgaben mit olfaktorischen Geruchsstoffen

Bereits 1925 stellte von Skramlik die Hypothese auf, dass olfaktorische Geruchsstoffe nicht lateralisiert werden können (von Skramlik, 1925). Es konnte gezeigt werden, dass Vanillin nicht lokalisiert werden kann (Kobal et al., 1989). Es konnte auch in einer aktuelleren Studie gezeigt werden, dass die olfaktorischen Geruchsstoffe Vanillin und Phenyl-Ethanol nicht lateralisiert werden können (Radil & Wysocki, 1998). Für verschiedene Terpene wurde untersucht, ob diese lokalisiert werden können und es wurden ebenfalls die trigeminalen Schwellen bestimmt (Cometto-Muniz et al., 1999). Unter anderem wurde hierfür Geraniol verwendet. Es zeigt sich, dass Geraniol in 80% der Fälle zu keiner trigeminalen Wahrnehmung bei Anosmikern führte und ebenfalls sowohl von Anosmikern als auch Normosmikern nicht lokalisiert werden konnte. Porter und Mitarbeiter (Porter, Anand, Johnson, Kahn & Sobel, 2005) untersuchten die Lateralisierbarkeit von Eugenol und Phenyl-Ethanol. Im Vergleich mit dem trigeminalen Geruchsstoff Proprion-Säure zeigte sich, dass dieser trigeminale Geruchsstoff lateralisiert werden konnte, während dies für den olfaktorischen Geruchsstoff Eugenol nicht möglich war. Überraschender Weise konnte Phenyl-Ethanol lateralisiert werden. Anosmiker waren jedoch nicht in der Lage Phenyl-Ethanol und Eugenol zu lateralisieren. Sie argumentierten, dass folglich auch olfaktorische Lateralisierbarkeit an Hand der Aktivität im Piriformen Kortex möglich ist. Betrachtet man die Ergebnisse von Doty und Mitarbeitern (Doty et al.,

1978) zeigt sich, dass für die Geruchsstoffe Phenyl-Ethanol und Eugenol jeweils nur einer von fünfzehn Anosmikern in der Lage war diese zu detektieren. Im Gegensatz dazu berichteten vier von fünfzehn gesunden Kontrollpersonen trigeminale Empfindungen bei Phenyl-Ethanol und nur zwei von fünfzehn trigeminale Empfindungen bei Eugenol. Sowohl in der Gruppe der Anosmiker als auch in der Gruppe der gesunden Kontrollpersonen zeigte sich, dass Proprion Säure als eindeutig trigeminal eingestuft werden kann. Zieht man hinzu, dass verschiedene Studien belegen konnten, dass Anosmiker eine geringe trigeminale Sensitivität besitzen, passen die Ergebnisse von Porter und Mitarbeitern (Porter et al., 2005) exakt zu den Daten von Doty (Doty et al., 1978). Je häufiger Normosmiker trigeminale Empfindungen bei den Geruchsstoffen Eugenol, Phenyl-Ethanol und Proprionsäure berichteten und je eher diese von Anosmiker detektiert werden konnten, desto besser konnten diese auch in den jeweiligen Gruppen aus der Studie von Porter und Mitarbeitern lateralisiert werden. Demnach scheint das Paradigma der Lateralisierung von Geruchsstoffen dazu geeignet zu sein, trigeminale Eigenschaften eines Geruchsstoffs bestimmen zu können.

5.1.7 Fragestellung

Die gängige Lehrmeinung geht davon aus, dass Geruchsstoffe nur dann lateralisiert werden können, wenn sie einen trigeminalen Anteil besitzen. Wenn dies der Fall ist, sollte die Lateralisierbarkeit von Geruchsstoffen einen Hinweis darauf erbringen, ob diese Geruchsstoffe primär olfaktorisch oder auch trigeminal sind. Die sechs für die Testkonstruktion ausgewählten Geruchsstoffe wurden danach ausgewählt, dass sie als primär olfaktorisch eingestuft werden können. Wenn sie olfaktorisch sind, sollten sie folglich auch nicht lateralisiert werden können. Wenn sie jedoch auch einen trigeminalen Anteil besitzen, was nicht ausgeschlossen werden kann, da Vanillin der einzige Geruchsstoff ist, der nicht von Anosmikern detektiert werden konnte (Doty et al., 1978), wäre eine Lateralisierbarkeit möglich.

In dieser Studie sollte die Fragestellung untersucht werden, ob die sechs Geruchsstoffe in den für die Testaufgaben vorgesehenen Konzentrationen zu einer trigeminalen Aktivierung führen und ob sich diese quantifizieren lässt. Als Paradigma wurde ein Lateralisierungparadigma mit birhinaler Stimulation verwendet.

5.2 Methoden

Im folgenden Abschnitt werden die Stichprobe, die Versuchsplanung und der Versuchsaufbau der Studie Lateralisierung beschrieben. Es wird zusätzlich detailliert auf die für diese Studie entwickelte Apparatur eingegangen.

5.2.1 Stichprobe

Die Studie wurde vom 22. Mai 2007 bis zum 14. Juni 2007 durchgeführt. Die Testung erfolgte in einem Laborraum der Heinrich-Heine-Universität in Düsseldorf. Die Teilnahme an der Studie erfolgte freiwillig. Die Studienteilnehmer wurden von den zehn Experimentatoren rekrutiert, die die Studie durchführten. Die Teilnehmer wurden vor Beginn der Studie über die Aufgabe in der Studie, sowie das Ziel der Studie umfassend informiert. Sie wurden ebenfalls informiert, dass ihre Teilnahme freiwillig erfolgt und ihre Daten vertraulich behandelt werden sowie dass sie jederzeit die Studie ohne Angaben von Gründen beenden können ohne dass sich daraus ein Nachteil für sie ergeben würde. An dem Experiment nahmen insgesamt 60 Versuchspersonen im Alter von 18 bis 40 Jahren teil (M = 23,3, SD = 4,4). Der Faktor Geschlecht wurde balanciert. Das Alter unterschied sich zwischen männlichen Teilnehmern (M = 22,9, SD = 3,9) und weiblichen Teilnehmern (M = 23,5, SD = 4,6) nicht (t_{58} = 0,58, p = 0,564). Alle Teilnehmer versicherten nach Selbstauskunft, dass keines der festgelegten Ausschlusskriterien zutreffend war (Alzheimer-Demenz, Parkinson-Erkrankung, Depression, Schizophrenie, Essstörungen, Epilepsie, Korsakow-Syndrom, Chorea-Huntington, Schädel-Hirn-Trauma, Multiple-Sklerose, HIV, neurochirurgische Eingriffe, Stoffwechselstörungen, Riechstörungen, Erkrankungen der Nase oder des oberen Respirationstrakts, grippale Infekt, akute Allergien, chirurgische Eingriffe im Bereich der Nase, regelmäßige Medikamenteneinnahme, Drogenkonsum, hormonelle Erkrankungen, chronische Erkrankungen und Behinderungen) Im Gegensatz zu der Studie Intensitätsmatching wurden Raucher von der Teilnahme ebenfalls ausgeschlossen. Auch wenn sich in der vorangehenden Studie kein Einfluss des Rauchverhaltens auf die Ergebnisse gezeigt hatte, wurde bei der Auswahl der Studienteilnehmer konservativ vorgegangen. Personen zählten dann zu der Gruppe der Raucher, wenn sie mindestens sieben Zigaretten pro Woche rauchen. Da den Interessenten die Ausschlusskriterien vorab mitgeteilt wurden, haben sich auch nur die Interessenten für eine Teilnahme gemeldet, auf die Ausschlusskriterien nicht zutrafen, so dass kein potentieller Teilnehmer ausgeschlossen werden musste. Die Auswahl der Teilnehmer erfolgte zufällig. Da die Studie mit 10 Experimentatoren durchgeführt wurde, erhielt jeder der Experimentatoren die Aufgabe, sechs

Studienteilnehmer zu rekrutieren. Wie die Rekrutierung zu erfolgen hatte, wurde nicht vorgegeben. Die Dauer der Studie betrug rund 30 Minuten. Für die Teilnahme an der Studie erhielten alle Teilnehmer Süßigkeiten als Aufwandsentschädigung. Die Teilnahme erfolgte freiwillig. Die Teilnehmer gaben ihr Einverständnis zu der Teilnahme mündlich, nachdem sie umfassend über die Studie und die Teilnahme informiert wurden.

5.2.2 Aufgabe

Alle Studienteilnehmer durchliefen die gleiche Aufgabe, die im Folgenden als *Lateralisierungs-Aufgabe* bezeichnet wird. Die Aufgabe der Studienteilnehmer bestand darin, für jeden der sechs Geruchsstoffe Phenyl-Ethanol, Kumarin, Dekansäure, Geraniol, Eugenol und Vanillin jeweils anzugeben, ob diese in dem linken oder dem rechten Nasenloch präsentiert wurden. Hierfür wurde jeweils auf einem Nasenloch ein Geruchsstoff präsentiert, während auf der anderen Seite der Nase das Lösungsmittel Diethyl-phtalat als Kontrolle präsentiert wurde, in dem alle sechs Geruchsstoffe gelöst wurden. Die Aufgabe wurde in einem 2-Alternativen Forced-choice-Verfahren realisiert, das heißt die Teilnehmer mussten sich immer für eine Nasenseite entscheiden. Jeder Geruchsstoff wurde zehn Mal messwiederholt präsentiert.

5.2.3 Versuchsmaterial

In dem folgenden Abschnitt werden die Stimuli, die Apparatur, die speziell für diese Studie entworfen wurde, sowie das übrige Versuchsmaterial beschrieben.

5.2.3.1 Stimuli

Für die Herstellung der Geruchsproben wurden alle sechs Geruchsstoffe Phenyl-Ethanol, Kumarin, Dekansäure, Geraniol, Eugenol und Vanillin verwendet. Diese wurden nach den im Abschnitt 3.2.4.1 beschrieben Verfahren zum Umgang mit flüssigen und festen Chemikalien hergestellt. Die drei festen Geruchsstoffe Kumarin, Dekansäure und Vanillin wurden zunächst in Diethyl-phtalat gelöst. Die notwendigen Konzentrationen aller sechs Geruchsstoffe wurden durch Verdünnung mit Diethyl-phtalat erzeugt. Für den Kontrollstimulus, der auf dem gegenüberliegenden Nasenloch präsentiert werden sollte, in dem kein Geruchsstoff präsentiert wird, wurde Diethyl-phtalat aus der gleichen Charge verwendet, wie zur Verdünnung der Ge-

ruchsstoffe. Die Auswahl der Konzentrationen richtete sich nach den in der vorangehenden Studie Intensitätsmatching ermittelten Konzentrationen (Tabelle 5-2). Die fertigen Geruchsproben wurden nach dem Ansetzen bei Raumtemperatur gelagert (21 C° ±1C°). Die Lagertemperatur richtete sich damit auch in dieser Studie nach der Chemikalie Diethyl-phtalat, die in den Geruchsproben den größten Anteil besitzt und bei Raumtemperatur gelagert werden sollte. Die Geruchsstoffe wurden unmittelbar vor Beginn der Studie angesetzt. Die angesetzten Geruchsstoffe wurden für die gesamte Studiendauer von rund einem Monat verwendet.

Tabelle 5-2: *Verwendete Konzentrationen der sechs Geruchsstoffe.*

Geruchsstoff	**Konzentration**
Kumarin	1:5
Eugenol	1:40
Geraniol	1:40
Phenyl-Ethanol	1:10
Dekansäure	1:40
Vanillin	1:10

5.2.3.2 Apparatur

Für die Präsentation der Geruchsstoffe musste eine Apparatur entworfen werden, mit der die Geruchsstoffe und der Kontrollstimulus in separate Nasenlöcher gegeben werden können. Als Basis für diese Apparatur diente eine 40cm x 40cm große Holzplatte. Auf dieser wurden Kanthölzer im Winkel von 30° zur Stirnfläche so befestigt, dass sie zwei Schienen bilden, in die zwei Module geschoben werden konnten. Die Module dienten als Träger für die Flaschen mit den Geruchsproben. Jedes Modul besaß zwei Aussparungen. Eine Aussparung wurde für die Aufnahme einer Flasche mit dem Geruchsstoff verwendet und die andere Aussparung für die Aufnahme einer Flasche mit Aktivkohle. Mit einem Modul konnte ein Nasenloch angesteuert werden. Die Apparatur ist in Abbildung 5-3 dargestellt. Den Querschnitt eines Moduls zeigt Abbildung 5-4.

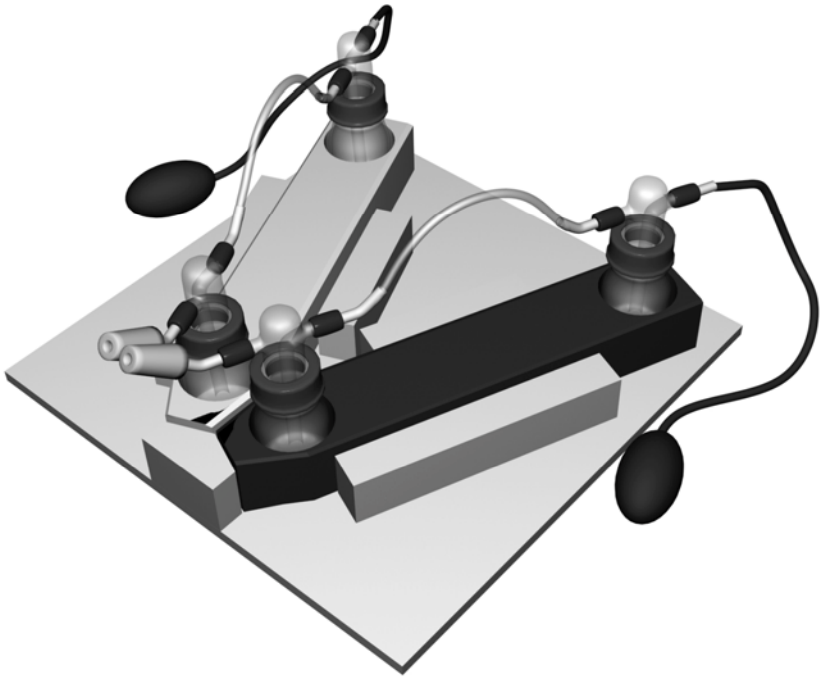


Abbildung 5-3: Modell der verwendeten Apparatur. Für die grafische Veranschaulichung ist ein *Modul* (siehe Text) schwarz gefärbt.

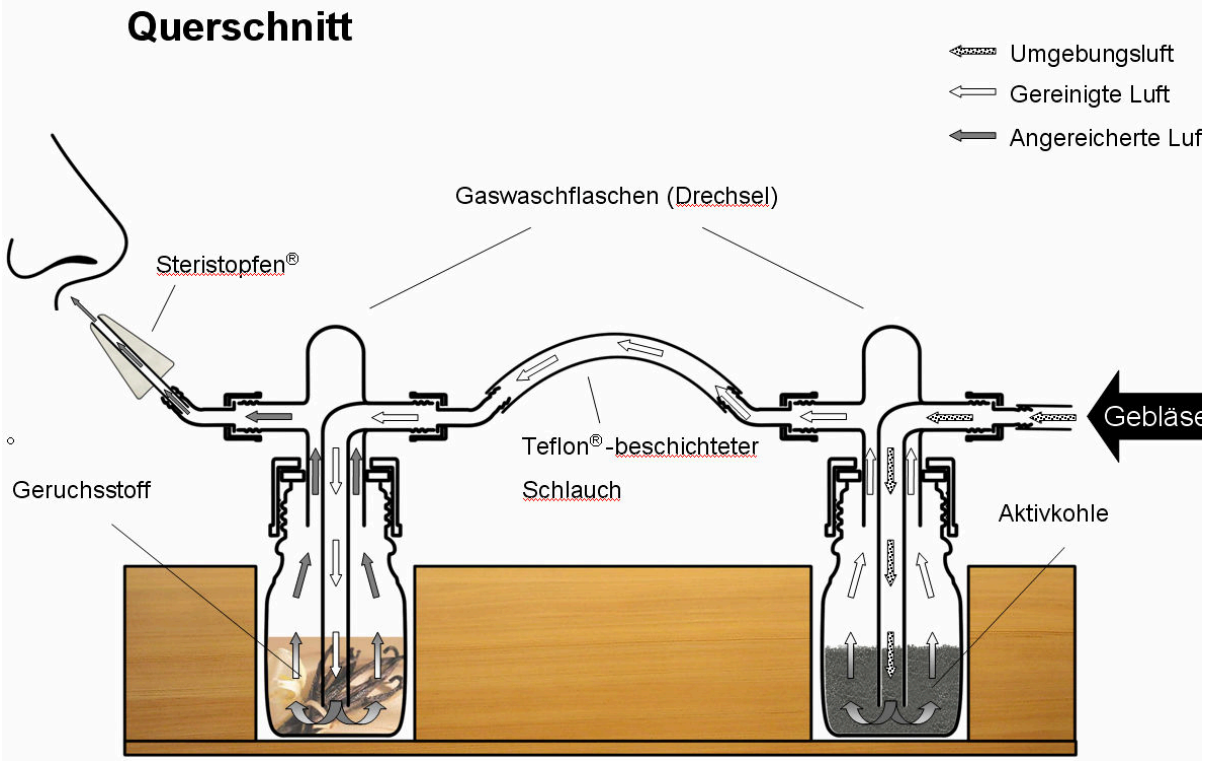


Abbildung 5-4: Querschnitt eines Moduls.

Die Umgebungsluft wird mit Hilfe eines Handgebläses (Doppelgebläse, Bestellnummer 9.270.990; Behr Labor-Technik Düsseldorf) zunächst in eine mit 20g Aktivkohle gefüllte Gaswaschflasche geblasen. Für die Flaschen wurden 100ml Schott-Duran-Weithalsfalschen aus Braunglas verwendet. Die Gaswaschflaschenaufsätze nach Drechsel wurden in der Universitäts-Glasbläserei nach dem Modell von Schott-Duran (Artikelnummer 24.713.02) angefertigt. Die Aktivkohle reinigt die Umgebungsluft von Verunreinigungen und filtert auch den Latexgeruch des Doppelgebläses. Die gereinigte Luft gelangte durch einen 15cm langen, PTFE-beschichteten Schlauch (Durchmesser 5mm) in eine zweite Gaswaschfalsche, in der sich 40 ml Geruchsstoff befanden. In dieser Flasche wurde die gereinigte Umgebungsluft mit dem Geruchsstoff angereichert. Am Ausgang dieser Flasche befand sich das Nasenstück, durch das die angereicherte Luft in ein Nasenloch gelangen konnte. Als Nasenstück wurde ein konischer Wattestopfen verwendet (Steristopfen, Gr. 13; Artikelnr. 1011300, Heinz Herenz GmbH), der über einen 5cm langen PTFE-beschichteten Schlauch (Durchmesser 3mm) geschoben wurde. Der Wattestopfen verhinderte, dass der Studienteilnehmer seine Nasenschleimhaut an dem Teflonschlauch verletzt und schloss zudem mit dem Nasenloch ab, so dass die angereicherte Luft vollständig in das Naseninnere gelangte. Die Wattestopfen besaßen zudem den entscheidenden Vorteil, dass sie kostengünstig sind. Somit konnten für jeden Studienteilnehmer aus hygienischen Gründen eigene Wattestopfen verwendet werden. Des Weiteren konnten die Stopfen auch ausgetauscht werden, wenn der Geruchsstoff gewechselt wurde, so dass mögliche Kontaminationen eines Stopfens durch einen Geruchsstoff keinen Einfluss auf einen anderen Geruchsstoff besaßen. Zudem wurde die Länge des Teflonschlauchs, der durch den Wattestopfen führt so gewählt, dass dieser minimal länger ist, als der Wattestopfen, so dass der Geruchsstoff nicht den Wattestopfen durchströmen konnte. Durch den Winkel der Module zueinander trafen die Nasenstücke beider Module optimal aufeinander, um in die beiden Nasenlöcher des Studienteilnehmers eingeführt werden zu können. Die Schlauchverbindungen der Flachen und das Doppelgebläse wurden über Schraubverbindungen, so genannten Oliven (Schott-Duran) an den Gaswaschflaschen befestigt. Ein Vorteil dieser Schraubverbindungen lag darin, dass die Geruchsstoffe während der Studie schnell ausgetauscht werden konnten. So verblieben die Gaswaschflaschen mit der Aktivkohle immer in den Modulen. Um einen Geruchsstoff auszutauschen musste lediglich die Schraubverbindung am Ausgang der Gaswaschflasche mit der Aktivkohle gelöst werden. Die Gaswaschflasche mit dem Geruchsstoff konnte dann samt Schlauchverbindung aus dem Modul genommen werden und mit einer Gaswaschflasche mit einem anderen Geruchsstoff getauscht werden. Um eine wechselseitige Kontamination der Geruchsstoffe zu minimieren, erhielt jeder Ge-

ruchsstoff eine eigene Schlauchverbindungen und ein eigenes Nasenstück, die nur für diesen verwendet wurden. Ein weiterer Vorteil der Schaubverbindungen bestand darin, dass am Ende eines Versuchs die Oliven mit Schraubverschlüssen getauscht werden konnten, so dass die Gaswaschflaschen zusammen mit Parafilm® luftdicht verschlossen werden konnten. Die Gaswaschflaschen und Schlauchverbindungen wurden mit gelbem Gewebeband etikettiert und in schwarz beschriftet. Damit die Studienteilnehmer die Anordnung der Flaschen in der Apparatur nicht sehen konnten, wurde die Apparatur während der Versuchsdurchgänge mit schwarzem, dickem Jeansstoff abgedeckt. Dieser wurde auf der Stirnseite der Apparatur, an der der Studienteilnehmer saß befestigt und über die Apparatur gelegt. Die Nasenstücke der beiden Module konnten durch zwei Ringösen gesteckt werden. Fotos der Originalapparatur zeigen Abbildung 5-5 und Abbildung 5-6. Die Flussstärke wurde mit einem Flussmesser bestimmt (M+W Instruments, Modell D-63210-FAB-BB-AP-14-A-FR-A). Die Flussstärken wurden vor Studienbeginn für sechs Rechtshänder bestimmt, wobei drei Frauen und drei Männer erfasst wurden. Für das Drücken mit der rechten Hand lagen die Flussstärken im Mittel bei 82,7 ml/s (SD = 10,8) und für das Drücken mit der linken Hand bei 80,1 ml/s (SD = 11,5). Die Flussstärken lagen zwischen 61,0 ml/s und 107,7 ml/s. Die Mittelwerte der Teilnehmer lagen zwischen 75,4 ml/s und 92,6 ml/s.

5.2.3.3 Teilnehmerbögen

Wie bereits in der ersten Studie, wurden auch in diese Studie Teilnehmerbögen verwendet, auf denen vermerkt war, in welcher Reihenfolge die Geruchsstoffe präsentiert werden sollten. Es war für jeden Geruchsstoff angegeben, in welcher Reihenfolge der Geruchsstoff in dem linken oder rechten Nasenloch präsentiert werden sollte. Die linke Seite wurde mit einem „l“ kodiert und die rechte Seite entsprechend mit einem „r“ kodiert. Ein exemplarischer Teilnehmerbogen ist im Anhang A3 dargestellt.

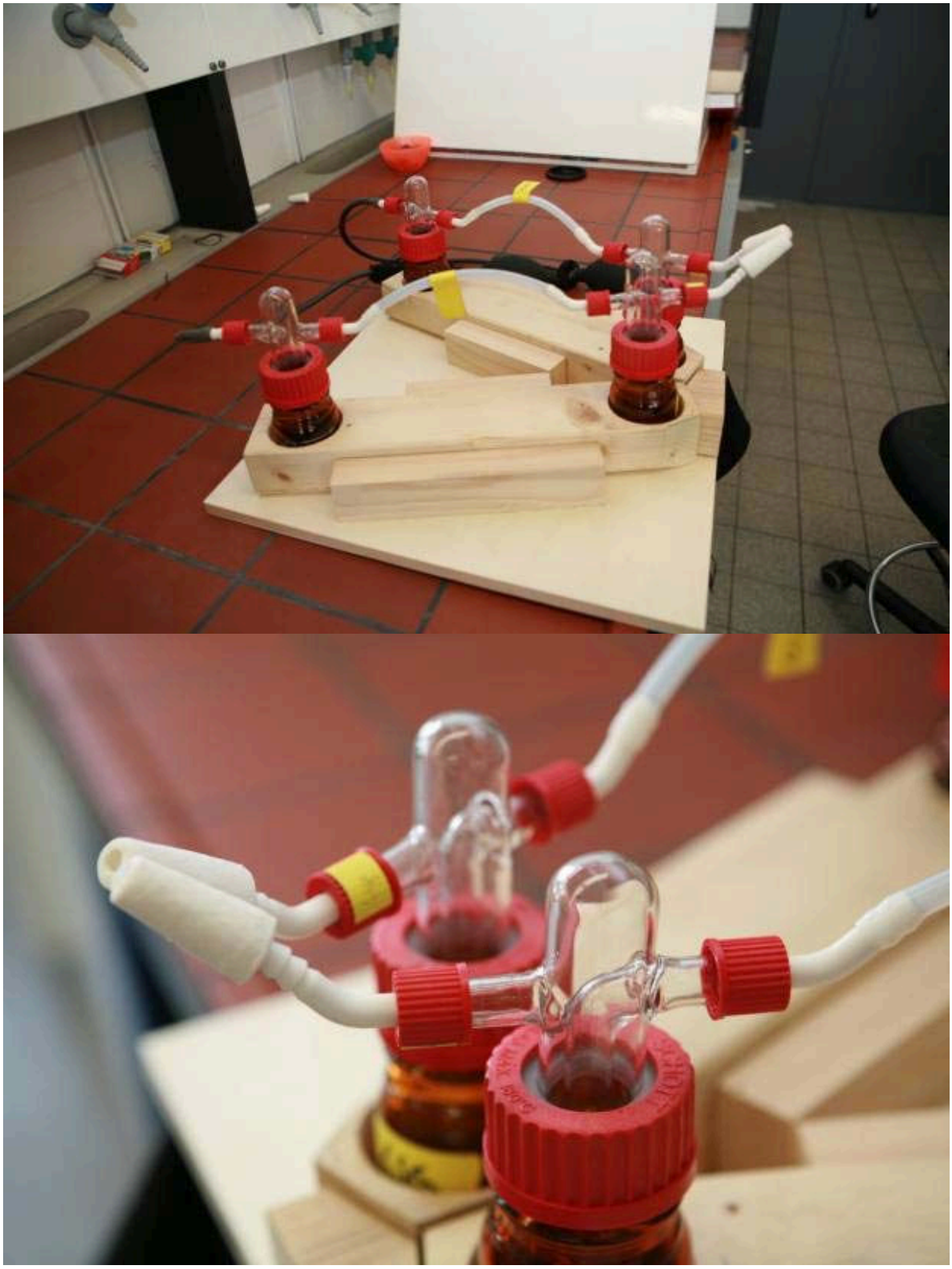


Abbildung 5-5: Apparatur im nicht abgedeckten Zustand.

Abbildung 5-6: Apparatur im abgedeckten Zustand.

5.2.3.4 Ratingbögen für die Studienteilnehmer

In dieser Studie wurden ebenfalls Valenz- und Intensitätsratings der Geruchsstoffe durch die Studienteilnehmer erfasst. Hierfür erhielt jeder Studienteilnehmer einen Ratingbogen, auf dem er die Valenz und die Intensität der Geruchsstoffe bewerten konnte (Anhang A4). Für die Bewertungen von Valenz und Intensität waren für jeden der sechs Geruchsstoffe visuelle Analogskalen mit einer Länge von 100mm vorgesehen. Die visuellen Analogskalen zur Erfassung der Valenz waren an ihren Extrempunkten auf der linken Seit mit „extrem unangenehm“ und auf der rechten Seite mit „extrem angenehm“ gekennzeichnet. Die visuellen Analogskalen für die Erfassung der Intensität erhielten die beiden Extremwerte „extrem schwach“ und „extrem stark“.

5.2.4 Design

5.2.4.1 Unabhängige Variable

Als unabhängige Variable wurde für jeden Geruchsstoff der Faktor „Präsentationsseite“ mit den beiden Stufen „links“ und „rechts“ variiert. So konnte der Geruchsstoff entweder auf der linken oder rechten Nasenseite präsentiert werden. Diese Variation wurde für jeden Geruchsstoff separat durchgeführt.

5.2.4.2 Abhängige Variablen

Als abhängige Variable wurde für jeden Geruchsstoff getrennt zum einen die nominalskalierte Variable „Lösung“ erfasst. Für diese wurden die Antworten in der Lateralisierungsaufgabe erfasst. Als richtige Antwort wurde gewertet, wenn der Teilnehmer die Seite auf der der Geruchsstoff präsentiert wurde richtig angeben konnte. Für die Auswertung wurden richtige Antworten mit „1“ und falsche Antworten mit „0“ gewertet. Da jeder Geruchsstoff 10-mal messwiederholt präsentiert wurde, wurden die Häufigkeiten richtiger Antworten für jeden Geruchsstoff ebenfalls in einem Summenwert zusammengefasst, so dass eine Auswertung mit parametrischen Testverfahren zulässig war. Hieraus ergab sich für jeden Geruchsstoff die intervallskalierte Variable „Lateralisierung“.

Als weitere abhängige Variablen wurden für jeden Geruchsstoff die intervallskalierten Variablen „Valenz“ und „Intensität“ erhoben, nachdem jeder Geruchsstoff 10-mal lateralisiert wurde. Für beide Variablen wurde erfasst, wo die Teilnehmer auf den entsprechenden visuellen Analogskalen den senkrechten Strich gesetzt hatten. Hierfür wurde die Distanz des Strichs vom linken Extrempunkt auf der Skala mit einem Lineal in Millimetern gemessen. Die 100mm langen Analogskalen kodierten damit 101 verschiedene Werte. Da die Distanz von den linken Extrempunkten gemessen wurde, repräsentieren hohe Werte in der Variable Valenz angenehme Gerüche und in der Variable Intensität starke Gerüche.

5.2.4.3 Balancierungs- und Gegenbalancierungs-Design

In der Studie wurde zum einen das Geschlecht der Teilnehmer balanciert. Ebenfalls balanciert wurde die „stimulierte Seite“, das heißt, es wurde jeder Geruchsstoff jeweils fünf Mal in das rechte und fünf Mal in das linke Nasenloch gegeben. Die Abfolge der links- beziehungsweise rechtsseitigen Darbietung wurde für jede Versuchsperson und jeden Geruch individuell randomisiert. Weiterhin wurde die Reihenfolge gegenbalanciert, in der die Geruchsstoffe präsentiert wurden. Das Gegenbalancierungs-Design der Geruchsabfolgen erfüllte folgende Bedingungen:

1. Jeder Geruch wird zu jedem Messzeitpunkt gleich häufig dargeboten
2. Jeder Geruch wird in der Abfolge der sechs Geruchsstoffe gleich häufig vor und hinter jedem anderen Geruch dargeboten.

Das Gegenbalancierungs-Design mit sechs verschiedenen Abfolgen der Geruchstoffe zeigt Tabelle 5-7.

Tabelle 5-7: *Gegenbalancierungs-Design.*

Geruch 1	Geruch 2	Geruch 3	Geruch 4	Geruch 5	Geruch 6
Geruch 2	Geruch 4	Geruch 6	Geruch 1	Geruch 3	Geruch 5
Geruch 3	Geruch 6	Geruch 2	Geruch 5	Geruch 1	Geruch 4
Geruch 4	Geruch 1	Geruch 5	Geruch 2	Geruch 6	Geruch 3
Geruch 5	Geruch 3	Geruch 1	Geruch 6	Geruch 4	Geruch 2
Geruch 6	Geruch 5	Geruch 4	Geruch 3	Geruch 2	Geruch 1

Anmerkungen. Dargestellt ist das Gegenbalancierungs-Design für die Reihenfolge der sechs Geruchsstoffe. Eine Zuordnung der Geruchsstoffe zu den Gerüchen 1 bis 6 in der Tabelle kann beliebig erfolgen.

5.2.5 Studiendurchführung

Tabelle 5-8 zeigt schematisch den Ablauf der Studie. Nachdem die Teilnehmer ihr Einverständnis für die Teilnahme gegeben hatten, wurden sie durch Urnenziehung randomisiert einer von sechs verschiedenen Versuchsabfolgen zugewiesen (Abschnitt 5.2.4.3). Die Teilnehmer wurden vor der Apparatur auf einem drehbaren Bürostuhl platziert und dazu aufgefordert, sich für das Riechen die Wattestopfen des Nasenstücks in die beiden Nasenlöcher zu stecken, so dass diese in den Nasenlöchern stecken und mit diesen abschließen. Durch die gewählte Größe der Steristopfen® konnten Studienteilnehmer mit kleinen und mit großen Nasen gleichermaßen dieser Aufforderung nachkommen. Ihnen wurde freigestellt, die Wattestopfen mit den Fingern festzuhalten. Für die Präsentation des Geruchsstoffs wurden durch den Experimentator die beiden Handpumpen der beiden Module mit beiden Händen zeitgleich zusammengedrückt. Die Teilnehmer erhielten die Instruktion, nicht aktiv einzuatmen, wenn ihnen der Geruchsstoff in die Nase gepustet wurde. Anschließend mussten sie eine Antwort abgeben, auf welcher Nasenseite sie den Geruchsstoff gerochen haben.

Tabelle 5-8: *Schematischer Ablauf der Studie Lateralisierung.*

1.	**Einführung** (Begrüßung, Versuchsinformationen, Ausschlusskriterien, Einverständnis, Einführung in die Aufgabe)
2.	**Erster Durchgang** • Zehnmalige Präsentation des ersten Geruchsstoffs auf entweder dem linken oder dem rechten Nasenloch • Aufgabe des Teilnehmers: Lateralisierung des Geruchsstoffs • Valenz- und Intensitätsrating für den ersten Geruchsstoff
3.	**Zweiter Durchgang** • Zehnmalige Präsentation des zweiten Geruchsstoffs auf entweder dem linken oder dem rechten Nasenloch • Aufgabe des Teilnehmers: Lateralisierung des Geruchsstoffs • Valenz- und Intensitätsrating für den zweiten Geruchsstoff
4.	**Dritter Durchgang** • Zehnmalige Präsentation des dritten Geruchsstoffs auf entweder dem linken oder dem rechten Nasenloch • Aufgabe des Teilnehmers: Lateralisierung des Geruchsstoffs • Valenz- und Intensitätsrating für den dritten Geruchsstoff
5.	**Vierter Durchgang** • Zehnmalige Präsentation des vierten Geruchsstoffs auf entweder dem linken oder dem rechten Nasenloch • Aufgabe des Teilnehmers: Lateralisierung des Geruchsstoffs • Valenz- und Intensitätsrating für den vierten Geruchsstoff
6.	**Fünfter Durchgang** • Zehnmalige Präsentation des fünften Geruchsstoffs auf entweder dem linken oder dem rechten Nasenloch • Aufgabe des Teilnehmers: Lateralisierung des Geruchsstoffs • Valenz- und Intensitätsrating für den fünften Geruchsstoff
7.	**Sechster Durchgang** • Zehnmalige Präsentation des sechsten Geruchsstoffs auf entweder dem linken oder dem rechten Nasenloch • Aufgabe des Teilnehmers: Lateralisierung des Geruchsstoffs Valenz- und Intensitätsrating für den sechsten Geruchsstoff
8.	**Abschluss** (Abschließendes Gespräch mit Teilnehmern zur Klärung offener Fragen des Teilnehmers)

Anmerkungen. Die Zuweisung der Geruchsstoffe zu den 5 Durchgängen erfolgte entsprechend des Studiendesigns (Abschnitt 5.2.4.3).

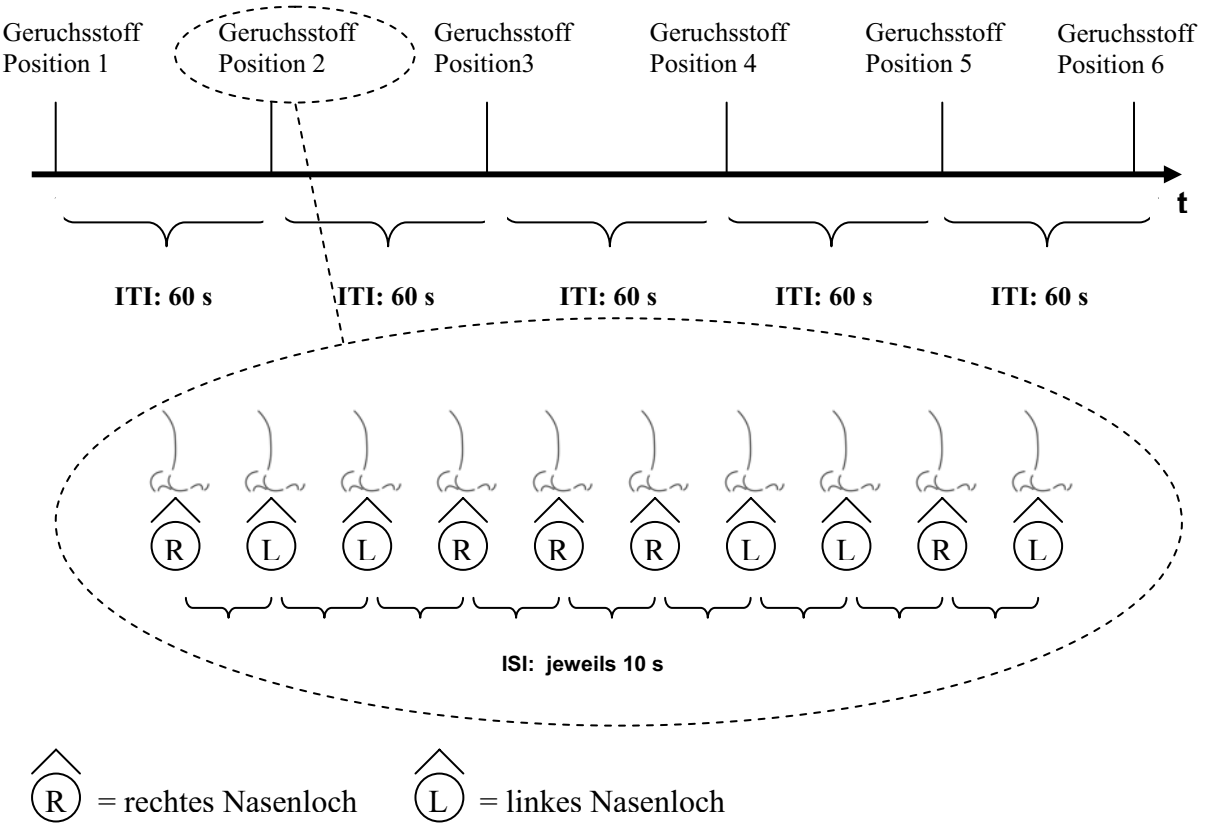


Abbildung 5-9: Dargestellt ist die zeitliche Abfolge, in denen die Geruchsstoffe präsentiert wurden. Die Intervalle zwischen den Geruchsproben eines Geruchsstoffs sind exemplarisch für den Geruchsstoff an der 2. Position dargestellt. Die Reihenfolge, welche Nasenseite stimuliert wurde ist beispielhaft gewählt.

Die Positionen der Module musste regelmäßig gewechselt werden. Aus diesem Grund erhielten die Teilnehmer die Aufforderung, sich nach jedem Durchgang umzudrehen und einen Punkt auf der gegenüberliegenden Seite des Labors zu fixieren. Nachdem sich die Teilnehmer umgedreht hatten, wurden nach jedem Durchgang zunächst der schwarze Jeansstoff, mit dem die Apparatur abgedeckt war von dieser entfernt und die Module aus ihren Schienen genommen und neben die Apparatur gestellt. Wenn die Nasenseite nicht gewechselt werden musste, wurden die Module wieder in dieselben Schienen wie zuvor gestellt. Musste die Nasenseite gewechselt werden, wurden die Module in die jeweils anderen Schienen gestellt. Um zu gewährleisten, dass unabhängig davon, ob die Seite gewechselt werden musste oder nicht, der Teilnehmer immer den gleichen Eindruck von den Geräuschen, die durch das Umsetzen erzeugt werden, und von der Zeit, die zwischen zwei Durchgängen lag hatte, assistierte der Studienleiter jedem Experimentator während der Studie. Zudem wurde das Umsetzen zuvor ausgiebig geübt, bis das Umsetzen gleichmäßig und reibungslos erfolgte. Damit die Teilnehmer

die geringfügig unterschiedlichen Formen der Wattestopfen nicht als Hinweisreize verwenden konnten, auf welcher Seite sich der Geruchsstoff befindet, wurden die Seiten, auf die die Wattestopfen gesteckt wurden konstant gehalten. Zusätzlich dazu wurden beide Wattestopfen nach jedem Geruchsstoff gewechselt.

Abbildung 5-9 zeigt schematisch den zeitlichen Ablauf der Sitzungen. Das Zwischen-Durchgangs-Intervall (ITI), das heißt, dass Intervall zwischen zwei Geruchsstoffen wurde auf 60 Sekunden festgelegt. Das Zwischen-Stimulus-Intervall, das heißt die Zeit zwischen zwei Durchgängen mit einem Geruchsstoff betrug jeweils mindestens 10 Sekunden. Die Zeiten wurden mit einer Stoppuhr kontrolliert. Abweichungen der Intervalle nach oben konnten durch die unterschiedliche Geschwindigkeit bedingt sein mit der sich die Teilnehmer umdrehten oder sich die Wattestopfen in die Nasenlöcher einführten. Nachdem ein Teilnehmer alle zehn Durchgänge mit einem Geruchsstoff durchlaufen hatte, wurde er instruiert, die Valenz und die Intensität des Geruchsstoffs auf seinem Ratingbogen zu bewerten (vergleiche Abschnitt 5.2.3.4).

5.2.6 Hypothesen

Das Ziel dieser Studie bestand darin zu untersuchen, ob die verwendeten Geruchsstoffe olfaktorisch oder trigeminal sind. Da die Geruchsstoffe danach ausgewählt wurden, dass sie in der Literatur als olfaktorisch beschrieben werden, wurde erwartet, dass keiner der sechs Geruchsstoffe lateralisiert werden kann. In der Studie von Doty (Doty, et al., 1978) wurden jedoch alle Geruchsstoffe, mit Ausnahme von Vanillin, auch von einem kleinen Anteil Anosmikern erkannt, so dass nicht ausgeschlossen werden kann, dass die verwendeten Geruchsstoffe auch einen trigeminalen Anteil enthalten. Da jeder Geruchsstoff 10-mal präsentiert wurde, und die Ratewahrscheinlichkeit für eine richtige Antwort bei einer 2-Alternativen Forced-choice-Prozedur bei 0.5 liegt, wurden folgende Null- und Alternativhypothese formuliert:

Nullhypothese: Die Wahrscheinlichkeit für eine richtige Lateralisierung der sechs Geruchsstoffe liegt für den Mittelwert jedes Geruchsstoffs ($X_{Lateralisierung}$) auf dem Niveau der Ratewahrscheinlichkeit oder darunter.
Daraus folgt: $X_{Lateralisierung} <= 5$.

Alternativhypothese: Die Wahrscheinlichkeit für eine richtige Lateralisierung der Geruchsstoffe ist für den Mittelwert jedes Geruchsstoffs ($X_{Lateralisierung}$) als die Wahrscheinlichkeit für eine Antwort auf Zufallsniveau. Daraus folgt: $X_{Lateralisierung} > 5$.

Die inferenzstatistische Auswertung wurde für jeden der sechs Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol, Dekansäure und Vanillin mit einem Einstichproben-t-Test gegen den Wert 5 vorgenommen. Das α-Niveau wurde auf .05 festgesetzt. Da erwartet wurde, dass die sechs Geruchsstoffe nicht lateralisiert werden können, wurde die Konvention getroffen, dass dieses als wahrscheinlich angesehen werden kann, wenn gilt $\alpha > .25$. Auf Grund der metrischen Datenstruktur in allen Abhängigen Variablen wurden parametrische Testverfahren angewendet. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SPSS 16.0. Die Effektstärke *d* wurde mit dem Programm G-Power 3.0 bestimmt (Faul et al., 2004). Nach Cohen (1988) indiziert $d = 0{,}2$ einen kleinen, $d = 0{,}5$ einen mittleren und $d = 0{,}8$ einen großen Effekt.

5.3 Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt folgt zunächst die hypothesengeleitete Auswertung der Fragestellung, ob die sechs Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol, Dekansäure und Vanillin lateralisiert werden konnten. Im Anschluss folgt für die post-hoc Auswertung der Daten die Analyse, ob es einen Einfluss der Valenzratings, der Intensitätsratings, der Positionen der Geruchsstoffe im Versuchsablauf, der Präsentationsseite oder des Geschlechts der Teilnehmer gegeben hatte. Abschließend folgt die Auswertung der Valenz- und Intensitätsratings.

5.3.1 Hypothesengeleitet Auswertung für die Abhängige Variable Lateralisierung

Jeder Geruchsstoff wurde im Versuchsablauf 10-mal hintereinander präsentiert und musste lateralisiert werden. Da sich die Teilnehmer immer für eine Antwort entscheiden mussten, liegt die Ratewahrscheinlichkeit für eine richtige Antwort bei 0.5. Wenn die Geruchsstoffe lateralisiert werden können, müssten sie im Mittel über 5-mal richtig lateralisiert werden können. Abbildung 5-10 zeigt grafisch für jeden der sechs Geruchsstoffe die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Variable Lateralisierung.

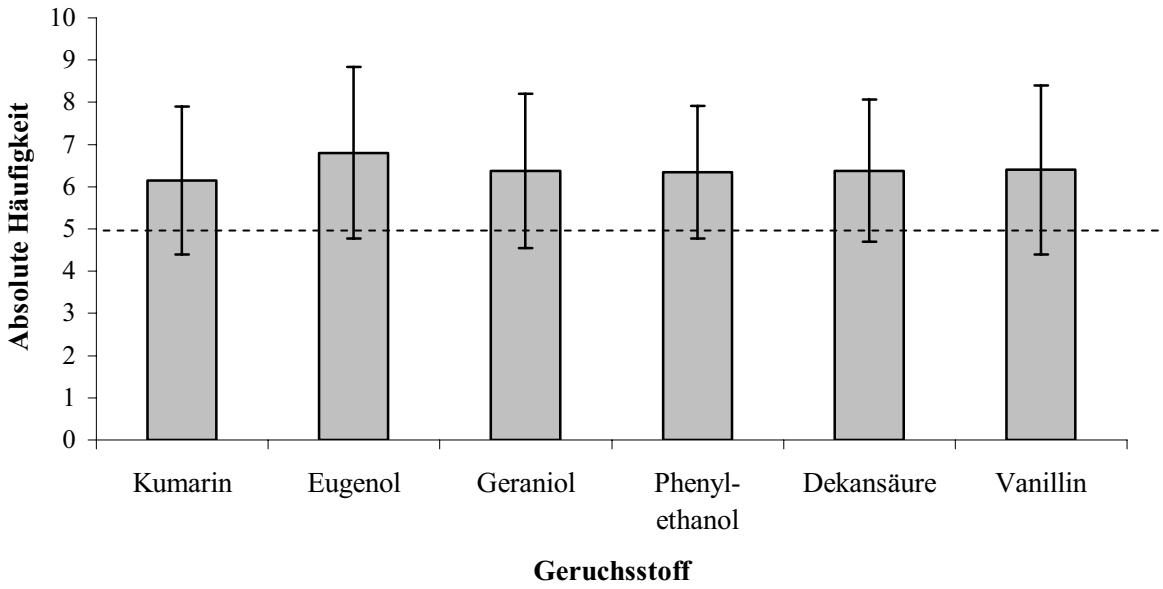


Abbildung 5-10: Mittelwerte und Standardabweichungen für die Variable Lateralisierung. Es ist dargestellt, wie häufig die sechs Geruchsstoffe im Mittel richtig lateralisiert wurden. Die Ratewahrscheinlichkeit läge bei 5 richtigen Antworten (gestrichelte Linie).

Für jeden der sechs Geruchsstoffe wurde ein Einstichproben-t-Test gegen den kritischen Wert 5 gerechnet. Alle gerechneten Tests wurden signifikant (Tabelle 5-11). Für jeden Geruchsstoff kann folglich die Nullhypothese abgelehnt werden, dass die Geruchsstoffe nicht lateralisierbar sind.

Tabelle 5-11: *Ergebnisse der gerechneten Einstichproben-t-Tests für die Abhängige Variable Lateralisierung.*

Geruchsstoff	M ± SD	*t*	*df*	*p*	*d*
Kumarin	6,15 ± 1,75	5,11	59	< 0,001	0,66
Eugenol	6,80 ± 2,03	7,87	59	< 0,001	1,02
Geraniol	6,37 ± 1,83	5,78	59	< 0,001	0,75
Phenyl-Ethanol	6,35 ± 1,57	6,88	59	< 0,001	0,89
Dekansäure	6,38 ± 1,68	6,57	59	< 0,001	0,85
Vanillin	6,40 ± 2,00	5,42	59	< 0,001	0,70

Anmerkungen. Dargestellt sind die Mittelwerte und Standardabweichungen, sowie die Ergebnisse der Einstichproben-t-Tests, die gegen den kritischen Wert 5 gerechnet wurden.

5.3.2 Post-hoc Auswertung der Daten in der Lateralisierungsaufgabe

5.3.2.1 Zusammenhang zwischen den Geruchsstoffen

Es wurde explorativ untersucht, ob die Teilnehmer unterschiedlich gut in der Lage waren die Geruchsstoffe zu lateralisieren. Wenn es generell Teilnehmer gab, die Geruchsstoffe besser lateralisieren können als andere Teilnehmer, müssten zwischen den Häufigkeiten richtiger Antworten zwischen den Geruchsstoffen positive Korrelationen vorliegen. Die Pearsonschen Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang der Mittelwerte richtiger Antworten zwischen den jeweiligen Geruchsstoffen sind in Tabelle 5-12 dargestellt. Wie sich zeigte, sind für die meisten Geruchsstoffe die Häufigkeiten richtiger Antworten für die Variable Lateralisierung mit einander korreliert, mit Ausnahme des Geruchsstoffs Dekansäure, mit dem keiner der anderen Geruchsstoffe korrelierte sowie mit Ausnahme der Korrelation zwischen den Geruchsstoffen Kumarin und Geraniol, bei denen sich jedoch tendenzielle ein linearer Zusammenhang zeigte. Wenn die Lateralisierbarkeit somit von der Fähigkeit der Teilnehmer beein-

flusst wird, sollten die Geruchsstoffe, mit Ausnahme des Geruchsstoffs Dekansäure, in Bezug auf die Eigenschaft, die ihre Lateralisierbarkeit bedingt, vergleichbar sein.

Tabelle 5-12: *Dreiecksmatrix für die korrelativen Zusammenhänge zwischen den richtigen Antworten der sechs Geruchsstoffe.*

	Kumarin	**Eugenol**	**Geraniol**	**Phenyl-Ethanol**	**Dekansäure**	**Vanillin**
Kumarin						
Eugenol	$r_p = 0{,}38$ $p = 0{,}003$					
Geraniol	$r_p = 0{,}22$ $p = 0{,}098$	$r_p = 0{,}51$ $p < 0{,}001$				
Phenyl-Ethanol	$r_p = 0{,}35$ $p = 0{,}006$	$r_p = 0{,}28$ $p = 0{,}034$	$r_p = 0{,}40$ $p = 0{,}002$			
Dekansäure	$r_p = 0{,}12$ $p = 0{,}347$	$r_p = -0{,}02$ $p = 0{,}861$	$r_p = 0{,}14$ $p = 0{,}294$	$r_p = 0{,}21$ $p = 0{,}103$		
Vanillin	$r_p = 0{,}50$ $p < 0{,}001$	$r_p = 0{,}49$ $p < 0{,}001$	$r_p = 0{,}32$ $p = 0{,}013$	$r_p = 0{,}32$ $p = 0{,}013$	$r_p = 0{,}19$ $p = 0{,}140$	

Anmerkungen. Signifikante Korrelationen sind grau hinterlegt.

5.3.2.2 Einfluss der Valenz- und Intensitätsratings auf die Häufigkeiten richtiger Antworten

Des Weiteren wurde untersucht, ob es einen Einfluss der Valenz- und Intensitätsratings gegeben hatte. Hierfür wurden die Korrelation zwischen den jeweiligen Ratings in den beiden Abhängigen Variablen *Intensität* und *Valenz* und den richtigen Antworten für die Variable *Lateralisierung* gebildet. Auch hierfür wurde der Korrelationskoeffizient von Pearson verwendet. Es wies jedoch keine Berechnung auf einen linearen Zusammenhang zwischen den Valenz- und den Intensitätsratings mit den richtigen Antworten hin. Die Korrelationen und p-Werte sind in Tabelle 5-13 dargestellt. Folglich steht die Fähigkeit Geruchsstoffe lateralisieren zu können nicht in einem linearen Zusammenhang mit der wahrgenommenen Intensität oder Valenz.

Tabelle 5-13: *Korrelationen zwischen den Häufigkeiten richtiger Antworten und den Valenz- beziehungsweise Intensitätsratings.*

	Intensität		Valenz	
Geruchsstoff	r_p	p	r_p	p
Kumarin	0,10	0,432	-0,10	0,466
Eugenol	0,24	0,070	-0,05	0,681
Geraniol	-0,02	0,873	0,16	0,238
Phenyl-Ethanol	0,11	0,390	-0,20	0,118
Dekansäure	0,03	0,822	0,01	0,963
Vanillin	0,03	0,826	-0,24	0,064

Anmerkungen. Dargestellt sind die Korrelationen für Pearsons Korrelationskoeffizient und die entsprechenden *p*-Werte. Positive Korrelationen bedeuten, dass Teilnehmer mehr richtige Antworten gegeben haben, wenn sie einen Geruchsstoff eher intensiv oder eher angenehm bewertet haben.

5.3.2.3 Einfluss der Präsentationsseite

Zunächst wurde untersucht, ob es einen generellen Lateralisierungs-Vorteil gibt, wenn der Geruchsstoff entweder auf der linken oder der rechten Nasenseite präsentiert wurde. Für jeden Geruchsstoff wurde ein paariger t-Test für den Mittelwertsvergleich der Anzahl richtiger Antworten im Vergleich der linken versus der rechten Präsentationsseite gerechnet. Für keinen gerechneten Test zeigte sich ein signifikanter Unterschied, was dagegen spricht, dass es einen generellen Lateralisierungsvorteil für eine Nasenseite gibt (Tabelle 5-14). Dass es jedoch einen Lateralisierungsvorteil im Vergleich der Fähigkeiten der Teilnehmer gibt, zeigte eine weitere Berechnung. Hierfür wurden für jeden Teilnehmer die richtigen Antworten aufsummiert, die gegeben wurden, wenn der Geruchsstoff entweder auf der linken oder auf der rechten Nasenseite präsentiert wurde.

Tabelle 5-14: *Unterschiede zwischen den Präsentationsseiten.*

Geruchsstoff	*t*	*df*	*p*	*d*
Kumarin	0,27	58	0,791	0,07
Eugenol	0,72	58	0,475	0,18
Geraniol	0,19	58	0,644	0,10
Phenyl-Ethanol	0,52	58	0,592	0,11
Dekansäure	0,10	58	0,958	0,02
Vanillin	0,21	58	0,812	0,09

Anmerkungen. Dargestellt sind die *t*-Werte für den Vergleich der Anzahl richtiger Antworten in Abhängigkeit der Präsentationsseite, sowie die zugehörigen *p*-Werte und die Effektgrößen (*d*), getrennt nach Geruchsstoff. Die Auswertung erfolgte jeweils mit einem t-Test für unabhängige Stichproben.

Würde man davon ausgehen, dass die Anzahl richtiger Antworten in Abhängigkeit der Präsentationsseite, für jeden Teilnehmer zwischen den Geruchsstoffen zufällig schwankt, müsste die Differenz zwischen beiden Seiten bei dem Wert Null liegen. Nur ein Teilnehmer besaß jedoch eine Differenz von Null. 28 Teilnehmer hatten mehr richtige Antworten gegeben, wenn die Geruchsstoffe auf der linken Seite präsentiert wurden, 31 wenn die Geruchsstoffe auf der rechten Seite präsentiert wurden. An Hand der Richtung der Differenz wurden zwei Gruppen gebildet und es wurde untersucht, ob die Teilnehmer, die mehr richtige Antworten gegeben hatten, wenn die Geruchsstoffe links präsentiert wurden, auch bei jedem Geruchsstoff einen Vorteil besaßen, und umgekehrt auch für die Teilnehmer, die einen Vorteil besaßen, wenn der Geruchsstoff auf der rechten Seite präsentiert wurde. Die deskriptiven Daten sind in Abbildung 5-15 dargestellt. Für jeden Geruchsstoff wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben zum Vergleich der Mittelwerte zwischen der Gruppe mit einem Lateralisierungsvorteil links und der Gruppe mit dem Lateralisierungsvorteil rechts gerechnet (Tabelle 5-16).

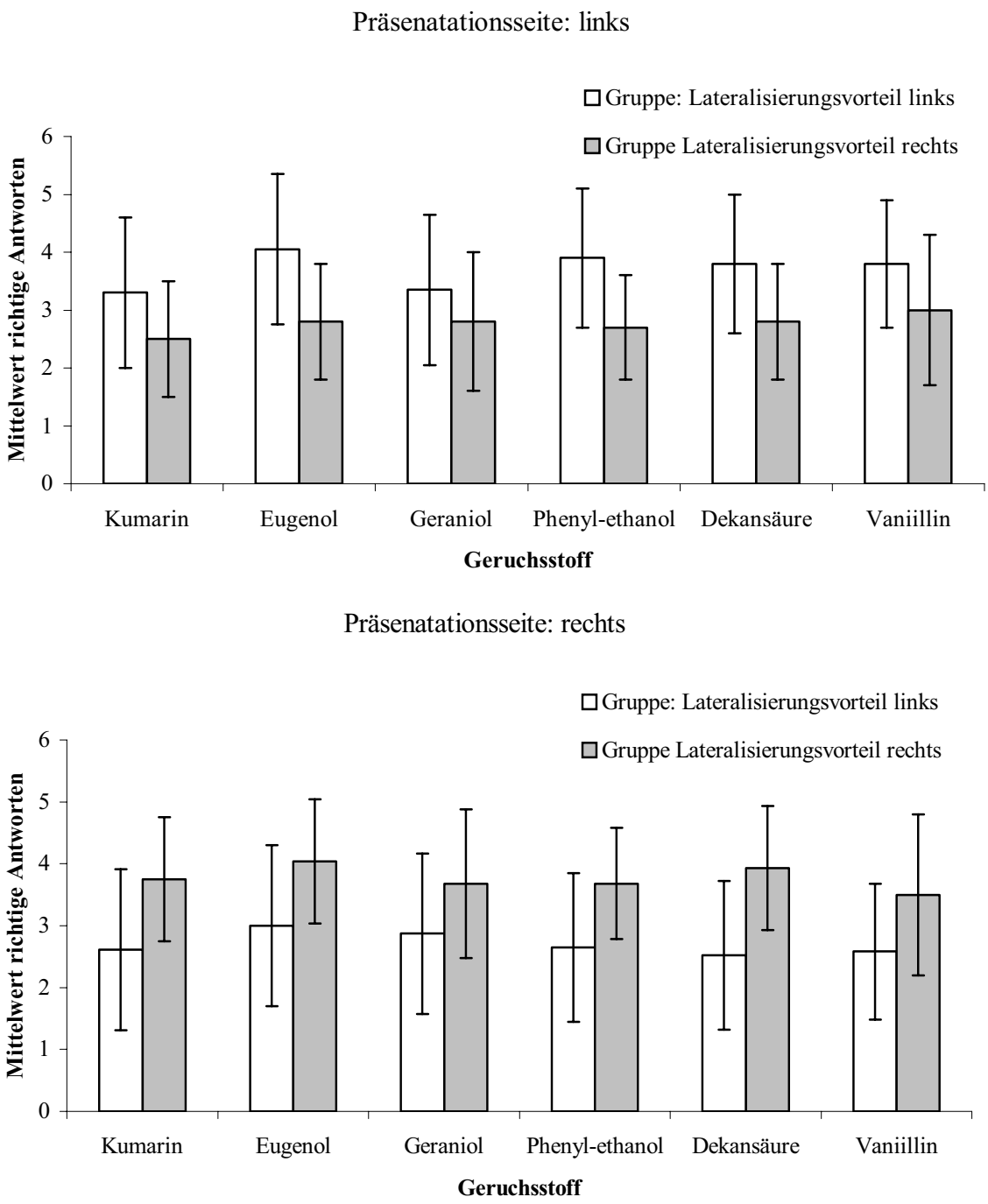


Abbildung 5-15: Mittelwerte richtiger Antworten in Abhängigkeit der Präsentationsseite, getrennt nach den beiden Gruppen mit Lateralisierungsvorteil links (n=28), beziehungsweise rechts (n=31).

Tabelle 5-16: *Unterschiede zwischen Teilnehmern mit Lateralisierungsvorteil für die linke versus rechte Nasenseite in Abhängigkeit der Präsentationsseite.*

Präsentationsseite links				
Geruchsstoff	*t*	*df*	*p*	*d*
Kumarin	-2,85	58	0,006	0,73
Eugenol	-4,37	58	< 0,001	1,03
Geraniol	-1,79	58	0,078	0,42
Phenyl-Ethanol	-4,06	58	< 0,001	0,98
Dekansäure	-3,61	58	0,001	0,96
Vanillin	-2,25	58	0,029	0,59
Präsentationsseite rechts				
Geruchsstoff	*t*	*df*	*p*	*d*
Kumarin	3,76	58	< 0,001	0,98
Eugenol	3,42	58	0,001	0,90
Geraniol	2,59	58	0,012	0,65
Phenyl-Ethanol	3,65	58	0,001	0,97
Dekansäure	4,90	58	< 0,001	1,28
Vanillin	2,90	58	0,005	0,76

Anmerkungen. Für jeden der sechs Geruchsstoffe wurde untersucht, ob sich die Teilnehmer, die links oder rechts einen Lateralisierungsvorteil über alle Geruchsstoffe besaßen, auch von einander auf Ebene der einzelnen Geruchsstoffe unterscheiden, wenn die Geruchsstoffe auf der linken, auf der rechten Nasenseite präsentiert werden. Es wurden t-Tests für unabhängige Stichproben gerechnet. Die Tabelle zeigt *t*-Werte, *p*-Werte und Effektgrößen *d*.

Es zeigte sich für nahezu jeden Vergleich, dass die Teilnehmer, die einen Lateralisierungsvorteil für die linke Seite besaßen auch bei jedem Geruchsstoff mehr richtige Antworten gaben, als die Teilnehmer mit einem Lateralisierungsvorteil für die rechte Seite, wenn der Geruchsstoff links präsentiert wurde. Gleiches gilt in umgekehrter Form für die Teilnehmer mir einem Lateralisierungsvorteil für die rechte Seite. Die einzige Ausnahme bildete der Geruchsstoff Geraniol, wenn er auf der linken Seite präsentiert wurde. Die Ergebnisse sind jedoch nicht trivial. Die Gruppenzuordnung wurde für die Summe über alle Geruchsstoffe getroffen.

Die Differenz hätte damit auch nur durch einen einzigen Geruchsstoff bedingt sein können. In diesem Fall wäre auch nur für einen Geruchsstoff ein Lateralisierungsvorteil zu beobachten, jedoch nicht für alle Geruchsstoffe. Es hätte sich ebenfalls um zufällige Schwankungen handeln können. Um ausschließen zu können, dass die Ergebnisse nur darauf zurückzuführen sind, dass alle Teilnehmer, in Folge eines Motivationsdefizits immer entweder die linke oder die rechte Seite als Antwort genannt hatten, wurden die Korrelationen der richtigen Antworten für die linke und die rechte Präsentationsseite gebildet. Diese Korrelationen müssten einen hohen negativen Wert annehmen, wenn ein derartiges Antwortverhalten vorgelegen hätte, was sich jedoch nicht finden ließ (Tabelle 5-17). Fast signifikant wurde die Korrelation für Vanillin und Geraniol. Diese ist jedoch positiv und deutet darauf hin, dass die Teilnehmer, die viele richtige Antworten gegeben haben wenn der Geruchsstoff auf einer Seite präsentiert wurde, auch tendenziell mehr richtige Antworten gegeben haben, wenn der Geruchsstoff auf der anderen Seite präsentiert wurde. Die Ergebnisse sprechen somit dafür, dass die Seite der Präsentation hoch relevant ist, je nachdem für welche Seite ein Lateralisierungsvorteil des Teilnehmers besteht.

Tabelle 5-17: *Korrelationen zwischen den richtigen Antworten bei links und rechtsseitiger Darbietung.*

Geruchsstoff	r_p	p
Kumarin	- 0,01	0,925
Eugenol	0,18	0,175
Geraniol	0,24	0,060
Phenyl-Ethanol	- 0,22	0,094
Dekansäure	- 0,10	0,427
Vanillin	0,25	0,054

Anmerkungen. Dargestellt sind die Korrelationen, sowie die *p*-Werte für den Zusammenhang der Anzahl richtiger Antworten zwischen der linken und der rechten Präsentationsseite. Die Korrelationen wurden mit Spearmans Korrelationskoeffizient bestimmt.

5.3.2.4 Einfluss des Faktors Geschlecht

Für die Anzahl richtiger Antworten wurde für jeden der sechs Geruchsstoffe ein t-Test für unabhängige Stichproben gerechnet, ob es Unterschiede zwischen weiblichen und männlichen Teilnehmern gibt. Es zeigt sich jedoch für keinen Geruchsstoff ein bedeutsamer Unterschied (Tabelle 5-18).

Tabelle 5-18: *Unterschiede zwischen den Geschlechtern*.

Geruchsstoff	*t*	*df*	*p*	*d*
Kumarin	0,96	58	0,340	0,25
Eugenol	0,13	58	0,900	0,03
Geraniol	0,14	58	0,889	0,04
Phenyl-Ethanol	0,74	58	0,464	0,19
Dekansäure	0,54	58	0,595	0,14
Vanillin	1,03	58	0,306	0,27

Anmerkungen. Dargestellt sind die *t*-Werte für den Vergleich der Anzahl richtiger Antworten in Abhängigkeit der Präsentationsseite, sowie die zugehörigen *p*-Werte und die Effektgrößen (*d*), getrennt nach Geruchsstoff. Die Auswertung erfolgte jeweils mit einem t-Test für unabhängige Stichproben.

5.3.3 Auswertung der Abhängigen Variable Valenz

Für die Valenz- und Intensitätsratings wurden in der Studie für jeden Geruchsstoff jeweils 100mm lange visuelle Analogskalen vorgegeben. Die Ratings können somit Werte zwischen 0 und 100 annehmen. Abbildung 5-19 zeigt die Mittelwerte für die Abhängige Variable Valenz für die sechs Geruchsstoffe. Da es folglich 101 verschiedene Werte gibt, wurde für jeden Geruchsstoff mit einem Einstichproben-t-Test untersucht, ob sich die Mittelwerte der Valenzratings von dem neutralen Wert 50 unterscheiden (Tabelle 5-20). Wie bereits in der ersten Studie wurden die Geruchsstoffe Kumarin, Geraniol, Phenyl-Ethanol und Vanillin als positiv eingestuft. Eugenol und Dekansäure weichen nicht von einem neutralen Wert 50 ab, was für den Geruchsstoff Dekansäure an Hand der Daten aus der ersten Studie nicht zu erwarten war.

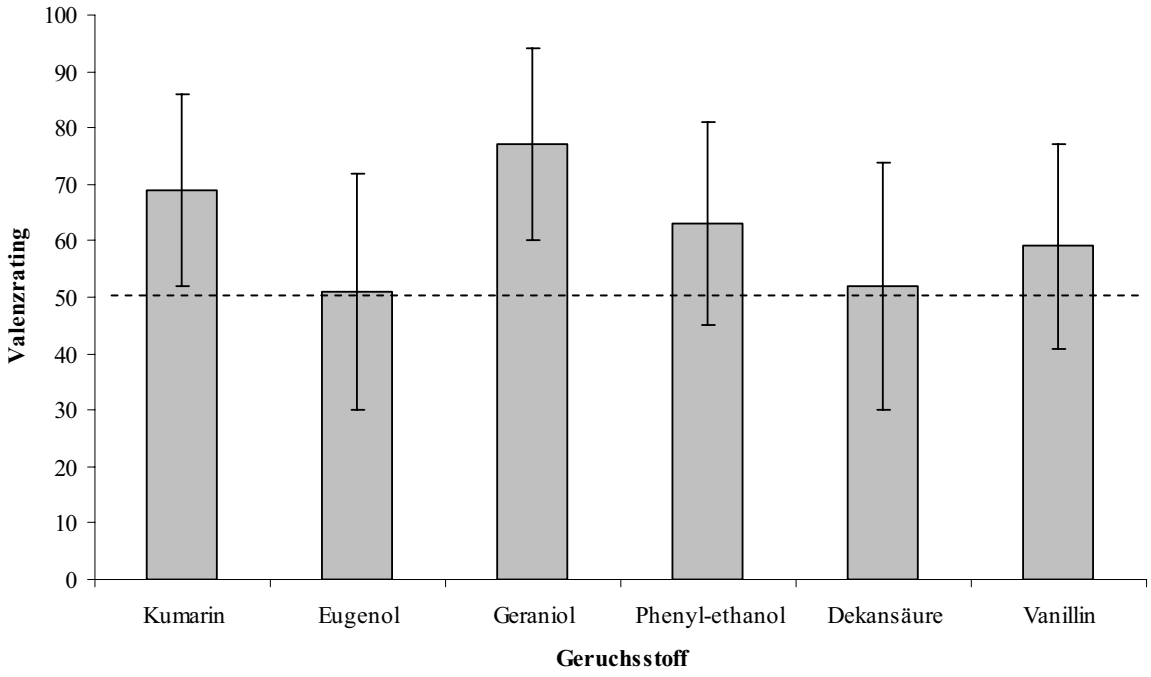


Abbildung 5-19: Mittelwerte und Standardabweichungen der Valenzratings.

Tabelle 5-20: *Abweichung der Valenzratings von einer neutralen Bewertung.*

Geruchsstoff	*t*	*df*	*p*	*d*
Kumarin	8,37	59	< 0,001	1,08
Eugenol	0,26	59	0,794	0,03
Geraniol	3,93	59	< 0,001	0,51
Phenyl-Ethanol	4,01	59	< 0,001	0,51
Dekansäure	0,57	59	0,537	0,07
Vanillin	11,44	59	< 0,001	1,48

Anmerkungen. Dargestellt sind die *t*-Werte für den Unterschied der Valenzratings vom neutralen Wert 50, sowie die zugehörigen *p*-Werte und Effektgrößen, getrennt nach Geruchsstoff. Die Auswertung erfolgte mit einem Einstichproben-t-Test

Des Weiteren wurden die Korrelationen nach Pearson zwischen den Valenzratings bestimmt (Tabelle 5-21). Auffällig ist die hohe positive Korrelation zwischen Kumarin und Dekansäure.

So bewerteten die Teilnehmer die Kumarin angenehmer empfanden auch Dekansäure als angenehmer. Darüber hinaus werden Geraniol und Phenyl-Ethanol, Eugenol und Kumarin und Phenyl-Ethanol und Vanillin von den Teilnehmern so bewertet, dass die Bewertung des einen Geruchsstoffs als angenehmer auch mit einer Bewertung des anderen Geruchsstoffs als angenehmer einhergeht.

Tabelle 5-21: *Korrelationen zwischen den Valenzratings für die Geruchsstoffe.*

	Kumarin	**Eugenol**	**Geraniol**	**Phenyl-Ethanol**	**Dekansäure**	**Vanillin**
Kumarin						
Eugenol	r_p = 0,38 p = 0,003					
Geraniol	r_p = 0,18 p = 0,177	r_p = 0,17 p < 0,207				
Phenyl-Ethanol	r_p = 0,05 p = 0,716	r_p = 0,24 p = 0,070	r_p = 0,49 p = < 0,001			
Dekansäure	r_p = 0,41 p = 0,001	r_p = 0,21 p = 0,106	r_p = 0,21 p = 0,102	r_p = -0,03 p = 0,842		
Vanillin	r_p = 0,33 p < 0,010	r_p = 0,16 p < 0,221	r_p = 0,21 p = 0,106	r_p = 0,30 p = 0,021	r_p = 0,13 p = 0,339	

Anmerkungen. Dargestellt ist die Dreiecksmatrix für die korrelativen Zusammenhänge zwischen den Valenzratings der sechs Geruchsstoffe. Signifikante Korrelationen sind grau hinterlegt.

5.3.4 Auswertung der Abhängigen Variable Intensität

Abbildung 5-22 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Intensitätsratings. Auch für die Intensitätsratings wurden die Korrelationen zwischen den Geruchsstoffen nach Pearson bestimmt. Wie auch bei den Valenzratings wurde für jeden Geruchsstoff ein Einstichproben-t-Test gerechnet, ob sich der Mittelwert der Intensitätsratings von dem neutralen Wert 50 unterscheidet (Tabelle 5-23). Die Auswertung ergab, dass der Geruchsstoff Kumarin als eher intensiv wahrgenommen wurde, während Dekansäure als eher schwach bewertet wurde. Insbesondere die Betrachtung der Effektstärke für den Geruchsstoff Dekansäure zeigt, dass die Intensität dieses Geruchsstoffs als schwach eingestuft wurde.

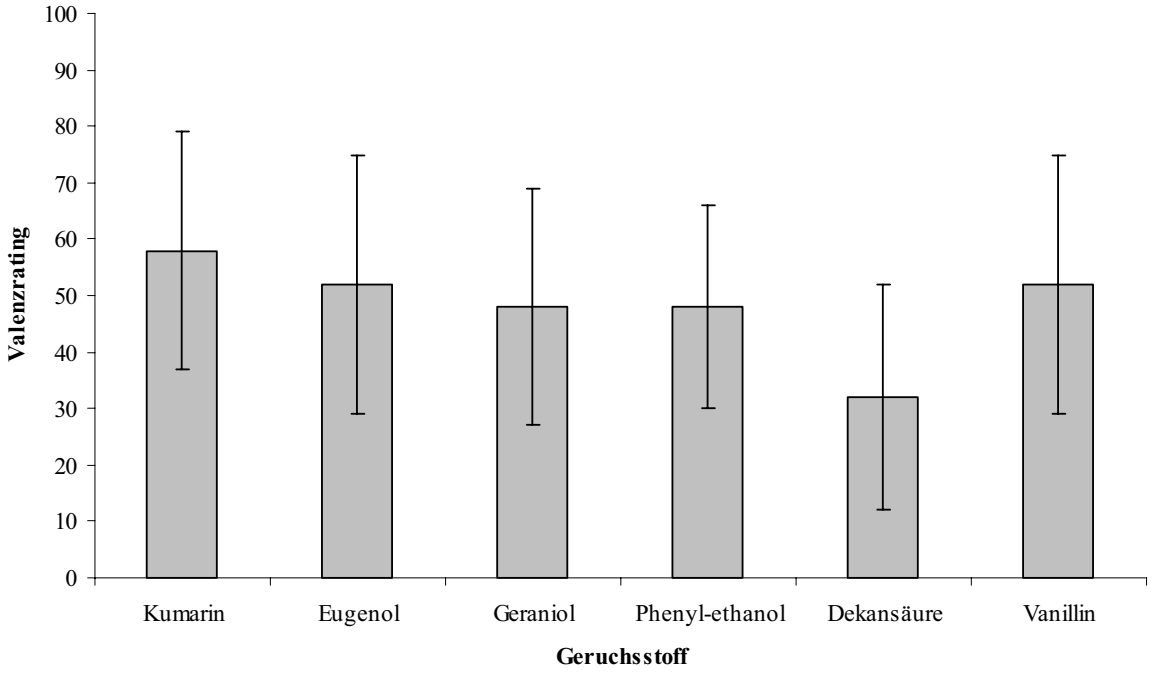


Abbildung 5-22: Mittelwerte und Standardabweichungen der Intensitätsratings.

Tabelle 5-23: *Abweichung der Intensitätsratings von einer neutralen Bewertung.*

Geruchsstoff	*t*	*df*	*p*	*d*
Kumarin	2,59	59	0,012	0,33
Eugenol	0,80	59	0,426	0,10
Geraniol	- 0,66	59	0,515	0,09
Phenyl-Ethanol	- 0,54	59	0,594	0,07
Dekansäure	- 5,60	59	< 0,001	0,72
Vanillin	0,65	59	0,520	0,08

Anmerkungen. Dargestellt sind die *t*-Werte für den Unterschied der Intensitätsratings vom neutralen Wert 50, sowie die zugehörigen *p*-Werte und Effektgrößen, getrennt nach Geruchsstoff. Die Auswertung erfolgte mit einem Einstichproben-t-Test.

Des Weiteren wurden die Korrelationen nach Pearson zwischen den Intensitätsratings für die sechs Geruchsstoffe bestimmt (Tabelle 5-22). Auch wenn nicht alle korrelativen Zusammenhänge statistisch bedeutsam sind, zeigt sich dennoch für die meisten Geruchsstoffe der Trend dahingehend, dass die Teilnehmer die einen Geruchsstoff als eher intensiv eingestuft haben, auch die anderen Geruchsstoffe als eher intensiver eingestuft haben. Dieses Ergebnis bestätigt damit die Ergebnisse aus der ersten Studie, dass die hier gewählten Konzentrationen näherungsweise mit einander vergleichbar sind.

Tabelle 5-24: *Korrelationen zwischen den Intensitätsratings für die Geruchsstoffe.*

	Kumarin	**Eugenol**	**Geraniol**	**Phenyl-Ethanol**	**Dekansäure**	**Vanillin**
Kumarin						
Eugenol	$r_p = 0{,}45$ $p = < 0{,}001$					
Geraniol	$r_p = 0{,}35$ $p = 0{,}006$	$r_p = 0{,}41$ $p < 0{,}001$				
Phenyl-Ethanol	$r_p = 0{,}14$ $p = 0{,}304$	$r_p = 0{,}25$ $p = 0{,}051$	$r_p = 0{,}27$ $p = 0{,}039$			
Dekansäure	$r_p = 0{,}27$ $p = 0{,}036$	$r_p = 0{,}24$ $p = 0{,}064$	$r_p = 0{,}16$ $p = 0{,}211$	$r_p = 0{,}40$ $p = 0{,}002$		
Vanillin	$r_p = 0{,}35$ $p < 0{,}007$	$r_p = 0{,}43$ $p = 0{,}001$	$r_p = 0{,}24$ $p = 0{,}068$	$r_p = 0{,}05$ $p = 0{,}722$	$r_p = 0{,}06$ $p = 0{,}677$	

Anmerkungen. Dargestellt ist die Dreiecksmatrix für die korrelativen Zusammenhänge zwischen den Intensitätsratings der sechs Geruchsstoffe. Signifikante Korrelationen sind grau hinterlegt.

Darüber hinaus wurden die Korrelationen nach Pearson zwischen den Valenzen und den Intensitäten der Geruchsstoffe bestimmt (Tabelle 5-23). Die Auswertung ergab, dass Eugenol unangenehmer bewertet wurde, je intensiver es wahrgenommen wurde. Für die beiden Geruchsstoffe Geraniol und Phenyl-Ethanol zeigte sich tendenziell, dass diese angenehmer bewertet wurden, wenn sie auch intensiver bewertet wurden.

Tabelle 5-23: *Korrelationen zwischen den Valenz- und Intensitätsratings.*

Geruchsstoff	r_p	*p*
Kumarin	0,20	0,125
Eugenol	- 0,32	0,014
Geraniol	0,23	0,073
Phenyl-Ethanol	0,22	0,094
Dekansäure	- 0,03	0,842
Vanillin	0,21	0,109

Anmerkungen. Dargestellt sind die Korrelationen, sowie die *p*-Werte für den Zusammenhang der Valenz- und Intensitätsratings. Die Korrelationen wurden mit Spearmans Korrelationskoeffizient bestimmt.

5.4 Diskussion

Die Auswertung der Daten in dieser Studie hat ergeben, dass alle sechs Geruchsstoffe lateralisiert werden konnten. Insbesondere die deutlichen Ergebnisse für den Geruchsstoff Vanillin, der in Betracht der Ergebnisse von Doty und Mitarbeitern (Doty et al., 1978) als ausschließlich olfaktorisch eingestuft werden kann, sind überraschend. Auch die post-hoc durchgeführte explorative Datenanalyse konnte keine Hinweise darauf erbringen, dass die Ergebnisse auf einen in diesem Zusammenhang untersuchten Einflussfaktor zurückzuführen sind. Im Folgenden werden zunächst mögliche Faktoren diskutiert, die für die Erklärung der Ergebnisse in Bezug auf die interne und externe Validität hinzugezogen werden können. Abschließend erfolgt die Diskussion, wie die Ergebnisse in den Verlauf der weiteren Testentwicklung eingebunden werden können.

5.4.1 Diskussion der internen Validität

5.4.1.1 Eigenschaften der verwendeten Apparatur

Es wurde eine Apparatur verwendet, bei der mittels zweier Handpumpen mit Geruchsstoff oder Lösungsmittel angereicherte Luft in beide Nasenlöcher gepumpt werden konnte. Die nahe liegende Kritik könnte darin bestehen, dass die manuelle Präsentationsform zu den Ergebnissen geführt haben könnte.

Einerseits wurde die Studie mit zehn verschiedenen Experimentatoren durchgeführt. Alle Experimentatoren wurden im Vorfeld der Studie geschult und hatten ausreichend Zeit den Versuchsablauf zu trainieren. Es könnte angenommen werden, dass die Experimentatoren beabsichtigt oder unbeabsichtigt immer die Handpumpe auf der Seite stärker zusammengedrückt haben, auf der sich auch der Geruchsstoff befand. Die richtige Lateralisierung könnte dann darauf zurückzuführen sein, dass die trigeminal vermittelten, unterschiedlichen Flussstärken als Entscheidungsgrundlage für die Teilnehmer gedient hätten. Gegen dieses Argument spricht jedoch, dass alle Experimentatoren das Ziel der Studie kannten. Hätten sie sich folglich hypothesenkonform verhalten, hätten die Ergebnisse, insbesondere für Vanillin ein anderes Muster aufweisen müssen. Dennoch scheint es sinnvoll zu sein, in einer weiteren Studie mit dem gleichen Versuchsaufbau die Studie doppelblind durchzuführen

Ein weiterer Einwand könnte darin bestehen, dass die Teilnehmer Hinweisreize der Apparatur genutzt haben, um die richtige Präsentationsseite zu erkennen. Da die Apparatur für den Versuch mit einem schwarzen Stoff abgedeckt wurde könnten die Teilnehmer höchs-

tens die Nasenstücke zur Unterscheidung genutzt haben. Die Steristopfen wurden jedoch zwischen jedem Durchgang randomisiert auf die aus den Gaswaschflaschen austretenden Schläuche gesteckt. Die Schlauchöffnungen ihrerseits, die am oberen Ende der Steristopfen zu sehen waren, wurden jedoch bei dem Bau der Apparatur dahingehend überprüft, dass sie sich nicht in ihrer Form durch das Zurechtschneiden unterschieden. Sollten die Teilnehmer andere Hinweisreize genutzt haben, die bisher nicht beschrieben wurden, würde dies jedoch auch bedeutet, dass sie den Geruchsstoff initial lateralisiert haben müssten, was nichts an der Brisanz der Ergebnisse ändert, dass als primär olfaktorisch eingestufte Geruchsstoffe deutlich lateralisiert werden können. Wäre darüber hinaus die Orientierung an Hinweisreizen der Apparatur die Strategie gewiesen, an der sich alle Teilnehmer orientiert hätten, hätten die Häufigkeiten richtiger Antworten näher an den Extremwerten keine beziehungsweise zehn richtige Antworten liegen müssen. Um mögliche Einwände von Beginn an zurückweisen zu können, könnten Schlafbrillen bei einem erneuten Einsatz dieser Apparatur eingesetzt werden.

Jedem Teilnehmer wurde jeder Geruchsstoff zehnmal präsentiert. Auf Grund dieser messwiederholten Darbietung reduziert sich die Fehlervarianz der Daten in einer Aufgabe mit nur zwei Antwortalternativen erheblich. Dennoch wurden die Module der Apparatur zwischen jeder Präsentation des Geruchsstoffs aus der Apparatur genommen, unabhängig davon, ob die Präsentationsseite des Geruchsstoffs gewechselt wurde oder nicht. Während dieser Prozedur mussten sich die Teilnehmer umdrehen und einen Punkt auf der gegenüberliegenden Wand fixieren. Es kann vermutet werden, dass dieses Umsetzen der Module zu unterschiedlichen Geräuscheindrücken geführt hat, je nachdem ob die Module getauscht wurden oder nicht. Ebenso könnte die Zeit beim Umsetzen trotz des Übens im Vorfeld länger gewesen sein, wenn die Module ausgetauscht wurden. Allerdings können in diesem Zusammenhang die gleichen Gegenargumente angeführt werden wie in Bezug auf die mögliche Kritik, dass visuelle Hinweisreize genutzt wurden. Ein Schaltmechanismus, mit dem eingestellt werden kann, welches Nasenloch mit dem Geruchsstoff oder dem Lösungsmittel angesteuert wird, ohne dass dabei die Module der Apparatur ausgetauscht werden müssen könnte dahingehend Abhilfe schaffen, dass der Teilnehmer sich nicht mehr von der Apparatur wegdrehen muss, solange diese nicht mit dem schwarzen Tuch abgedeckt ist.

5.4.1.2 Atmung

Die Teilnehmer wurden instruiert, den Geruchsstoff nicht aktiv zu inhalieren. Es ist jedoch möglich, dass die Teilnehmer dennoch den Geruchsstoff aktiv inhaliert haben. Wenn aktives Inhalieren dazu geführt hätte, dass die Geruchsstoffe lateralisiert werden konnten, wäre es angebracht, in einer weiteren Lateralisierungsstudie zunächst eine spezielle Verschlussatmung mit den Teilnehmern einzuüben, so dass gewährleistet ist, dass keiner der Teilnehmer den Geruchsstoff aktiv inhaliert. Da es in Bezug auf die Häufigkeiten richtiger Antworten zwischen verschiedenen Geruchsstoffen bedeutsame Korrelationen gab, das heißt, dass Teilnehmer, die einen Geruchsstoff häufig lateralisieren konnten auch den anderen Geruchsstoff häufig lateralisieren konnten, kann dieses Argument nicht entkräftet werden. Frasnelli und Mitarbeiter konnten kürzlich zeigen, dass rein olfaktorische Geruchsstoffe besser lokalisiert werde können, wenn sie aktiv inhaliert werden können und gemischt olfaktorisch/trigeminale Geruchsstoffe besser lokalisiert werden können, wenn sie passiv mit einem Olfaktometer in die Nase gesprüht werden (Frasnelli, Charbonneau, Collignon & Lepore, 2008). Es wäre daher interessant die Studie mit der Veränderung zu replizieren, dass die Geruchsstoffe in einer Bedingung nicht aktiv inhaliert werden, wenn sie in die Nase gesprüht werden, während sie in der anderen Bedingung zusätzlich aktiv inhaliert werden.

5.4.2 Diskussion der externen Validität

Die explorative Datenanalyse und die Erläuterung möglicher Kritikpunkte in Bezug auf die interne Validität haben ergeben, dass die Ergebnisse in dieser Studie sehr robust sind. Wenn dies der Fall ist, konnten die sechs als primär olfaktorisch eingestuften Geruchsstoffe in der hier durchgeführten Versuchsanordnung lateralisiert werden. Demnach gilt es die Frage zu erörtern, wie die Ergebnisse in dieser Studie in Bezug auf die Lateralisierbarkeit olfaktorischer Geruchsstoffe generell gewertet werden können.

5.4.2.1 Einfluss der Konzentrationsstärke

Nach Cometto-Muniz und Mitarbeitern (Cometto-Muniz, Cain & Abraham, 2005) nimmt die trigeminale Eigenschaft eines Geruchsstoffs zu, wenn seine Konzentration erhöht wird. Cometto-Muniz und Cain (Cometto-Muniz & Cain, 1998) stellten zudem die Hypothese auf, dass jeder Geruchsstoff in geringen Konzentrationen einen olfaktorischen Geruchseindruck

erzeugt und in hohen Konzentrationen auch einen trigeminalen Anteil entwickeln kann. Da alle Geruchsstoffe mit Ausnahme des Geruchsstoffs Vanillin in der Studie von Doty und Mitarbeitern (Doty et al., 1978) auch von wenigen Anosmikern detektiert werden konnten und auch Normosmiker vereinzelt trigeminale Empfindungen berichteten, ist es denkbar, dass in der Studie von Doty 1978 (Doty et al., 1978) möglicherweise geringe Konzentrationen für die Geruchsstoffe verwendet wurden. Da die in dieser Studie verwendeten Konzentrationen alle deutlich überschwellig waren könnten die trigeminale Anteile der Geruchsstoffe deutlicher wahrnehmbar gewesen sein. Unterstützung liefern auch die Ergebnisse von Cometto-Muniz und Mitarbeitern (Cometto-Muniz et al., 2005). Sie verglichen verschiedene Applikationsarten und deren Wirkung auf die trigeminale Geruchswahrnehmung. Eine Applikationsart entsprach exakt der Methode, die Doty in seinen Studien 1975 und 1978 verwendete (Doty, 195; Doty et al., 1978). Eine andere war eher vergleichbar mit der hier verwendeten. So besaßen die Flaschen besaßen einen größeren Durchmesser des Flaschenhalses, sowie zwei Nasenstücke. Anosmiker waren in dieser Studie besser in der Lage trigeminale Eigenschaften zu detektieren, wenn Nasenstücke verwendet wurden. Dieser Befund liefert Evidenz dafür, dass in Erwägung gezogen werden muss, dass die Validität der Ergebnisse von Doty und Mitarbeitern (Doty et al., 1978) hinterfragt werden müssen. Möglicherweise ist die geringe Detektionsleistung der Geruchsstoffe durch Anosmiker in der Studie von Doty auf methodische Unterschiede zurückzuführen.

5.4.2.2 Gibt es olfaktorische Lateralisierung?

Die gängige Lehrmeinung geht davon aus, dass olfaktorische Geruchsstoffe nicht lateralisiert werden können Dennoch wurde auch bereits davon berichtet, dass Phenyl-Ethanol, ein Geruchsstoff der in verschiedenen Studien als olfaktorischer Geruchsstoff eingesetzt wurde, dennoch signifikant richtig lateralisiert werden kann (Porter et al., 2005). In der Studie war dies für Eugenol jedoch nicht möglich. Auch in der hier durchgeführten Studie konnte unter deskriptiven Gesichtspunkten Phenyl-Ethanol besser lateralisiert werden als Eugenol, jedoch mit dem Unterschied, dass in der hier durchgeführten Studie auch Eugenol lateralisiert werden konnte. Die Ergebnisse beider Studien scheinen damit nicht überein zu stimmen. Dennoch scheint es plausibel zu sein, dass die Hypothese von Porter und Mitarbeitern (Porter et al., 2005) stimmt, dass auch olfaktorische Geruchsstoffe möglicherweise lateralisiert werden können. Wenn auch die olfaktorische Lateralisierbarkeit konzentrationsabhängig ist, könnte dies erklären, warum in der hier durchgeführten Studie auch Eugenol lateralisiert werden

konnte. Theurauf und Mitarbeiter (Theurauf, Goßler, Lunkenheimer, Maihöfer, Bleich, Kornhuber, Markovic & Reukbach, 2008) wiesen bei 11 von 16 Geruchsstoffen der Sniffin'Sticks nach, dass für diese die Intensitätsratings höher waren, wenn sie auf dem rechten Nasenloch präsentiert wurden. Die explorative Datenanalyse in dieser Studie konnte jedoch zeigen, dass es sowohl Teilnehmer gab, die einen Lateralisierungsvorteil für die rechte Nasenseite besaßen als auch Teilnehmer die einen Lateralisierungsvorteil für die linke Nasenseite besaßen. Dass die Teilnehmer in dieser Studie die Information zur Lateralisierung nutzten, dass die Geruchsstoffe bei rechtsseitiger Präsentation intensiver riechen ist unplausibel.

5.4.2.3 Gibt es rein olfaktorische Geruchsstoffe?

Eine nahe liegende Erklärung für die Ergebnisse kann ebenfalls darin liegen, dass es keine rein olfaktorischen Geruchsstoffe gibt. Im folgenden Absatz werden verschiedene Punkte diskutiert, an Hand derer in Frage gestellt werden kann, ob es überhaupt rein olfaktorische Geruchsstoffe gibt. Dieser Aspekt muss auch unabhängig davon betrachtet werden, dass es olfaktorische Lateralisierung geben kann.

5.4.2.3.1 Bewertung des trigeminalen Geruchseindrucks

Verschiedene Studien haben die trigeminale Eigenschaft der verwendeten Geruchsstoffe mit subjektiven Einschätzungen der Teilnehmer erfasst, ob eine trigeminale Empfindung wahrgenommen werden kann. Gleiches gilt auch für die Studie von Doty und Mitarbeitern (Doty, et al., 1978). So gibt es jedoch Studien, an Hand deren Ergebnisse die Validität dieser subjektiven Einschätzungen angezweifelt werden kann. Ein Geruchsstoff zum Beispiel, der in verschiedenen Studien eingesetzt wurde ist Nikotin. Es wird angenommen, dass Nikotin in geringen Konzentrationen olfaktorische Eigenschaften besitzt, während es in hohen Konzentrationen auch zu einer trigeminalen Aktivität führt (Hummel, Livermore, Hummel & Kobal, 1992). Albrecht und Mitarbeiter (Albrecht, Kopietz, Linn, Sakar, Anzinger, Schreder, Pollatos, Brückmann, Kobal & Wiesmann, 2008) konnten jedoch zeigen, dass Nikotin auch in sehr geringen Konzentrationen kortikale Areale aktiviert, die mit trigeminaler Reizverarbeitung assoziiert sind, obwohl die Teilnehmer subjektiv keine trigeminalen Empfindungen berichteten. Des weiteren stellten Hummel und Mitarbeiter (Hummel et al., 2005) in einer fMRT-Untersuchung fest, dass der als ausschließlich trigeminal geltende Geruchsstoff Kohlendioxid mit einer Überlappung des Aktivitätsmusters in den Hirnarealen einhergeht, die auch durch

die olfaktorische Geruchswahrnehmung aktiviert werden wie der ventralen Insel, dem mittleren Frontalkortex und motorischen Arealen. Als olfaktorischer Geruchsstoff wurde Phenyl-Ethanol verwendet.

Wenn die Validität der subjektiven Bewertungen angezweifelt werden kann, ist es plausibel, dass auch der als olfaktorisch eingestufte Geruchsstoff Vanillin trigeminale Eigenschaften besitzt kann. Wenn dessen trigeminale Eigenschaften auch mit zunehmender Konzentration zunehmen, könnte hierin die Erklärung für die Ergebnisse dieser Studie liegen. Die Lateralisierbarkeit könnte darüber hinaus auch mit verschiedenen Konzentrationen untersucht werden, um den Einfluss der Konzentration zu überprüfen.

5.4.2.3.2 Studien mit Anosmikern

Die Definition, dass ein Anosmiker keine olfaktorische Geruchwahrnehmung besitzt bedeutet im Umkehrschluss nicht automatisch, dass ein Geruchsstoff, der von einem Anosmiker nicht wahrgenommen werden kann in der Folge olfaktorisch ist. Wie in der Einleitung beschrieben wurde, ziehen trigeminale Fasen auch in den Bereich des olfaktorischen Epithels. Darüber hinaus überschneiden sich die kortikalen Areale, die mit der olfaktorischen und der trigeminalen Geruchsverarbeitung assoziiert sind. Es ist damit wahrscheinlich, dass bei Anosmikern auch trigeminale Strukturen betroffen sein können. Wie ebenfalls bereits in der Einleitung beschrieben wurde, können verschiedene Studien zeigen, dass die trigeminale Sensitivität bei Anosmikern nicht so hoch ist, wie bei Normosmikern. Insbesondere die Studie von Gudziol und Mitarbeitern (Gudziol et al., 2001) unterstreicht, dass Anosmien, die durch Erkrankungen bedingt sind zu einer niedrigen trigeminalen Sensitivität führen. Ein Geruchsstoff der von einem Anosmiker nicht detektiert werden kann muss somit nicht olfaktorisch sein, sondern es ist ausreichend, dass der trigeminale Anteil so gering ist, dass er von Anosmikern nicht wahrgenommen werden kann. Diese Argumentation unterstreicht die Zweifel an dem Schluss, dass der Geruchsstoff Vanillin auf Grund der Studie von Doty und Mitarbeitern (Doty et al., 1978) als rein olfaktorisch eingestuft werden kann.

5.4.2.3.3 Definition olfaktorischer Geruchsstoffe

Wie in den beiden vorangehenden Absätzen diskutiert wurde, kann die Validität der Bestimmung olfaktorischer und trigeminaler Eigenschaften eines Geruchs an Hand der subjektiven

Wahrnehmung trigeminaler Stimulation oder der Detektierbarkeit durch Anosmiker angezweifelt werden. Wie bereits im Theoretischen Hintergrund beschrieben wurde werden verschiedene kortikale Strukturen mit der olfaktorischen oder trigeminalen Geruchsverarbeitung assoziiert. Kortikale Strukturen, die durch trigeminale Stimulation aktiviert werden, von solchen Strukturen abzugrenzen, die durch olfaktorische Stimulation aktiviert werden, ist unter definitorischen Gesichtspunkten jedoch schwer umsetzbar. So wäre es zum einen erforderlich, olfaktorische und trigeminale Geruchsstoffe bezüglich ihrer Intensitäten abzugleichen, wenn aussagekräftige Ergebnisse erzielt werden sollen. Betrachtet man jedoch die Komplexität der olfaktorischen Intensitätswahrnehmung, erscheint es umso schwieriger zu sein, die Intensitäten von Geruchsstoffen aus zwei unterschiedlichen Modalitäten abzugleichen, deren Interaktion ungeklärt ist, und bei denen bei einer Modalität, in Bezug auf die trigeminale Geruchsverarbeitung, die Funktionsweise noch nicht vollständig erschlossen ist. Des Weiteren bedarf es rein trigeminaler oder olfaktorischer Geruchsstoffe, um die kortikalen Strukturen eindeutig bestimmen zu können. So lange diese jedoch nicht identifiziert sind, beziehungsweise es kein objektives Außenkriterium gibt um diese valide zu bestimmen, ist die Definition olfaktorischer oder trigeminaler Geruchsstoffe ausschließlich zirkulär.

5.4.3 Ausblick

Der aktuelle Stand der Wissenschaft zeigt, dass die trigeminale Geruchswahrnehmung noch nicht so gut verstanden ist, wie die olfaktorische Geruchswahrnehmung. Dies macht es schwierig, die Validität dieser Studie einzuordnen. Sie hat gezeigt, dass sich die beiden etablierten Lehrmeinungen, dass olfaktorische Geruchsstoffe nicht lateralisiert werden können und dass der Geruchsstoff Vanillin rein olfaktorisch ist widersprechen. Die Hypothese von Porter und Mitarbeitern (Porter et al., 2005), dass auch olfaktorische Lateralisierung möglich sein kann, könnte zu einer Auflösungen dieses Dilemmas führen. Darüber hinaus könnten in Bezug auf diese Studie verschiedene Modifikationen des Versuchsaufbaus implementiert werden, um die interne Validität zu verbessern. Eine eindeutige Einschätzung der Validität würde jedoch nur die vergleichende Testung mit einem rein olfaktorischen Geruchsstoff hervorbringen, der an Hand eines objektiven Außenkriteriums definiert wurde.

5.4.4 Implikationen für die weitere Testentwicklung

Das Ziel dieser Studie, die olfaktorischen und trigeminalen Eigenschaften der sechs Geruchsstoffe zu ergründen wurde nicht erreicht. Es ist sowohl denkbar, dass alle Geruchsstoffe pri-

mär olfaktorisch sind, als auch, dass alle sechs Geruchsstoffe in den hier gewählten Konzentrationsstufen stark trigeminal sind. Wenn alle sechs oder einzelne Geruchsstoffe stark trigeminal sind würde dies nicht nur das Risiko unbestimmter Interaktionseffekte in den Mischgerüchen in sich bergen sondern auch das Risiko, dass Testpersonen mit einer gestörten olfaktorischen Geruchswahrnehmung nicht detektiert werden können, da sie die späteren Mischgerüche an Hand derer trigeminalen Eigenschaften unterscheiden können. Insbesondere letzterer Punkt könnte die Anwendbarkeit des Tests einschränken. Auch wenn Untersuchungen mit Anosmikern nicht uneingeschränkt dazu genutzt werden können, die olfaktorischen Eigenschaften von Geruchsstoffen zu bestimmen, zumal die Testpersonen mit neurodegenerativen Erkrankungen, die im Fokus des Interesses stehen einen graduellen Abbau der olfaktorischen Geruchsleistungen zeigen, wäre es sinnvoll, die späteren Testaufgaben zur Kontrolle einer Stichprobe von Anosmikern vorzugeben.

6. Studie 4: Intensitätsunterscheidung

6.1 Theoretischer Hintergrund

Die späteren Testaufgaben sollen so aufgebaut sein, dass in Mischgerüchen die Konzentrationsverhältnisse der Komponenten verändert werden und sich folglich auch die Geruchsqualität des Mischgeruchs verändert. Interaktions- oder Supressionseffekte zwischen den sechs Geruchsstoffen Kumarin, Eugenol, Phenyl-Ethanol, Geraniol, Dekansäure und Vanillin können nicht vorhergesagt werden. Durch die Konzentrationsveränderung der Komponenten könnte jedoch der abweichende Mischgeruch in den Testaufgaben daran erkannt werden, dass sich die Konzentrationen einer oder mehrerer Komponenten verändern und nicht daran, dass der abweichende Mischgeruch eine andere, jedoch eigenständige Geruchsqualität besitzt. Somit müsste die Validität des endgültigen Tests dahingehend überprüft werden, ob der Test die Fähigkeit misst, Geruchsqualitäten unterscheiden zu können oder ob er die geruchliche Sensitivität misst, Konzentrationsunterschiede zu detektieren. In dieser Studie sollen Werte ermittelt werden, wie groß die Konzentrationsunterschiede in den Mischgerüchen der Testaufgaben gewählt werden können, ohne dass dabei die zuvor beschriebene Validitätsfrage erörtert werden muss.

6.1.1 Intensitäts-Unterschieds-Schwellen

Die Bestimmung von Intensitäts-Unterschieds-Schwellen wurde bisher nur in wenigen Studien vorgenommen. Alle Studien, die zu diesem Thema durchgeführt wurden sind, stammen aus den 70er und 80er Jahren.

Alle Studien, die die Intensitäts-Unterschieds-Schwelle bestimmt haben, bestimmten diese an Hand des Weber-Fechnerschen Gesetzes. Das Weber-Fechnersche Gesetz dient dazu, den Zusammenhang zwischen einem Reizzuwachs und einem Empfindungszuwachs zu quantifizieren. In diesen Studien wurden Weber-Koeffizienten bestimmt, um den Anteil zu quantifizieren, um den die Konzentration eines Geruchsstoffs verändert werden muss, damit diese Konzentrationsveränderung detektiert werden kann. Der Wert berechnet sich aus der Konzentration des Standardgeruchs (S) und der Konzentration des Vergleichsgeruchs (V) mit der Formel, (S - V)/S. Die Formel ergibt Werte zwischen 0 und 1. Je kleiner ein Wert ist, das heißt je näher er am Wert 0 liegt, desto eher können Konzentrationsunterschiede detektiert werden. Da in den Mischgerüchen die Veränderungen der Konzentrationsanteile der Komponenten durch den jeweiligen prozentualen Anteil am Mischgeruch beschrieben werden sollen,

werden für die Ergebnisse der Studien nicht nur die Weber Koeffizienten sondern auch die entsprechenden prozentualen Werte angegeben. Somit lassen sich einfacher Implikationen der Ergebnisse für die Herstellung der Testaufgabe ableiten.

6.1.1.1 Studien zur Bestimmung von Intensitäts-Unterschieds-Schwellen

Stone (1963) untersuchte die Intensitäts-Unterschieds-Schwellen für die vier Geruchsstoffe 2-Oktanon, n-Heptyl-Alkohol, Ethyl n-Valerat und 2-Heptanon in jeweils drei verschiedenen Ausgangskonzentrationen. Die Geruchsstoffe wurden mit einem Olfaktometer präsentiert. Pro Durchgang wurden den Teilnehmern jeweils die Ausgangskonzentration und eine Vergleichskonzentration, die entweder stärker oder schwächer war und unterschiedlich stark abweichen konnte präsentiert. Die Aufgabe der Teilnehmer bestand darin, die Vergleichskonzentration zu detektieren. Außer für den Geruchsstoff Ethyl n-Valerat wurden zwei Konzentrationen eines Geruchsstoffs als unterschiedlich intensiv wahrgenommen, wenn die Vergleichskonzentration im Mittel mindestens 25% schwächer war. Für den Geruchsstoff Ethyl n-Valerat waren die Teilnehmer weniger sensitiv. Für diesen Geruchsstoff wurde ein Unterschied in der Intensität der Vergleichskonzentration wahrgenommen, wenn diese im Mittel mindestens 43% schwächer war. Stone und Bosley (Stone & Bosley, 1965) untersuchte in einer weiteren Studie die Intensitäts-Unterschieds-Schwellen für die fünf Geruchsstoffe Ethansäure, n-Heptyl-Alkohol, n-Heptanon, 2-Oktanon und Ethyl n-Valerat. Mit Ausnahme des Geruchsstoff Ethansäure wurden alle Geruchsstoffe in jeweils drei verschiedenen Ausgangskonzentrationen vorgegeben. Für Ethansäure wurden nur zwei verschiedene Ausgangskonzentrationen gewählt. Es wurde untersucht, wie stark die Konzentration im Vergleich zu einer Standardkonzentration verändert werden muss, damit ein Intensitätsunterschied überzufällig häufig richtig detektiert werden kann. Die Intensitäten für die Vergleichskonzentrationen der Geruchsstoffe n-Heptyl-Alkohol und 2 Oktanon, die notwendig waren, damit die Teilnehmer Intensitätsunterschiede zwischen den Standard- und den Vergleichskonzentrationen wahrnehmen konnten, waren vergleichbar zu denen in der zuvor beschriebenen Studie. Die Intensitätsunterschiedsschwelle lag bei 25%. Für den Geruchsstoff n-Heptanon war die Intensitäts-Unterschieds-Schwelle mit der von 2-Heptanon aus der zuvor beschriebenen Studie vergleichbar und lag bei 23%. Dieses Ergebnis deckt sich auch mit den Ergebnissen aus einer anderen Studie von Stone und Mitarbeitern (Stone, Ough und Pangborn, 1961). Die Intensitäts-Unterschieds-Schwelle für Ethyl n-Valerat lag bei 43% und die für Ethansäure bei 53%. In einer Studie von Wenzel aus dem Jahr 1949 wurde die Intensitäts-Unterschieds-Schwelle

für Phenyl-Ethanol bestimmt. Für verschiedene Ausgangskonzentrationen lag diese im Mittel bei 15% (Wenzel, 1949).

Slotnick und Ptak (Slotnick & Ptak, 1977) verglichen die olfaktorischen Intensitäts-Unterschieds-Schwellen für Amyl Azetat von Ratten und Menschen. Als Standardstimulus gaben sie Amyl Azetat in einer Konzentration von 0,01% vor. Um die Diskriminationsleistung der Ratten zwischen dem Standardstimulus und einem Vergleichsstimulus zu erfassen, wurde ein Konditionierungsparadigma verwendet. In der Akquisitionsphase wurden die flüssigkeitsdeprivierten Ratten mit Wasser verstärkt, wenn sie den Hebel drückten, der mit dem schwächer konzentrierten Geruchsstoff gepaart war. Die menschlichen Teilnehmer wurden damit verstärkt, dass richtige Antworten gezählt wurden. Die Ratten waren in der Testphase in der Lage, eine Vergleichskonzentration von im Mittel 0,00959% zu detektieren. Der geringste diskriminierbare Konzentrationsunterschied lag bei einer Vergleichskonzentration von 0,00969% vor. Damit waren die Ratten in der Lage, Konzentrationsunterschiede von 2-5% der Ausgangskonzentration zu detektieren. Menschen waren im Mittel in der Lage, eine Vergleichskonzentration von 0,00685% überzufällig häufig zu detektieren. Der geringste diskriminierbare Konzentrationsunterschied lag bei einer Vergleichskonzentration von 0,00779% vor. Bei Menschen waren somit Konzentrationsveränderungen von mindestens 25%, im Mittel jedoch von über 30% notwendig, um überzufällig häufig richtige Antworten zu erhalten. Auch wenn berücksichtigt werden muss, dass die Studie mit 3 Ratten und 4 Menschen durchgeführt wurde und die Validität der Ergebnisse auf den Geruchsstoff Amyl Azetat und die verwendete Ausgangskonzentration beschränkt ist, decken sich diese Ergebnisse mit denen, der vorangehenden Studien.

6.1.1.2 Implikationen für die Studie „Intensitätsunterscheidung“

In Anbetracht dessen, das in nur sehr wenigen Studien die Intensitäts-Unterschieds-Schwellen für Geruchsstoffe bestimmt wurden und nur Daten für acht verschiedene Geruchsstoffe vorliegen, können diese Studien nur einen Anhaltspunkt liefern. Keine dieser Studien hat die Unterscheidung zwischen olfaktorischer und trigeminaler Stimulation berücksichtigt. Die geringste Intensitäts-Unterschieds-Schwelle wurde in der Studie von Wenzel (Wenzel, 1949) für Phenyl-Ethanol gefunden. Wäre dieses Ergebnis auf die primär olfaktorische Eigenschaft der Geruchsstoffs zurückzuführen, müsste dies auch berücksichtigt werden, wenn die Ergebnisse auf die sechs Geruchsstoffe übertragen werden, die für die Herstellung der Testaufgaben verwendet werden.

Es könnte somit vermutet werden, dass Konzentrationsveränderungen der Komponenten in den Mischgerüchen von mehr als 25% bedingen, dass der abweichende Mischgeruche in den Testaufgaben an Hand der Konzentrationsveränderung einer Komponente erkannt werden könnte. Damit wäre nicht mehr die Gesamtbeurteilung der Qualität des Mischgeruchs notwendig um den abweichenden Mischgeruch detektieren zu können und die Validität des Test könnte angezweifelt werden.

6.1.2 Ableitung der Fragestellung

In dieser Studie sollte für jeden der sechs Geruchsstoffe, die in den Testaufgaben Verwendung finden werden, zunächst ermittelt werden, wie groß Konzentrationsunterschiede gewählt werden müssen, so dass diese unter den Intensitäts-Unterschieds-Schwellen liegen und folglich nicht überzufällig häufig richtig erkannt werden. Diese sollten als Anhaltspunkte verwendet werden, ob mögliche Validitätsprobleme des Diskriminationstests durch die Wahl entsprechender Konzentrationsunterschiede in den Mischgerüchen berücksichtigt werden müssen. Zudem sollte ermittelt werden, ob vergleichsweise geringere Konzentrationsunterschiede nicht detektiert werden können, so dass deren Verwendung in den Mischgerüchen unkritisch ist. Die Konzentrationsunterschiede die in dieser Studie vorgegeben wurden sollten zunächst in Testdurchläufen ermittelt werden. Da der Testaufbau in allen Testaufgaben identisch sein sollte, mussten zudem alle ermittelten Werte Gültigkeit für alle sechs Geruchsstoffe besitzen.

Aus den zuvor angestellten Überlegungen ließen sich zwei Fragestellungen ableiten. Die erste Fragestellung lautete, ob die in den Testdurchläufen dieser Studie ermittelten großen Konzentrationsunterschiede für alle sechs Geruchsstoffe überzufällig häufig richtig detektiert werden können. Die zweite Fragestellung lautete, ob vergleichsweise geringere Konzentrationsunterschiede, die ebenfalls in den Testdurchläufen ermittelt werden sollten, nicht überzufällig häufig richtig detektiert werden können. Das Ziel dieser Studie bestand darin, einen Wertebereich zu definieren, in dem Konzentrationsunterschiede für die Testaufgaben in den Mischgerüchen gewählt werden können, ohne dass die Validität der späteren Testaufgaben kritisch beurteilt werden muss.

6.2 Methoden

In dem folgenden Abschnitt wird der methodische Aufbau der Studie „Intensitätsunterscheidung“ beschrieben. Es wird insbesondere darauf eingegangen, nach welchen Kriterien die unterschiedlichen Intensitäten ausgewählt wurden.

6.2.1 Stichprobe

Die Studie wurde vom 5.April 2007 bis zum 30.April 2007 durchgeführt. Die Testung erfolgte in einem Laborraum der Heinrich-Heine-Universität in Düsseldorf. Die Teilnahme an der Studie erfolgte freiwillig. Die Teilnehmer wurden vor Beginn der Studie darüber aufgeklärt, dass die Studie einen Teil einer Testentwicklung darstellt. Sie wurden darüber informiert, dass ihre Teilnahme freiwillig erfolgt, ihre Daten vertraulich behandelt werden und sie jederzeit das Recht haben, die Studie ohne Nennung von Gründen abzubrechen, ohne dass damit persönliche Folgen für Sie entstehen. Die Teilnehmer mussten darauf hin ihr mündliches Einverständnis für die Teilnahme abgeben. Die Studie wurde mit insgesamt 48 Teilnehmer im Alter von 18 bis 40 Jahren durchgeführt (M = 25.1, SD = 3.9). Auch in dieser Studie wurde der Faktor Geschlecht balanciert. Das Alter unterschied sich nicht zwischen männlichen Teilnehmern (M = 25,8, SD = 3,1) und weiblichen Teilnehmern (M = 24,4, SD = 4,5) ($t_{46} = 1{,}23$, $p = 0{,}225$). Als Ausschlusskriterien zählten die gleichen Kriterien wie in den beiden vorangehenden Studien (Alzheimer-Demenz, Parkinson-Erkrankung, Depression, Schizophrenie, Essstörungen, Epilepsie, Korsakow-Syndrom, Chorea-Huntington, Schädel-Hirn-Trauma, Multiple-Sklerose, HIV, neurochirurgische Eingriffe, Stoffwechselstörungen, Riechstörungen, Erkrankungen der Nase oder des oberen Respirationstrakts, grippale Infekt, akute Allergien, chirurgische Eingriffe im Bereich der Nase, regelmäßige Medikamenteneinnahme, Drogenkonsum, hormonelle Erkrankungen, chronische Erkrankungen und Behinderungen). Wie bereits in der Studie Lateralisierung wurden Raucher von der Teilnahme ausgeschlossen. Eine Person wurde dann der Gruppe der Raucher zugeordnet, wenn sie mehr als sieben Zigaretten pro Woche raucht. Interessenten für die Teilnahme an der Studie wurden die Ausschlusskriterien vorab mitgeteilt, so dass nur die Interessenten an der Studie teilnahmen, auf die laut Selbstauskunft keines der definierten Ausschlusskriterien zutraf. Alle Teilnehmer wurden an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf rekrutiert. Die Auswahl der Teilnehmer erfolgte zufällig. Die Rekrutierung der Teilnehmer erfolgte zufällig durch persönliche Ansprache auf dem Campus

der Heinrich-Heine-Universität in Düsseldorf. Die Studiendauer betrug rund 15 Minuten. Die Teilnehmer erhielten als Aufwandsentschädigung Süßigkeiten.

6.2.2 Aufgabe

Die Aufgabe war für alle Teilnehmer identisch und wurde von jedem Teilnehmer mit allen Geruchsstoffen durchgeführt. Den Teilnehmern wurden pro Durchgang drei Flaschen mit Geruchsstoff präsentiert. In allen drei Flaschen befand sich der gleiche Geruchsstoff. In zwei Flaschen befand sich die gleiche Konzentration, während eine Flasche einen abweichenden Geruchsstoff enthielt. Die Aufgabe der Teilnehmer bestand darin, an allen drei Flaschen zu riechen und anschließend die Flasche auszuwählen, in der sich der Geruchsstoff in einer abweichenden Konzentration befand. Bei der Aufgabe handelte es sich somit um eine 3-Alternativen Forced-Choice-Prozedur und sie ist in ihrem Aufbau maximal ähnlich zu den geplanten späteren Testaufgaben. Pro Geruchsstoff mussten die Teilnehmer vier Durchgänge durchlaufen. In zwei Durchgängen wurden jeweils zwei niedrigere Konzentrationen vorgegeben und die Aufgabe bestand darin, jeweils eine höhere Konzentration zu detektieren. Zwischen beiden Durchgängen wurde variiert, ob es sich um einen hohen oder einen niedrigen Konzentrationsunterschied für die abweichende Konzentration handelt. In den beiden anderen Durchgängen wurden jeweils zwei hohe und eine niedrigere Konzentration präsentiert. Auch in diesem Fall wurde variiert, wie groß der Konzentrationsunterschied ist.

6.2.3 Versuchsmaterial

6.2.3.1 Stimuli

Für die Herstellung der Geruchsproben wurden die sechs Geruchsstoffe Phenyl-Ethanol, Kumarin, Dekansäure, Geraniol, Eugenol und Vanillin verwendet. Als Ausgangsbasis wurden die Geruchsstoffe in den Konzentrationen gewählt, die in der Studie Intensitätsmatching ermittelt wurden (Tabelle 6-1). Diese wurden nach den im Abschnitt 3.2.4.1 beschriebenen Verfahren zur Verarbeitung flüssiger und fester Geruchsstoffe hergestellt. Die drei festen Geruchsstoffe Kumarin, Dekansäure und Vanillin wurden zunächst in Diethyl-phtalat gelöst. Die notwendigen Konzentrationen für alle sechs Geruchsstoffe wurden durch Verdünnung mit Diethyl-phtalat erzeugt.

Tabelle 6-1: *Ausgangskonzentrationen der verwendeten Geruchsstoffe.*

Geruchsstoff	Konzentration
Kumarin	1:5
Eugenol	1:40
Geraniol	1:40
Phenyl-Ethanol	1:10
Dekansäure	1:40
Vanillin	1:10

Die fertigen Geruchsproben wurden bei Raumtemperatur gelagert (21 C° ±1C°). Es wurden 50ml Weithalsflaschen aus Braunglas verwendet (NE-Verpackungen, Bestellnr. W-020050BG01 S). Diese Flaschen besaßen jedoch keine PTFE-beschichteten Dichtungen. Die zu Beginn der Erhebung angesetzten Geruchsstoffe wurden für den gesamten Zeitraum der Erhebung von vier Wochen verwendet.

6.2.3.2 Auswahl der Konzentrationen

Die Auswahl der Konzentrationen lehnte sich stark an den Verüberlegungen an, wie die Testaufgaben gestaltet sein sollen. Die ersten methodischen Überlegungen, wie die Testaufgaben aufgebaut sein sollten, werden somit zunächst schon im Rahmen dieser Studie beschrieben. Darauf aufbauend wird hergeleitet, welche Konzentrationen in dieser Studie Verwendung fanden.

6.2.3.2.1. Geplanter Aufbau der Testaufgaben

Da der spätere Test rund 15 Testaufgaben umfassen sollte, war es wichtig zunächst einen ausreichend großen Aufgabenpool schaffen zu können, aus dem ausreichend viele Testaufgaben ausgewählt werden können, mit denen sich ein optimaler Test konstruieren lässt. Die Ausgangsüberlegung war, Mischgerüche aus drei Komponenten zu generieren. Mit sechs Geruchsstoffen lassen sich 20 verschiedene Kombinationen aus jeweils drei Geruchsstoffen generieren. Diese Anzahl ist jedoch viel zu gering um hiermit einen ausreichend großen Aufgabenpool generieren zu können. Wenn die Anteile der Komponenten in den Mischgerüchen

jedoch so gewählt werden, dass jeweils einer der drei Geruchsstoffe die Mischung anteilsmäßig dominiert, können mit jeder Kombination aus drei Geruchsstoffen auch drei Testaufgaben generiert werden. Der Aufgabenpool vergrößert sich damit auf 60 Aufgaben. Je größer der Anteil einer Komponente in dem Mischgeruch dabei ist, desto stärker kann auch sein Anteil verringert werden. An Hand von Probemischversuchen im Abteilungseigenen Labor schien das Mischungsverhältnis dann optimal zu sein, wenn die drei Komponenten im Anteil von 60%:20%:20% gemischt werden. Für den abweichenden Mischgeruch könnten dann die Anteil so verändert werden, dass der Anteil der Komponente, die zu 60% in der Mischung vertreten ist reduziert wird, während die Anteile der anderen beiden Komponenten zu gleichen Teilen erhöht werden. Folglich sollte in dieser Studie untersucht werden, wie stark die Konzentration eines 60%igen Geruchsstoffs reduziert werden muss, bis dies bemerkt werden kann, beziehungsweise wie stark die Konzentration eines 20%igen Geruchsstoffs erhöht werden muss. Welche Konzentrationen für die Vorgabe in dieser Studie ausgewählt wurden, wird in den nächsten beiden Absätzen beschrieben.

6.2.3.2.2 Auswahl der abweichenden Konzentration

Die theoretischen Vorüberlegungen zu der Gestaltung der Testaufgaben sahen vor, den Anteil der Komponenten in den Mischgerüche für den abweichenden Mischgeruch um insgesamt 10% des Gesamtvolumens zu verändern. Damit müssten die Komponenten von 60%:20%:20% in den beiden identischen Mischgerüchen auf 55%:22,5%:22.5%% für den abweichenden Mischgeruch verändert werden. In dieser Studie wurden den Teilnehmern somit in einem Durchgang zwei Flaschen mit dem jeweiligen Geruchstoff in 60%iger Konzentration seiner Ausgangskonzentration präsentiert und eine abweichende Falsche mit einer 55%igen Konzentration der Ausgangskonzentration. Analog dazu wurden für die Testung der Komponenten, die in den Testaufgaben einen geringen Anteil einnehmen werden, zwei Flaschen mit 20%iger Konzentration und eine Flasche mit 22.5%iger Konzentration der Ausgangskonzentration präsentiert.

6.2.3.2.3 Auswahl einer Vergleichskonzentration

Wie bereits beschrieben wurde, bestand das Ziel dieser Studie darin zu ermitteln, ob die vorgesehenen niedrigen Veränderungen der Konzentrationsanteile der Komponenten in den Mischgerüchen für die Testung der Konzentrationsunterschiede auf Ebene der einzelnen Ge-

ruchsstoffe nicht detektiert werden kann. Folglich müssten die Häufigkeiten richtiger Antworten für die im vorangehenden Absatz beschriebenen Durchgänge auf Zufallsniveau liegen. Da die Nullhypothese nicht getestet werden kann, könnte einerseits die Konvention getroffen werden, dass es wahrscheinlich ist, dass die Nullhypothese gilt, wenn der p-Wert größer ist als ein kritischer Wert von 0,250. Um die Ergebnisse jedoch zu stützen könnte zusätzlich getestet werden, ob sich die Häufigkeiten richtiger Antworten in den Bedingungen mit niedrigen Konzentrationsunterschieden von den Häufigkeiten richtiger Antworten unterscheiden, wenn hohe Konzentrationsunterschiede gewählt werden, die wesentlich größer sind und die überzufällig häufig detektiert werden können. Probetestungen mit Mitarbeitern der Abteilung haben gezeigt, dass die abweichende Konzentration deutlich erkannt werden konnte, wenn zu zwei 60%igen Konzentrationen eine 20%ige gegeben wird und zu zwei 20%igen eine 60%ige gegeben wird. Diese beiden zusätzlichen Bedingungen können somit als Methodenkontrolle dienen, da mit ihnen gezeigt werden kann, dass die Aufgabe prinzipiell gelöst werden kann, wenn die Konzentrationsunterschiede deutlich genug sind.

6.2.3.2.4 Kombinationen der Konzentrationen

Konzentrationsunterschied	***Ausgangskonzentration***	
	20%	*60%*
hoher Konzentrationsunterschied	Standard: 20% Abweichler: 60%	Standard: 60% Abweichler: 20%
niedriger Konzentrationsunterschied	Standard: 20% Abweichler: 22,5%	Standard: 60% Abweichler: 55%

Abbildung 6-2: Kombinationen der Konzentrationsveränderungen. Standard= Konzentration, von der zwei Geruchsproben präsentiert werden. Abweichler= Konzentration des Abweichlers, der richtig detektiert werden muss.

Pro Geruchsstoff wurde somit zum einen variiert, ob die Ausgangskonzentration 60% oder 20% beträgt. Zum anderen wurde variiert ob der Konzentrationsunterschied hoch oder niedrig ist. Abbildung 6-2 zeigt eine Übersicht über die gewählten Konzentrationsunterschiede und eine Übersicht über die Konzentrationen der drei Geruchsproben die für jede Konzentrationskombination vorgegeben wurden. Diese vier möglichen Kombinationen werden im Folgenden als „Bedingungen“ bezeichnet.

6.2.3.3 Verwendete Flaschen

Die Geruchsstoffe wurden in 50ml Braunglas-Weithalsflaschen mit DIN 32 Mündung präsentiert, die auch in den ersten beiden Studien verwendet wurden (NE-Verpackungen, Kehl, Best.-Nr. W-020050BG01 S). Das Volumen der Geruchsstoffe in den Flaschen betrug jeweils 20ml. Die Flaschen wurden am Ende eines jeden Untersuchungstages mit Parafilm® verschlossen, da die Geruchsstoffe für den gesamten Testzeitraum von vier Wochen verwendet wurden. Die Flaschen wurden jeweils am Deckel und am Flaschenboden etikettiert. Der Inhalt der Flasche wurde durch den Anfangsbuchstaben des Geruchsstoffs, sowie dessen Konzentrationsstufe kodiert. Die Flasche „K 60“ enthielt somit beispielsweise Kumarin in der 60% Konzentration der Kumarin-Ausgangskonzentration von 1:5.

6.2.3.4 Präsentation der Geruchsstoffe

Die Präsentation der Geruchsstoffe war vergleichbar mit der in den ersten beiden Studien. Zum Riechen wurden die Flaschen mit den Geruchsstoffen auf dem Tisch vor dem Teilnehmer platziert. Die Teilnehmer mussten sich über die Geruchsproben beugen. Die Flaschen wurden den Teilnehmern nicht angereicht, um zum einen zu verhindern, dass diese auf Grund ihrer kleinen Größe verschüttet wurden. Zum anderen stellte sich im Rahmen der Probedurchläufe vor Beginn der Studie heraus, dass es sich nicht vermeiden ließ, dass durch das wiederholte Aufschrauben minimale Rückstände der Geruchsstoffe an das Äußere der Flaschen gelangten, mit denen die Teilnehmer nicht in Kontakt kommen sollten. Aus diesem Grund wurden alle Flaschen auch regelmäßig von außen mit Einmal-Papierhandtüchern gereinigt. Der Abstand der Flaschen zur Tischkante betrug 15 cm. Die drei Flaschen pro Durchgang mit den Konzentrationen des jeweiligen Geruchsstoffs wurden aufgeschraubt und vor dem Teilnehmer platziert. Eine Flasche wurde mittig vor dem Teilnehmer und die anderen beiden im Abstand

von jeweils 40 cm links und rechts daneben platziert. Von dem Teilnehmer aus gesehen stand auf der linken Seite die Flasche, an der als erstes gerochen werden musste, mittig die Flasche, an der als zweites und rechts die Flasche, an der als letztes gerochen werden musste. Die Teilnehmer erhielten die Instruktion, an den Flaschen der Reihe nach, von links nach rechts zu riechen.

6.2.3.5 Teilnehmerbögen

Auf den Teilnehmerbögen (Anhang A5) war vermerkt, in welcher Reihenfolge die Geruchsstoffe präsentiert werden müssen. Zusätzlich war neben jedem Geruchsstoff vermerkt, in welcher Reihenfolge die Aufgabe mit den unterschiedlichen Konzentrationsunterschieden durchlaufen werden musste. Die vier verschiedenen möglichen Bedingungen pro Geruchsstoff wurden mit „60 – 60 – 55“, „60 – 60 – 20“, „20 – 20 – 22,5“ und 20 – 20 – 60“ gekennzeichnet. Die ersten beiden Zahlen gaben jeweils an, von welcher Konzentration zwei gleiche Geruchsproben präsentiert werden müssen und die letzte Zahl gab die Konzentration der abweichenden Geruchsprobe an.

6.2.4 Design

6.2.4.1 Unabhängige Variablen

Pro Geruchsstoff wurden zwei Designs untersucht. So wurden zum einen die hohen und zum anderen die niedrigen Ausgangskonzentrationen getrennt von einander untersucht. Für jede Ausgangskonzentration wurde die unabhängige Variable „Konzentrationsunterschied“ mit den beiden Faktorstufen „hoher Konzentrationsunterschied“ und „niedriger Konzentrationsunterschied“ entsprechend der methodischen Vorüberlegungen im Abschnitt 6.2.3.2 variiert. Die Auswertung der Daten erfolgte auch in dieser Studie für jeden Geruchsstoff getrennt.

6.2.4.2 Abhängige Variablen

Es wurde für jede der vier Bedingungen eines Geruchsstoffs die nominalskalierte Variable „Gewählte Konzentration“ erfasst. Diese konnte die beiden Werte „0“ und „1“ annehmen. Sie nahm den Wert „0“ an, wenn ein Teilnehmer eine der beiden Flaschen als abweichende Kon-

zentration auswählte, die dieselbe Konzentration enthielten. Sie nahm den Wert „1“ an, wenn der Teilnehmer die korrekte Flasche mit der abweichenden Konzentration identifizierte. Zum anderen wurden mit der nominalskalierten abhängigen Variable „Valenz“ auch in dieser Studie die Valenzratings erhoben. Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Ergebnissen in dieser Studie und den Ergebnissen in den ersten beiden Studien herstellen zu können, wurden erneut die beiden dichotomen Kategorien „angenehm“ und „unangenehm“ zur Auswahl vorgegeben.

6.2.4.3 Gegenbalancierungs-Design

Es wurden zwei Gegenbalancierungs-Faktoren eingeführt. Zum einen wurden die Abfolgend er Geruchsstoffe gegenbalanciert. Dabei wurden folgende Bedingungen realisiert (siehe Tabelle 6-3):

1. Jeder Geruchsstoff kommt an jeder Position gleich häufig vor.
2. Jeder Geruchsstoff kommt vor jedem der anderen Geruchsstoffe gleich häufig vor.

Tabelle 6-3: *Gegenbalancierungs-Design für die sechs Geruchsstoffe.*

Geruch 1	Geruch 2	Geruch 3	Geruch 4	Geruch 5	Geruch 6
Geruch 2	Geruch 4	Geruch 6	Geruch 1	Geruch 3	Geruch 5
Geruch 3	Geruch 6	Geruch 2	Geruch 5	Geruch 1	Geruch 4
Geruch 4	Geruch 1	Geruch 5	Geruch 2	Geruch 6	Geruch 3
Geruch 5	Geruch 3	Geruch 1	Geruch 6	Geruch 4	Geruch 2
Geruch 6	Geruch 5	Geruch 4	Geruch 3	Geruch 2	Geruch 1

Anmerkungen. Dargestellt ist das Gegenbalancierungs-Design für die Reihenfolge der sechs Geruchsstoffe. Eine Zuordnung der Geruchsstoffe zu den Gerüchen 1 bis 6 in der Tabelle kann beliebig erfolgen.

Ein zweiter Gegenbalancierungsfaktor wurde für die Abfolgen der vier Bedingungen pro Geruchsstoff realisiert. Dieser erfüllte die folgenden beiden Bedingungen (siehe Tabelle 6-4):

1. Jede Bedingung kommt an jeder Position gleich häufig vor
2. Jede Bedingung kommt gleich häufig vor jeder anderen vor.

Beide Faktoren wurden so mit einander Kombiniert, dass an jeder Position eines Geruchsstoffs alle acht Abfolgen der Bedingungen erhoben werden. Hieraus ergeben sich insgesamt 48 verschiedene Abfolgen.

Tabelle 6-4: *Gegenbalancierungs-Design der vier Bedingungen*

Bedingung 1	Bedingung 2	Bedingung 3	Bedingung 4
Bedingung 1	Bedingung 2	Bedingung 4	Bedingung 3
Bedingung 2	Bedingung 1	Bedingung 3	Bedingung 4
Bedingung 2	Bedingung 1	Bedingung 4	Bedingung 3
Bedingung 3	Bedingung 4	Bedingung 1	Bedingung 2
Bedingung 4	Bedingung 3	Bedingung 1	Bedingung 2
Bedingung 3	Bedingung 4	Bedingung 2	Bedingung 1
Bedingung 4	Bedingung 3	Bedingung 2	Bedingung 1

Anmerkungen. Dargestellt ist das Gegenbalancierungs-Design für die Reihenfolge der vier Bedingungen eines jeden Geruchsstoffs. Eine Zuordnung der Bedingungen zu den Bedingungen 1 bis 4 in der Tabelle kann beliebig erfolgen.

Die Teilnehmer wurden jedoch randomisiert einer von 48 verschiedenen Teilnehmernummern entsprechend dieser Abfolgen zugewiesen. Die Teilnehmernummer legte fest, in welcher Reihenfolge die Geruchsstoffe und die vier verschiedenen Durchgänge mit unterschiedlichen Konzentrationsunterschieden eines Geruchsstoffs entsprechend eines Gegenbalancierungs-Designs präsentiert werden mussten. Die Reihenfolge, in der die beiden Standards und der Abweichler präsentiert wurden wurde randomisiert.

6.2.5 Studiendurchführung

Tabelle 6-5 zeigt den schematischen Ablauf der Studie. Die Teilnehmer wurden durch Urnenziehung einer von 48 verschiedenen Teilnehmernummern zugewiesen, was das Studiendesign

vorsah (Abschnitt 6.2.4.3). Den Teilnehmern wurde zunächst die Aufgabe instruiert. Den Teilnehmern wurde im Anschluss ausreichend Zeit gegeben, mögliche Bedenken oder aufgetretene Fragen zu klären.

Tabelle 6-5: *Abfolge der Studiendurchführung.*

1. **Einführung** (Begrüßung, Versuchsinformationen, Ausschlusskriterien, Einverständnis, Einführung in die Aufgabe)
2. **Erster Durchgang**
   - Für jede der vier Bedingungen des ersten Geruchsstoffs: Präsentation der beiden Standards und des Abweichlers
   - Nach Präsentation der drei Stimuli einer Bedingung: Auswahl eines Stimulus durch den Teilnehmer
   - Abschließend: Valenzrating des ersten Geruchsstoffs durch den Teilnehmer
3. **Zweiter Durchgang**
   - Für jede der vier Bedingungen des zweiten Geruchsstoffs: Präsentation der beiden Standards und des Abweichlers
   - Nach Präsentation der drei Stimuli einer Bedingung: Auswahl eines Stimulus durch den Teilnehmer
   - Abschließend: Valenzrating des zweiten Geruchsstoffs durch den Teilnehmer
4. **Dritter Durchgang**
   - Für jede der vier Bedingungen des dritten Geruchsstoffs: Präsentation der beiden Standards und des Abweichlers
   - Nach Präsentation der drei Stimuli einer Bedingung: Auswahl eines Stimulus durch den Teilnehmer
   - Abschließend: Valenzrating des dritten Geruchsstoffs durch den Teilnehmer
5. **Vierter Durchgang**
   - Für jede der vier Bedingungen des vierten Geruchsstoffs: Präsentation der beiden Standards und des Abweichlers
   - Nach Präsentation der drei Stimuli einer Bedingung: Auswahl eines Stimulus durch den Teilnehmer
   - Abschließend: Valenzrating des vierten Geruchsstoffs durch den Teilnehmer
6. **Fünfter Durchgang**
   - Für jede der vier Bedingungen des fünften Geruchsstoffs: Präsentation der beiden Standards und des Abweichlers
   - Nach Präsentation der drei Stimuli einer Bedingung: Auswahl eines Stimulus durch den Teilnehmer
   - Abschließend: Valenzrating des fünften durch den Teilnehmer
7. **Sechster Durchgang**
   - Für jede der vier Bedingungen des sechsten Geruchsstoffs: Präsentation der beiden Standards und des Abweichlers
   - Nach Präsentation der drei Stimuli einer Bedingung: Auswahl eines Stimulus durch den Teilnehmer
   - Abschließend: Valenzrating des sechsten Geruchsstoffs durch den Teilnehmer
8. **Abschluss** (Abschließendes Gespräch mit Teilnehmern zur Klärung offener Fragen des Teilnehmers)

Anmerkungen. Die Zuweisung der Geruchsstoffe zu den 5 Durchgängen erfolgte entsprechend des Studiendesigns (Abschnitt 6.2.4.3).

Die 24 verschiedenen Durchgänge, die sich aus den sechs Geruchsstoffen und den vier Aufgaben pro Geruchsstoff ergeben, wurden in der durch das Studiendesign festgelegten Reihenfolge durchlaufen (Abschnitt 6.2.4.3). Als Riechtechnik wurde erneut eine Single-Sniff-Prozedur vorgegeben, wie sie auch in den späteren Testaufgaben angewendet werden sollte. Das Zwischen-Stimulus-Intervall (ISI), das heißt die Zeit zwischen dem Riechen an zwei verschiedenen Flaschen eines Durchgangs betrug mindestens 10 Sekunden und wurde mit einer Stoppuhr kontrolliert. Das Zwischen-Durchgangs-Intervall (ITI) betrug mindestens 60 Sekunden. Der schematische Ablauf einer Sitzung ist in Abbildung 6-6 dargestellt. Die Reihenfolge in der die beiden gleichen Geruchsproben eines Durchgangs und die abweichende Geruchsprobe präsentiert wurden, wurde randomisiert. Nachdem der Teilnehmer an allen drei Falschen eines Durchgangs gerochen hatte, musste er seine Antwort abgeben. Nach Abschluss der Sitzung hatten die Teilnehmer die Möglichkeit offene Fragen zu besprechen.

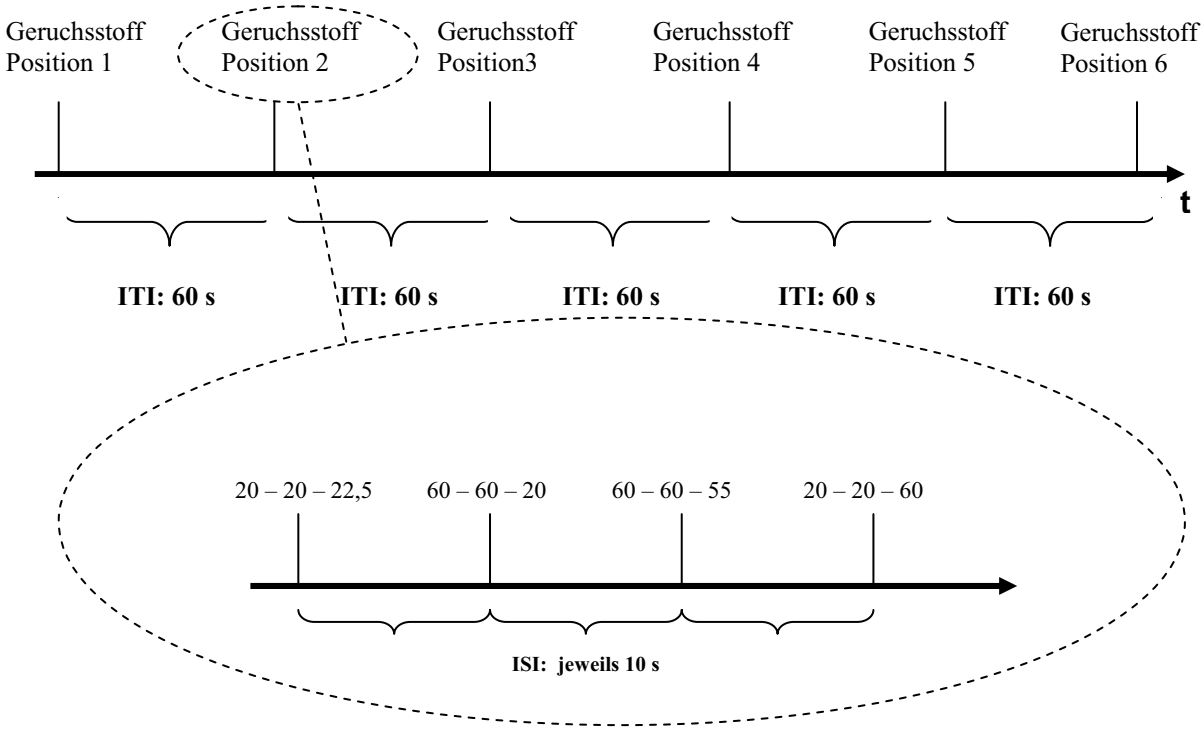


Abbildung 6-6: Zeitliche Abfolge der Präsentation der Geruchsstoffe. Das Zwischen-Durchgangs-Intervall (ITI) und das Zwischen-Stimulus-Intervall (ISI) sind exemplarisch für den Geruchsstoff an der 2. Position dargestellt. Die Reihenfolge, für welche Bedinung der Abweichler detektiert werden muss ist ebenfalls beispielhaft gewählt.

6.2.6 Hypothesen

6.2.6.1 Hypothesen für die Intensitätsunterscheidungsaufgabe

6.2.6.1.1 Hypothesen für die niedrigen Konzentrationsunterschiede

Das Ziel dieser Studie besteht darin zu untersuchen, ob die Teilnehmer für die Testung der einzelnen Geruchsstoffe in der Lage sind, die niedrigen Konzentrationsunterschiede zu detektieren, die in diesem Maß auch in den Testaufgaben Verwendung finden sollen,. Wenn die Teilnehmer in der Lage sind, diese niedrigen Konzentrationsunterschiede zu detektieren, sollten sie den Abweichler überzufällig häufig richtig detektieren können. Die Wahrscheinlichkeit für eine Antwort auf Zufallsniveau bei einer 3 Alternativen Forced-Choice-Prozedur liegt bei 1/3.

Nullhypothese: Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die abweichende Konzentration detektiert werden kann, ist in der Abhängigen Variable Gewählte Konzentration für die für den Mittelwert richtiger Antworten ($X_{niedrig}$) kleiner oder gleich der Wahrscheinlichkeit für eine Antwort auf Zufallsniveau.
Daraus folgt: $X_{niedrig} \leq 1/3$.

Alternativhypothese: Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die abweichende Konzentration detektiert werden kann, ist in der Abhängigen Variable Gewählte Konzentration für die für den Mittelwert richtiger Antworten ($X_{niedrig}$) größer als die Wahrscheinlichkeit für eine Antwort auf Zufallsniveau.
Daraus folgt: $X_{niedrig} > 1/3$

Die inferenzstatistische Auswertung dieser Hypothese erfolgte mit einem Binomialtest gegen den Zufallswert 1/3 getrennt nach Geruchsstoff und ebenfalls separat für die beiden Ausgangskonzentrationen 20& und 60%. Für die Berechnung mit dem Programm SPSS wurde der Testwert auf 0.333334 gerundet. Diese Testung entspricht einem konservativem Vorgehen.

6.2.6.1.2 Hypothesen für die hohen Konzentrationsunterschiede

Die Auswahl der hohen Konzentrationsunterschiede war auf die Einführung einer Vergleichsbedingung zurückzuführen. Diese diente nicht nur dazu zu überprüfen, ob sich die Ergebnisse von den Ergebnissen der niedrigen Konzentrationsunterschiede unterscheiden, wenn sich herausstellen sollte, dass die Teilnehmer nicht in der Lage sind, die niedrigen Konzentrationsunterschiede zu detektieren, sondern sie fungierte zusätzlich als Methodenkontrolle, ob die Teilnehmer grundsätzlich in der Lage sind, die gewählte Aufgabe zu lösen. Die Hypothesen für die hohen Konzentrationsunterschiede sind dabei äquivalent zu denen der niedrigen Konzentrationsunterschiede.

Nullhypothese: Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die abweichende Konzentration detektiert werden kann, ist in der Abhängigen Variable Gewählte Konzentration für die für den Mittelwert richtiger Antworten (X_{hoch}) kleiner oder gleich der Wahrscheinlichkeit für eine Antwort auf Zufallsniveau.
Daraus folgt: $X_{hoch} \leq 1/3$.

Alternativhypothese: Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die abweichende Konzentration detektiert werden kann, ist in der Abhängigen Variable Gewählte Konzentration für die für den Mittelwert richtiger Antworten (X_{hoch}) größer als die Wahrscheinlichkeit für eine Antwort auf Zufallsniveau.
Daraus folgt: $X_{hoch} > 1/3$

Die inferenzstatistische Auswertung dieser Hypothese erfolgt auch mit einem Binomialtest gegen den Zufallswert 1/3 getrennt nach Geruchsstoff und ebenfalls separat für die beiden Ausgangskonzentrationen 20& und 60%. Für die Berechnung mit dem Programm SPSS wurde der Testwert auf 0.333334 gerundet. Diese Testung entspricht einem konservativem Vorgehen.

6.2.6.2 Hypothesen für den Vergleich der niedrigen und hohen Konzentrationsunterschiede

Es wurde erwartet, dass sich die Häufigkeiten richtiger Antworten zwischen den niedrigen und hohen Konzentrationsunterschieden unterscheiden. Da die hohen Konzentrationsunterschiede einfacher zu detektieren sein sollten, konnte in diesem Zusammenhang auch gerichtete Hypothesen aufgestellt werden.

Nullhypothese: Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die abweichende Konzentration richtig detektiert wird ist in der Abhängigen Variable Gewählte Konzentration für die Bedingung mit hohen Konzentrationsunterschieden (X_{hoch}) gleich der Bedingung mit niedrigen Konzentrationsunterschieden ($X_{niedrig}$).
Daraus folgt $X_{hoch} \leq X_{niedrig}$

Alternativhypothese: Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die abweichende Konzentration richtig detektiert wird ist in der Abhängigen Variable Gewählte Konzentration für die Bedingung mit hohen Konzentrationsunterschieden (X_{hoch}) höher als in der Bedingung mit niedrigen Konzentrationsunterschieden($X_{niedrig}$).
Daraus folgt: $X_{hoch} > X_{niedrig}$

Auf Grund dessen, dass es sich bei dem Faktor Konzentrationsunterschied um einen Innersubjektfaktor handelte, konnte kein Chi-Quadrat-Test gerechnet werden, da in diesem Fall mit der doppelten Anzahl an Datensätzen gerechnet werden würde. Aus diesem Grund erfolgt die Auswertung mit einem McNemar-Test. Die Auswertung erfolgt für jeden Geruchsstoff und jede der beiden Ausgangskonzentrationen mit dem Programm SPSS 16.0. Die Bestimmung von Effektstärken für die im Rahmen der explorativen Datenanalyse gerechneten Chi-Quadrat-Tests erfolgte mit dem Programm G-Power 3 (Faul et al., 2007). Entsprechend Cohen (1988) gelten die Konventionen, dass 0,1 einen kleinen, 0,3 einen mittleren und 0,5 einen großen Effekt aufzeigen.

6.3 Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt wird zunächst die hypothesengeleitete Auswertung vorgenommen. Im Anschluss daran findet sich eine explorative Datenanalyse für den Faktor Geschlecht und die Abhängige Variable Valenz.

6.3.1 Hypothesengeleitete Auswertung

6.3.1.1 Hypothesengeleitet Auswertung der Ergebnisse für die Abhängige Variable Gewählte Konzentration in der Ausgangskonzentration 60%

Es wurde untersucht, ob der Abweichler überzufällig häufig erkannt werde konnte. Auf Grund der 3-Alternativen Forced-choice-Prozedur wurde untersucht, ob sich die Wahrscheinlichkeit für eine richtige Antwort von einer Antwort auf Zufallsniveau unterscheidet. Die Ratewahrscheinlichkeit liegt bei 1/3. Abbildung 6-4 zeigt die relativen Häufigkeiten für die sechs Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol, Dekansäure und Vanillin.

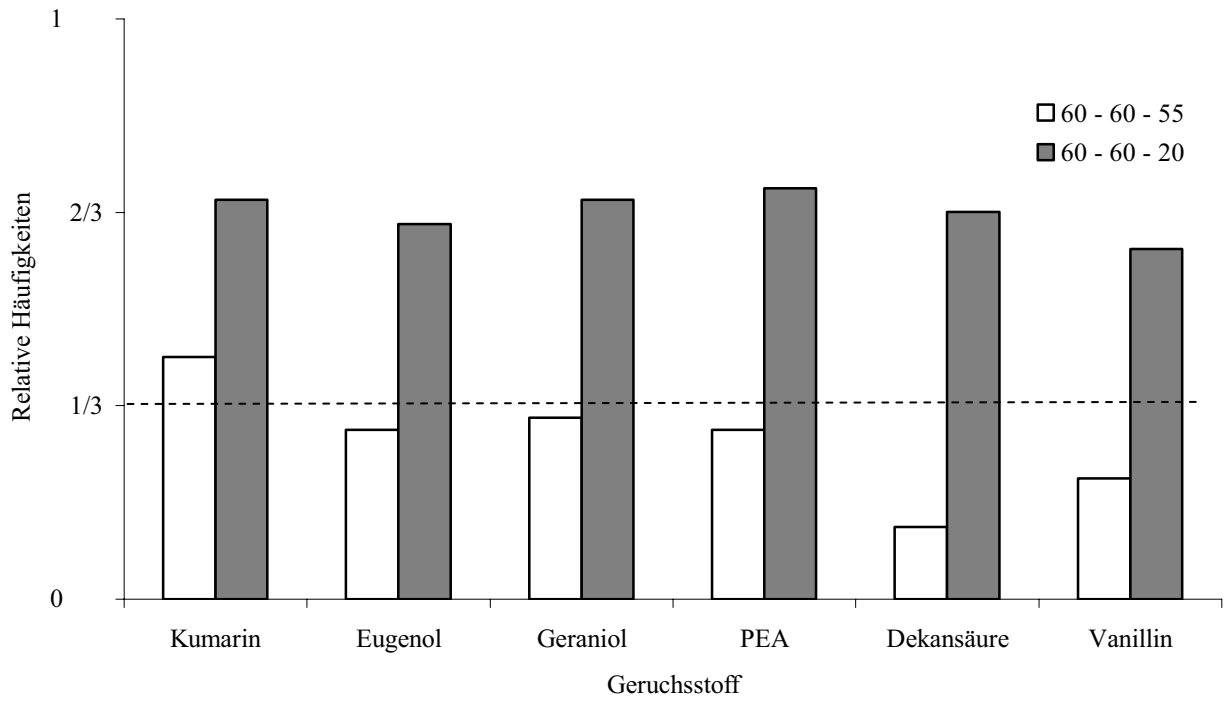


Abbildung 6-7: Relative Häufigkeiten richtiger Antworten für jeden der sechs Geruchsstoffe, getrennt nach niedrigem und hohem Konzentrationsunterschied des Abweichlers. Die Ratewahrscheinlichkeit für eine richtige Antwort liegt bei 1/3.

Tabelle 6-8 zeigt eine Übersicht über die beobachteten relativen Häufigkeiten, sowie die entsprechenden p-Werte der gerechneten Binomialtests gegen eine Ratewahrscheinlichkeit von 1/3 (B(48, 0,333334)).

Tabelle 6-8: *Abweichung absoluter Häufigkeiten in der Abhängigen Variablen Gewählte Konzentration.*

Geruchsstoff	Konzentrations-unterschied	Absolute Häufigkeiten	Relative Häufigkeiten	*p*
Kumarin	60 – 60 – 55	20	0,42	0,142
	60 – 60 - 20	33	0,69	< 0,001
Eugenol	60 – 60 – 55	14	0,29	-
	60 – 60 - 20	31	0,65	< 0,001
Geraniol	60 – 60 – 55	15	0,31	-
	60 – 60 - 20	33	0,69	< 0,001
Phenyl-Ethanol	60 – 60 – 55	14	0,29	-
	60 – 60 - 20	34	0,71	< 0,001
Dekansäure	60 – 60 – 55	6	0,13	-
	60 – 60 - 20	32	0,67	< 0,001
Vanillin	60 – 60 – 55	10	0,21	-
	60 – 60 - 20	29	0,60	< 0,001

Anmerkungen. Dargestellt sind die absoluten und relativen Häufigkeiten richtiger Antworten, sowie die *p*-Werte der für jeden Geruchsstoff gerechneten Binomialtests B (48, 0,333334). Der Testwert wurde auf 0,333334 aufgerundet, was einer konservativeren Testung entspricht.

Die Auswertung der Daten ergab, dass für keinen Geruchstoff in der Bedingung des niedrigen Konzentrationsunterschieds in den Durchgängen 60 – 60 – 55 signifikant mehr richtige Antworten gegeben wurden, als auf Ebene der Ratewahrscheinlichkeit. Außer für den Geruchsstoff Kumarin konnte für keinen der anderen Geruchsstoffe eine einseitige Testung vorgenommen werden, da die Häufigkeiten richtiger Antworten unter Ratewahrscheinlichkeit lagen. Im Gegensatz dazu wurden in den Bedingungen der hohen Konzentrationsunterschiede60 – 60 - 20 für alle Geruchsstoff deutlich mehr richtige Antworten gegeben, als auf Ebene der Ratewahrscheinlichkeit. Dennoch muss auch berücksichtigt werden, dass für jeden Geruchs-

stoff nur rund 2/3 der Teilnehmer den Abweichler richtig erkannt haben. Für jeden Geruchsstoff wurde zusätzlich ein Vergleich zwischen den hohen und niedrigen Konzentrationsunterschieden durchgeführt. Da es kein gängiges statistisches Testverfahren gibt, dass die Nullhypothese testen kann, wurde ebenfalls ein Vergleich zwischen den Häufigkeiten richtiger Antworten für beide Konzentrationsunterschiede durchgeführt. Die inferenzstatistische Auswertung wurde mit einem McNemar-Test vorgenommen. Eine Übersicht der Ergebnisse zeigt Tabelle 6-9. Die Ergebnisse des McNemar-Tests zeigen, dass sich die Häufigkeiten richtiger Antworten zwischen den niedrigen und hohen Konzentrationsunterschieden signifikant unterschieden. Es zeigt sich, dass bei niedrigen Konzentrationsunterschieden signifikant weniger richtige Antworten gegeben werden, als bei hohen Konzentrationsunterschieden.

Tabelle 6-9: *Ergebnisse der gerechneten McNemar-Tests.*

Geruchsstoff	*p*
Kumarin	0,004
Eugenol	< 0,001
Geraniol	0,001
Phenyl-Ethanol	< 0,001
Dekansäure	< 0,001
Vanillin	< 0,001

Anmerkungen. Dargestellt sind die *Z*-Werte und *p*-Werte sowie die exakten *p*-Werte für den Vergleich zwischen niedrigen und hohen Konzentrationsunterschieden für die Ausgangskonzentration 60%.

Insgesamt zeigte die Datenauswertung für die Ausgangskonzentration 60%, dass geringe Konzentrationsunterschiede von anteilig 5% am Gesamtvolumen des Geruchsstoff nicht detektiert werden konnten, während hohe Konzentrationsunterschiede von anteilig 40% detektiert werden konnten.

6.3.1.2 Hypothesengeleitet Auswertung der Ergebnisse für die Abhängige Variable Gewählte Konzentration in der Ausgangskonzentration 20%

Wie bereits im vorangehenden Absatz für die Ausgangskonzentration 60% wurde auch für die Ausgangskonzentration 20% untersucht, ob sich die relativen Häufigkeiten richtiger Antworten für alle sechs Geruchsstoffe und die hohen und niedrigen Konzentrationsunterschiede von der Ratewahrscheinlichkeit unterscheiden. Die relativen Häufigkeiten der sechs Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol, Dekansäure und Vanillin sind in Abbildung 6-10 vergleichend zwischen niedrigen und hohen Konzentrationsunterschieden grafisch dargestellt.

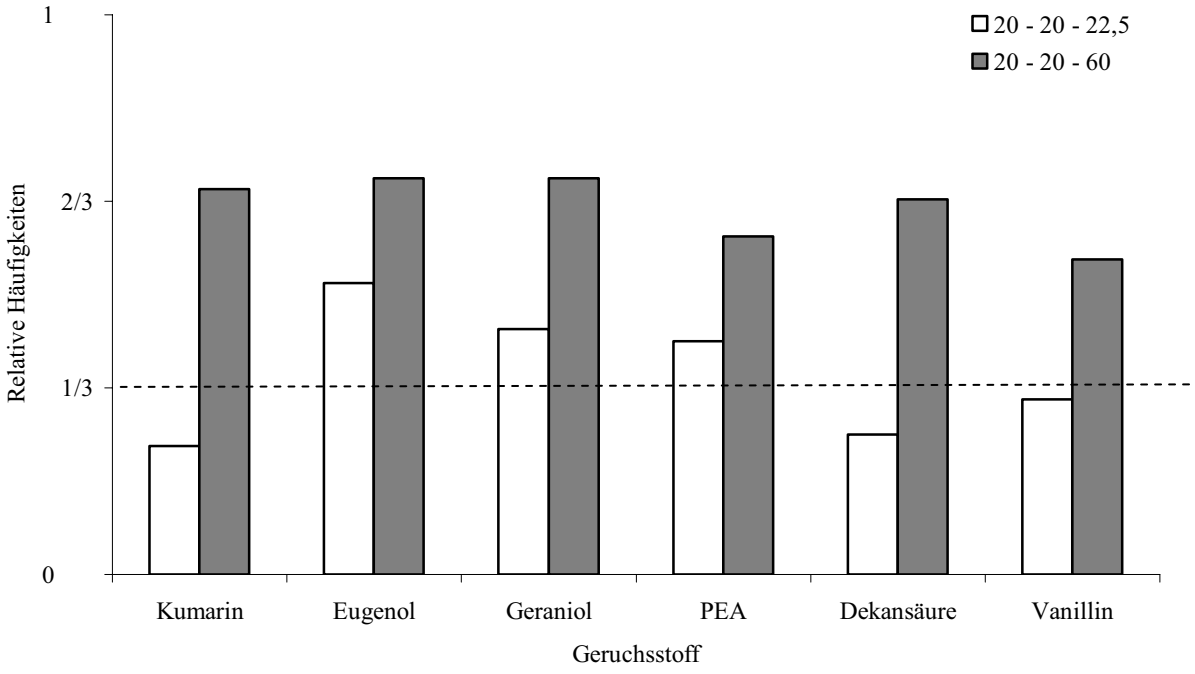


Abbildung 6-10: Relative Häufigkeiten richtiger Antworten für jeden der sechs Geruchsstoffe, getrennt nach niedrigem und hohem Konzentrationsunterschied des Abweichlers. Die Ratewahrscheinlichkeit für eine richtige Antwort liegt bei 1/3.

Für jeden Geruchsstoff wurde sowohl für die niedrigen als auch für die hohen Konzentrationsunterschiede ein Binomialtest gerechnet, ob sich die relativen Häufigkeiten richtiger Antworten von einem Wert auf Ratewahrscheinlichkeit unterscheiden. Da eine 3-Alternativen Forced-choice-Prozedur verwendet wurde betrug die Ratewahrscheinlichkeit für eine richtige Antwort 1/3. Als Testwert wurde der Wert 0,333334 verwendet. Tabelle 6-11 zeigt eine Über-

sicht über die absoluten und relativen Häufigkeiten richtiger Antworten sowie die entsprechenden *p*-Werte der gerechneten Binomialtests. Für die Geruchsstoffe Kumarin, Dekansäure und Vanillin konnte keine einseitige Testung vorgenommen werden, da für diese Geruchsstoffe unterzufällig häufig der Abweichler richtig detektiert wurde.

Tabelle 6-11: *Abweichung absoluter Häufigkeiten in der Abhängigen Variablen „Gewählte Konzentration“.*

Geruchsstoff	Konzentrations-unterschied	Absolute Häufigkeiten	Relative Häufigkeiten	*p*
Kumarin	20 – 20 – 22,5	11	0,229	-
	20 – 20 - 60	33	0,688	< 0,001
Eugenol	20 – 20 – 22,5	25	0,521	0,006
	20 – 20 - 60	34	0,708	< 0,001
Geraniol	20 – 20 – 22,5	21	0,438	0,086
	20 – 20 - 60	34	0,708	< 0,001
Phenyl-Ethanol	20 – 20 – 22,5	20	0,417	0,142
	20 – 20 - 60	29	0,604	< 0,001
Dekansäure	20 – 20 – 22,5	12	0,250	-
	20 – 20 - 60	32	0,667	< 0,001
Vanillin	20 – 20 – 22,5	15	0,313	-
	20 – 20 - 60	27	0,563	0,001

Für den Geruchsstoff Geraniol zeigte sich eine Tendenz dahingehend, dass überzufällig häufig der richtige Abweichler detektiert wurde.

Im Vergleich zu den niedrigen Konzentrationsunterschieden zeigte sich bei allen Geruchsstoffen für die hohen Konzentrationsunterschiede, dass die Teilnehmer signifikant häufiger richtige Antworten gaben, als sie durch raten hätten erzielen können. Wie sich bereits bei der Auswertung der Daten für die Ausgangskonzertration 60% gezeigt hatte, wurden einerseits deutlich mehr richtige Antworten gegeben als auf Ratewahrscheinlichkeit, allerdings waren auch hier für jeden Geruchsstoff nur rund 2/3 aller Antworten richtig, was ebenfalls verdeutlicht, dass die hohen Konzerntrationsunterschiede nicht so deutlich waren, dass sie von

allen Teilnehmern hätten detektiert werden können. Dennoch konnten für die Ausgangskonzentration 20% bei den Geruchsstoffen Eugenol und Geraniol auch die niedrigen Konzentrationsunterschiede zumindest tendenziell detektiert werden.

Es wurde ebenfalls analysiert, ob sich die Häufigkeiten richtiger Antworten zwischen den niedrigen und hohen Konzentrationsunterschieden unterscheidet. Auf Grund der Abhängigkeit der Daten wurde ein McNemar-Test gerechnet. Die *Z*-Werte und *p*-Werte für den Vergleich der Häufigkeiten richtiger Antworten zwischen niedrigen und hohen Konzentrationsunterschieden für jeden Geruchsstoff sind in Tabelle 6-12 dargestellt.

Tabelle 6-12: *Ergebnisse der gerechneten McNemar-Tests.*

Geruchsstoff	*p*
Kumarin	< 0,001
Eugenol	0,078
Geraniol	0,015
Phenyl-Ethanol	0,124
Dekansäure	< 0,001
Vanillin	0,045

Anmerkungen. Dargestellt sind die *Z*-Werte und *p*-Werte sowie die exakten *p*-Werte für den Vergleich zwischen niedrigen und hohen Konzentrationsunterschieden für die Ausgangskonzentration 20%.

Außer für den Vergleich des niedrigen und hohen Konzentrationsunterschieds für die Geruchsstoffe Eugenol und Phenyl-Ethanol unterschieden sich für die übrigen vier Geruchsstoffe die Häufigkeiten richtiger Antworten zwischen den niedrigen und hohen Konzentrationsunterschieden signifikant. Für den Geruchsstoff Eugenol liegt die Erklärung für den nichtsignifikanten Unterschied beider Bedingungen darin, dass auch für die niedrigen Konzentrationsunterschiede überzufällig häufig richtige Antworten gegeben wurden. Für den Geruchsstoff Phenyl-Ethanol wurden für den hohen Konzentrationsunterschied absolut betrachtet neun richtige Antworten mehr gegeben. Damit entspricht diese Differenz deskriptiv betrachtet exakt der Differenz richtiger Antworten für den Geruchsstoff Eugenol.

6.3.2 Post-hoc Auswertung für die Abhängige Variable Gewählte Konzentration

Im folgenden Absatz werden die Daten hinsichtlich des Faktors Geschlecht und dem Zusammenhang zwischen den Abhängigen Variablen Valenz und Antwort ausgewertet. Die Auswertung erfolgt erneut getrennt nach den beiden Ausgangskonzentrationen 60% und 20%

6.3.2.1 Einfluss des Faktors Geschlecht auf die Häufigkeiten richtiger Antworten für die Ausgangskonzentration 60%

Tabelle 6-13 *Unterschiede zwischen weiblichen und männlichen Teilnehmern.*

Geruchsstoff	Konzentrations-unterschied	Absolute Häufigkeiten Mann	Frau	χ^2	*df*	*p*	*w*
Kumarin	60 – 60 – 55	10	10	0,00	1,1	1,000	0,00
	60 – 60 - 20	17	16	0,10	1,1	0,755	0,04
Eugenol	60 – 60 – 55	7	7	0,00	1,1	1,000	0,00
	60 – 60 - 20	13	18	2,28	1,1	0,131	0,23
Geraniol	60 – 60 – 55	8	7	0,10	1,1	0,755	0,06
	60 – 60 - 20	17	16	0,07	1,1	0,755	0,04
Phenyl-Ethanol	60 – 60 – 55	7	7	0,00	1,1	1,000	0,00
	60 – 60 - 20	19	15	1,61	1,1	0,204	0,17
Dekansäure	60 – 60 – 55	5	1	3,05	1,1	0,081	0,27
	60 – 60 - 20	17	15	0,38	1,1	0,540	0,09
Vanillin	60 – 60 – 55	5	5	0,00	1,1	1,000	0,00
	60 – 60 - 20	15	14	0,09	1,1	0,768	0,05

Anmerkungen. Dargestellt sind die absoluten Häufigkeiten richtiger Antworten getrennt für männliche und weibliche Teilnehmer, sowie die *p*-Werte und Effektgrößen (*w)* der für jeden Geruchsstoff gerechneten Chi²-Tests.

Für jeden Geruchsstoff wurde sowohl für die niedrigen als auch für die hohen Konzentrationsunterschiede ein Chiquadrat-Test gerechnet. Eine Übersicht über die absoluten Häufigkei-

ten richtiger Antworten, sowie die entsprechenden Chi-Quadrat- und *p*-Werte liefert Tabelle 6-13. Für keinen der gerechneten Vergleiche zeigte sich ein Einfluss des Faktors Geschlecht auf die Häufigkeiten richtiger Antworten. Auffallend ist, dass für den Geruchsstoff Dekansäure nur einer von 24 weiblichen Teilnehmern in der Lage war, den niedrigen Konzentrationsunterschied zu detektieren. In diesem Fall zeigt sich auch eine Tendenz dahingehend, dass sich die Häufigkeiten richtiger Antworten zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmern unterscheiden.

6.3.2.2 Einfluss des Faktors Geschlecht auf die Häufigkeiten richtiger Antworten für die Ausgangskonzentration 20%

Tabelle 6-14: *Unterschiede zwischen weiblichen und männlichen Teilnehmern.*

Geruchsstoff	Konzentrationsunterschied	Absolute Häufigkeiten Mann	Frau	χ^2	*df*	*p*	*w*
Kumarin	20 – 20 – 22,5	6	5	0,12	1,1	0,731	0,07
	20 – 20 - 60	17	16	0,10	1,1	0,755	0,15
Eugenol	20 – 20 – 22,5	11	14	0,75	1,1	0,386	0,15
	20 – 20 - 60	15	19	1,61	1,1	0,204	0,17
Geraniol	20 – 20 – 22,5	11	10	0,09	1,1	0,771	0,05
	20 – 20 - 60	14	20	3,63	1,1	0,057	0,28
Phenyl-Ethanol	20 – 20 – 22,5	12	8	1,37	1,1	0,242	0,09
	20 – 20 - 60	12	17	2,18	1,1	0,140	0,24
Dekansäure	20 – 20 – 22,5	7	5	0,44	1,1	0,505	0,12
	20 – 20 - 60	16	16	0,00	1,1	1,000	0,00
Vanillin	20 – 20 – 22,5	5	10	2,42	1,1	0,119	0,28
	20 – 20 - 60	16	11	2,12	1,1	0,146	0,22

Anmerkungen. Dargestellt sind die absoluten Häufigkeiten richtiger Antworten getrennt für männliche und weibliche Teilnehmer, sowie die *p*-Werte und Effektgrößen (*w)* der für jeden Geruchsstoff gerechneten Chi²-Tests.

Für jeden Geruchsstoff wurde sowohl für die niedrigen als auch für die hohen Konzentrationsunterschiede ein Chi-Quadrat-Test gerechnet. Eine Übersicht über die absoluten Häufigkeiten richtiger Antworten, sowie die entsprechenden Chi-Quadrat- und *p*-Werte liefert Tabelle 6-14. Es zeigte sich eine Tendenz für den Geruchsstoff Geraniol dahingehend, dass weibliche Teilnehmer häufiger den Abweichler richtig detektierten.

6.3.3 Post-hoc Auswertung für die Abhängige Variable Valenz

Abbildung 6-15 zeigt für beide Gruppen zusammen, wie häufig die sechs Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol, Dekansäure und Vanillin jeweils als *angenehm* und *unangenehm* bewertet wurden.

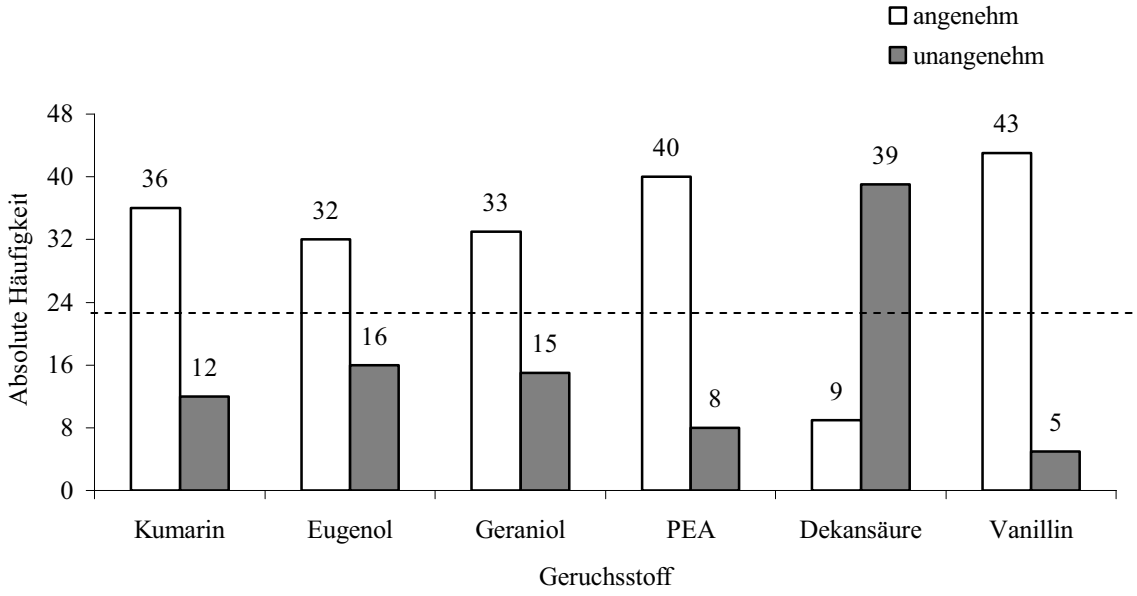


Abbildung 6-15: Verteilung der absoluten Häufigkeiten der Antworten in der Abhängigen Variablen Valenz. Dargestellt sind die absoluten Häufigkeiten für die Abhängige Variable Valenz, wie häufig die beiden Kategorien angenehm und unangenehm für die sechs Geruchsstoffe jeweils gewählt wurden.

Für alle Geruchsstoffe wurde ein Chi-Quadrat-Test auf Gleichverteilung der beiden Kategorien angenehm und unangenehm gerechnet (Tabelle 6-16). Die Auswertung zeigte eindeutig, dass die fünf Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol und Vanillin als

angenehm und Dekansäure als unangenehm bewertet wurden. Im Gegensatz zu den beiden vorangehenden Studien wurde erstmals auch der Geruchsstoff Eugenol als eindeutig angenehm bewertet wurde.

Tabelle 6-16: *Abweichung der Valenzratings von einer Gleichverteilung.*

Geruchsstoff	χ^2	*df*	*p*	*w*
Kumarin	12,00	1	0,001	0,58
Eugenol	5,33	1	0,021	0,35
Geraniol	6,75	1	0,009	0,41
Phenyl-Ethanol	21,33	1	< 0,001	0,86
Dekansäure	18,75	1	< 0,001	0,80
Vanillin	30,09	1	< 0,001	1,30

Anmerkungen. Dargestellt sind die χ^2-Werte sowie die *p*-Werte und Effektgrößen (*w)* der für jeden Geruchsstoff gerechneten Chi²-Tests.

6.3.3.1 Einfluss des Faktors Valenz auf die Häufigkeiten richtiger Antworten für die Ausgangskonzentration 60%

Für die Ausgangskonzentration 60% wurde für beide Konzentrationsunterschiede getrennt jeweils die Korrelation nach Pearson zwischen den Häufigkeiten richtiger Antworten und den Valenzratings bestimmt. Tabelle 6-17 zeigt die Übersicht über die entsprechenden Korrelationen und *p*-Werte. Keine Korrelation wurde statistisch bedeutsam. Somit gibt es keinen linearen Zusammenhang zwischen der subjektiv wahrgenommenen Valenz und der Wahrscheinlichkeit für eine richtige Antwort

Tabelle 6-17: *Korrelationen zwischen den richtigen Antworten und den Valenzen.*

Geruchsstoff	Konzentrations-unterschied	r_p	*p*-Wert
Kumarin	60 – 60 – 55	-0,10	0,509
	60 – 60 - 20	-0,03	0,861
Eugenol	60 – 60 – 55	0,13	0,380
	60 – 60 - 20	-0,03	0,835
Geraniol	60 – 60 – 55	-0,06	0,676
	60 – 60 - 20	-0,22	0,125
Phenyl-Ethanol	60 – 60 – 55	-0,04	0,782
	60 – 60 - 20	-0,08	0,580
Dekansäure	60 – 60 – 55	-0,14	0,338
	60 – 60 - 20	-0,11	0,444
Vanillin	60 – 60 – 55	-0,01	0,962
	60 – 60 - 20	-0,14	0,334

Anmerkungen. Dargestellt sind die Korrelationen an Hand des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten, sowie die entsprechenden *p*-Werte. Positive Korrelationen bedeuten, dass die Teilnehmer häufiger richtige Antworten gegeben haben, wenn sie den Geruchsstoff als angenehm bewertet haben.

6.3.3.2 Einfluss des Faktors Valenz auf die Häufigkeiten richtiger Antworten für die Ausgangskonzentration 20%

Für die Ausgangskonzentration 20% wurde für beide Konzentrationsunterschiede getrennt jeweils die Korrelation nach Pearson zwischen den Häufigkeiten richtiger Antworten und den Valenzratings bestimmt. Tabelle 6-18 zeigt die Übersicht über die entsprechenden Korrelationen und *p*-Werte. Keine Korrelation wurde statistisch bedeutsam. Auch für die Ausgangskonzentration 20% gab es somit keinen linearen Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Valenz und der Wahrscheinlichkeit für eine richtige Antwort.

Tabelle 6-18: *Korrelationen zwischen den richtigen Antworten und den Valenzen.*

Geruchsstoff	Konzentrations-unterschied	r_p	*p*-Wert
Kumarin	20 – 20 – 22,5	0,14	0,332
	20 – 20 - 60	0,08	0,599
Eugenol	20 – 20 – 22,5	-0,03	0,842
	20 – 20 - 60	-0,03	0,827
Geraniol	20 – 20 – 22,5	-0,23	0,112
	20 – 20 - 60	-0,06	0,676
Phenyl-Ethanol	20 – 20 – 22,5	-0,04	0,799
	20 – 20 - 60	0,13	0,366
Dekansäure	20 – 20 – 22,5	0,03	0,835
	20 – 20 - 60	0,00	1,000
Vanillin	20 – 20 – 22,5	-0,08	0,576
	20 – 20 - 60	0,14	0,268

Anmerkungen. Dargestellt sind die Korrelationen an Hand des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten, sowie die entsprechenden *p*-Werte. Positive Korrelationen bedeuten, dass die Teilnehmer häufiger richtige Antworten gegeben haben, wenn sie den Geruchsstoff als angenehm bewertet haben.

6.4 Diskussion

Die Auswertung der Ergebnisse hat ergeben, dass die gewählten Konzentrationsunterschiede für den Abweichler von anteilig 40% der Ausgangskonzentration deutlich überzufällig häufig detektiert werden konnten. Dennoch wurden diese Konzentrationsunterschiede bei allen Geruchsstoffen und ebenfalls bei beiden Ausgangskonzentrationen nur von rund 2/3 der Teilnehmer detektiert. Für die vergleichsweise niedrigen Konzentrationsunterschiede von 5% bei einer Ausgangskonzentration von 60% und 2,5% bei einer Ausgangskonzentration von 20% lagen die Häufigkeiten richtiger Antworten auf Ebene des Zufallsniveaus oder darunter. Die einzige Ausnahme bildete der Geruchsstoff Eugenol bei einer Ausgangskonzentration von 20%. In diesem Fall konnten selbst Konzentrationsunterschiede von 2,5% detektiert werden. In dem folgenden Abschnitt werden zunächst die interne Validität, anschließend die externe Validität und abschließend Implikationen für die Validität diskutiert.

6.4.1 Diskussion der internen Validität

Die deskriptive Auswertung der Daten ergab, dass es keinen Einfluss des Faktors Geschlecht oder der Valenzratings gegeben hatte. Beides konnte somit als Störgrößen ausgeschlossen werden. Wie in den beiden zuvor durchgeführten Studien wurde auch bei der Auswahl der Teilnehmer darauf geachtet, dass diese gesund sind, so dass Erkrankungen ausgeschlossen werden können. Auch die Durchführung verlief bei allen Teilnehmern standardisiert. Um den Einfluss der Präsentationsreihenfolge auszuschließen, wurde ein entsprechendes Gegenbalancierungs-Design verwendet. Dennoch waren bei allen Geruchsstoffen und den jeweiligen beiden Ausgangskonzentrationen eines Geruchsstoffs nur rund 2/3 der Teilnehmer in der Lage, den Abweichler zu detektieren. Dieser Aspekt muss unter dem Gesichtspunkt der externen Validität diskutiert werden.

6.4.2 Diskussion der externen Validität

Wie bereits in der Einleitung dargestellt wurde, ist die Übertragbarkeit der Ergebnisse aus den Studien des theoretischen Hintergrunds (Slotnick & Ptak, 1977; Stone, 1964; Stone, 1962) auf die sechs untersuchten Geruchsstoffe nur eingeschränkt zulässig, da es sich bei den in diesen Studien verwendeten Geruchsstoffen nicht nur um unterschiedliche Geruchsstoffe handelt, sondern des weiteren deren olfaktorischen Eigenschaften nicht untersucht wurden. Unter Ein-

bezug der Studie von Wenzel (1949) wurden für alle Studien zusammen betrachtet detektierbare Intensitäts-Unterschieds-Schwellen von 15% bis 53% berichtet. Alle Intensitäts-Unterschieds-Schwellen bezogen sich dabei auf die Konzentrationsveränderung in Relation zu der Ausgangskonzentration. Die in dieser Studie verwendeten Konzentrationsunterschiede von anteilig 40% der Gesamtkonzentration entsprachen für die Ausgangskonzentration 60% einer relativen Konzentrationsveränderung von 66,6% und für die Ausgangskonzentration 20 einer relativen Konzentrationsveränderung von 200%. Dennoch waren nur rund 2/3 der Teilnehmer in der Lage, den richtigen Abweichler zu detektieren. Die Konzentrationsveränderung von anteilig 60% auf 55% für die niedrigen Konzentrationsunterschiede entsprach einer relativen Konzentrationsveränderung von 8,3% im Vergleich zu der Ausgangskonzentration 60%. Für die Ausgangskonzentration 20% entsprach die Konzentrationsveränderung von anteilig 20% auf 22,5% einem relativen Konzentrationsanstieg von 12,5%. Für beide niedrigen Konzentrationsunterschiede lagen die relativen Konzentrationsveränderungen damit unter der von Wenzel (1949) ermittelten detektierbaren Intensitäts-Unterschieds-Schwelle von 15% für Phenyl Ethanol. Dennoch wurde die niedrige Konzentrationsveränderung für die Ausgangskonzentration 20% und den Geruchsstoff Eugenol überzufällig häufig richtig detektiert.

In den zitierten Studien wurden jeweils Paare von Geruchsproben präsentiert und die Intensitäts-Unterschieds-Schwellen messwiederholt und in Durchgängen mit verschiedenen Konzentrationsunterschieden ermittelt. In dieser Studie war die Aufgabengestaltung identisch zu der in den zukünftigen Testaufgaben. So sollte aus drei vorgegeben Geruchsproben ein Abweichler ermittelt werden. Zudem wurde für jede Kombination aus Ausgangskonzentration, Geruchsstoff und Konzentrationsunterschied nur eine Messung erhoben und darüber hinaus andere Geruchsstoffe verwendet. Ebenfalls wurden keine Intensitäts-Unterschieds-Schwellen für die jeweiligen Geruchsstoffe wie bei einem Schwellenverfahren ermittelt, sonder das Ziel dieser Studie bestand vielmehr darin, einen für alle sechs Geruchsstoffe gültigen Anhaltspunkt zu schaffen, bis zu welcher Konzentrationsveränderung diese Unterschiede nicht detektiert werden können und ab welchen Konzentrationsunterschieden damit zu rechnen ist, dass diese Unterschiede deutlich detektiert werden können. Die großen methodischen Unterschiede und vor allem mögliche Unterschiede in den Eigenschaften der Geruchsstoffe können als Erklärung hierfür hinzugezogen werden, dass bei den großen Konzentrationsunterschieden nur 2/3 der Teilnehmer den Abweichler richtig detektierten, im Gegensatz dazu jedoch der geringe Konzentrationsunterschied für die Ausgangskonzentration 20% und den Geruchsstoff Eugenol detektiert werden konnte. In Bezug auf die externe Validität besitzen die Ergebnisse dieser Studie folglich ausschließlich Gültigkeit für die Übertragbarkeit der

Ergebnisse auf die zukünftigen Testaufgaben, jedoch nicht für die Wahrnehmung von Intensitäts-Unterschieden bei Geruchsstoffen per se. Auch die geringe Anzahl an Forschungsliteratur zu dieser Thematik erschwert die Einordnung der Ergebnisse in einen Gesamtzusammenhang.

6.4.3 Implikationen für den Aufbau der Testaufgaben

Der in dieser Studie beschriebene mögliche Aufbau der Mischgerüche aus drei Komponenten entspricht einem ersten konzeptuellen Vorgehen, wie die Testaufgaben aufgebaut sein könnten. Ob dieser Aufbau haltbar ist oder verworfen werden muss, werden erste Testdurchläufe zeigen. Um mögliche Validitätsprobleme zu umgehen sollte dennoch bei der Konstruktion der Testaufgaben darauf geachtet werden, dass möglichst geringe Konzentrationsveränderungen der Komponenten für den abweichenden Mischgeruch gewählt werden. Es ist empfehlenswert zunächst mit den hier gewählten geringen Konzentrationsunterschieden zu beginnen. Sollte die Detektierbarkeit des Abweichlers zu schwierig sein, sollten die Konzentrationsunterschiede der Komponenten sukzessive erhöht werden. Ob und in wie weit Interaktionseffekte zwischen den Komponenten in den Mischgerüchen Einfluss auf die Wahrnehmung der Konzentrationsunterschiede der Komponenten nehmen, kann weder an dieser Stelle, noch im weiteren Verlauf dieser Arbeit beantwortet werden.

6.4.4 Ausblick

Die in den hier zitierten Studien ermittelten Unterschiedsschwellen wiesen eine hohe Variabilität auf. Wie an dem Beispiel von Eugenol in der Ausgangskonzentration 20% in dieser Studie zu sehen ist, ist es möglich, dass noch geringere Intensitäts-Unterschiede als die von Wenzel (1949) ermittelte Schwelle von 15% für Phenyl-Ethanol bei dem entsprechenden Geruchsstoff detektiert werden können. Wie bisher an verschiedenen Stellen diskutiert wurde, gibt es sowohl hohe interindividuelle Unterschiede zwischen den Teilnehmern als auch Unterschiede zwischen den Geruchsstoffen, die es verhindern, dass für die Intensitäts-Unterschieds-Schwellen von Geruchsstoffen allgemeingültige Werte ermittelt werden können. Darüber hinaus besitzt auch die Ausgangskonzentration einen Einfluss. Für das weitergehende Verständnis, welche Mechanismen die Intensitäts-Unterschieds-Wahrnehmung beeinflussen wäre die Erforschung der biologischen Grundlagen notwendig oder die Entwicklung einer standardisierten Testprozedur.

7. Studie 5: Testkonstruktion

Diese Studie umfasste die eigentliche Testentwicklung. Sie beinhaltet die Konstruktion der Testaufgaben und die Konstruktion eines Testverfahrens auf Basis der Klassischen Testtheorie, das den gültigen Gütekriterien entspricht.

7.1 Theoretischer Hintergrund

7.1.1 Bewertung der durchgeführten Vorstudien

Die für die Testkonstruktion notwendigen Vorstudien waren an dieser Stelle abgeschlossen, so dass mit der eigentlichen Testkonstruktion begonnen werden konnte. Wie die durchgeführten Studien und deren Bedeutung für die Testkonstruktion bewertet werden können soll dieser Abschnitt zusammenfassen.

7.1.1.1 Studie 1: Intensitätsmatching

Die erste Studie stellte das wichtigste Element der Vorstudien dar, da auf den in dieser Studie ermittelten Konzentrationen alle weiterführenden Studien und auch die Testkonstruktion aufbauten. Das Ziel dieser Studie bestand darin für alle sechs Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol, Dekansäure und Vanillin vergleichbare Intensitäten zu schaffen. Hierfür wurde der Geruchsstoff Vanillin in der Konzentration von 1:10 vorgegeben und die Teilnehmer hatten die Aufgabe für jeden der anderen fünf Geruchsstoffe jeweils eine von drei vorgegeben Konzentrationsstufen auszuwählen die am besten zu dem Vanillin-Referenzgeruch passt. Die Ergebnisse lieferten eine Gleichverteilung der Antworten über die für jeden Geruchsstoff vorgegeben drei Konzentrationsstufen. Durch Bildung des geometrischen Mittels und die Auswahl derjenigen der vorgegebenen Konzentrationen, die am nächsten an dem geometrischen Mittel lagen, konnten die Ergebnisse dennoch sinnvoll weiterverwendet werden. Da jedoch nicht gewährleistet war ob die Teilnehmer in der Lage waren die drei vorgegeben Konzentrationsstufen bezüglich ihrer Intensität zu unterscheiden, wurde die zweite Studie als Methodenkontrolle eingeführt.

7.1.1.2 Studie 2: Intensitätenordnen

Die zweite Studie diente als Methodenkontrolle der ersten Studie. Den Teilnehmern wurden die gleichen Konzentrationsstufen aus der ersten Studie präsentiert und sie hatten die Aufgabe, diese in Bezug auf die Intensität in eine aufsteigende Rangreihe zu bringen. Es zeigte sich, dass die drei Konzentrationsstufen deutlich unterscheidbar waren. Somit war auch die Validität der Ergebnisse der ersten Studie gesichert. Somit konnte davon ausgegangen, dass die in der Studie Intensitätsmatching ermittelten Konzentrationsstufen eine vergleichbare Intensität besitzen (Tabelle 7-1).

Tabelle 7-1: *Konzentrationen der sechs Geruchsstoffe mit vergleichbaren Intensitäten.*

Geruchsstoff	Konzentration
Kumarin	1:5
Eugenol	1:40
Geraniol	1:40
Phenyl-Ethanol	1:10
Dekansäure	1:40
Vanillin	1:10

7.1.1.3 Studie 3: Lateralisierung

In dieser Studie wurde an Hand eines Lateralisierungsparadigmas untersucht, ob die sechs Geruchsstoffe die für die Testentwicklung verwendet werden sollten als primär olfaktorisch eingestuft werden können oder ob nicht ausgeschlossen werden kann, dass sie auch einen trigeminalen Anteil besitzen. Hierfür wurden den Teilnehmern die Geruchsstoffe entweder auf der linken oder auf der rechten Nasenseite präsentiert. Die Aufgabe der Teilnehmer bestand darin, die Präsentationsseite anzugeben. Die Ergebnisse erbrachten, dass die Geruchsstoffe deutlich lateralisiert werden konnten. Dieses Ergebnis würde dafür sprechen, dass die Geruchsstoffe auch einen trigeminalen Anteil besitzen. Ob dies der Fall ist konnte nicht abschließend geklärt werden. Da es jedoch aktuell keine bessere Alternative für die Auswahl von olfaktorischen Geruchsstoffen gibt, als sich auf die Studie von Doty und Mitarbeitern

(1978) zu beziehen, gibt es keinen Anhaltspunkt dafür, welche anderen Geruchsstoffe zu bevorzugen wären.

7.1.1.4 Studie 4: Intensitätsunterscheidung

Um zu verhindern, dass in den geplanten Testaufgaben der abweichende Mischgeruch nur an Hand der Konzentrationsveränderung einer Komponente erkannt werden kann, wurden in dieser Studie Konzentrationsunterschiede ermittelt, deren Verwendung in den Testaufgaben unkritisch wäre. So sind niedrige Konzentrationsveränderung von 20% auf 22,5% und 60% auf 55% der Ausgangskonzentration unkritisch.

7.1.1.5 Implikationen für die Testkonstruktion

Für die Testkonstruktion ist es in erster Linie entscheidend, dass die Komponenten in den Mischgerüchen vergleichbare Intensitäten besitzen (vgl. Abschnitt 3.1.4.1). Aus diesem Grund wurden die in der Studie Intensitätsmatching ermittelten Konzentrationen als Ausgangskonzentrationen verwendet. Die Ergebnisse der Studie Lateralisierung betreffen die Testkonstruktion nicht unmittelbar, sondern dienten als Methodenkontrolle ob die verwendeten Geruchsstoffe olfaktorisch sind. Die Ergebnisse der Studie Intensitätenunterscheidung legen nahe, dass bei der Konstruktion der Testaufgaben für die Abweichler möglichst geringe Konzentrationsunterschiede der Komponenten gewählt werden sollten.

7.1.2 Klassische und probabilistische Testtheorie

Nach Rost (1999) basieren 95% aller entwickelten Testverfahren auf Basis der Klassischen Testtheorie. Das Grundmodell der Klassischen Testtheorie, das auf Gulliksen (1950) zurück geht nimmt an, dass alle Messungen fehlerbehaftet sind. Eine Messung liefert einen Rohwert (X), der den „wahren Wert“ einer Person (T) und den Messfehler (E) beinhaltet. Das grundlegende Axiom der Klassischen Testtheorie lautet folglich für jeden Teilnehmer i:

$$X_i = T_i + E_i$$

Darüber hinaus wird angenommen, dass es sich bei dem Messfehler um unsystematische Fehler handelt, die mit dem wahren Wert unkorreliert sind (Krauth, 1995, Seite 241 und 243). Im Rahmen der Klassischen Testtheorie ist die Testkonstruktion folglich daran orientiert, dass ein optimaler Test möglichst messfehlerfrei misst. Folglich ist ein Kernelement der Klassischen Testtheorie die Reliabilität der Messung.

In der probabilistischen Testtheorie wird ermittelt, welche Teilnehmer welche Testaufgaben richtig oder falsch beantwortet haben. Es wird davon ausgegangen, dass für jeden Teilnehmer entsprechend seiner Fähigkeit oder der Schwierigkeit der Testaufgaben eine Wahrscheinlichkeit vorliegt, mit der eine Testaufgabe gelöst werden kann (Bühner, 2004, Seite 33). An Hand der Datenstruktur wird eine Modellstruktur generiert, bei der die Aufgabenschwierigkeiten und Personenfähigkeiten geschätzt werden. Diese kann mit Hilfe von Likelihood-Quotienten-Tests oder dem Pearsons Chi-Quadrat-Test auf ihre Gültigkeit hin getestet werden (Bühner, 2004, Seite 316). Wenn diese Testung ergibt, dass die Modellstruktur nicht abgelehnt werden muss, kann der Schluss gezogen werden, dass der Summenscore, den ein Teilnehmer in einem Test erzielt tatsächlich einen Rückschluss auf seine Fähigkeit zulässt. Grundvoraussetzung hierfür ist, dass unabhängig von den Prozessen die in die Beantwortung der Testaufgaben involviert waren Eindimensionalität angenommen wird. Innerhalb der probabilistischen Testtheorie ist das Rasch-Modell für dichotome Daten weit verbreitet, in dem grundsätzlich die Aufgabenschwierigkeit und die Personenfähigkeit geschätzt werden (Bühner, 2004, Seite 317).

7.1.3 Klassische oder probabilistische Testtheorie?

Bühner (2004, Seite 301 ff) beschreibt fünf Kriterien für eine „gute Messung“, die seiner Ansicht nach die Vorzüge der Verwendung der probabilistischen Testtheorie aufzeigen.

1. Lokale Unabhängigkeit

Ergibt die Modelltestung eines Rasch-Modells, dass das Modell nicht abgelehnt werden muss, bedeutet dies, dass Eindimensionalität vorliegt. In diesem Fall ist der Summenwert in dem Test nur eine Folge der gemeinsamen latenten Variablen, die allen Testaufgaben zu Grunde liegt und nicht durch andere latente Variablen beeinflusst. Nach Bühner (2004) liegt somit lokale Unabhängigkeit vor. In der Klassischen Testtheorie wird die schwächere Forderung der lokalen Unkorreliertheit gestellt (Krauth, 1995, Seite 25), so dass nur ein linearer Zusammenhang zwischen der Beantwortung der Testaufgaben auf Ebene der Personen ausgeschlossen werden muss. Wenn Eindimensionalität genutzt werden könnte, um lokale Unkorreliertheit zu

testen, wäre dies auch in der Klassischen Testtheorie mit Hilfe einer Faktorenanalyse, beziehungsweise den Trennschärfen der Testaufgaben möglich. Bei der lokalen Unabhängigkeit, beziehungsweise der lokalen Unkorreliertheit handelt es sich jedoch um eine Modellannahme, die vorausgesetzt werde muss, ohne dass diese empirisch überprüft werden kann (Krauth, 1995, Seite 25).

2. Die Ermittlung von Aufgabenschwierigkeit und Personenfähigkeit

Nach Bühler (2004, Seite 305 ff) liegt ein weiterer Vorteil der probabilistischen Testtheorie darin, dass die Fähigkeiten der Teilnehmer geschätzt werden.

3. Gleiche Einheiten der Messinstrumente

Nach Bühner besteht ein zusätzlicher Vorteil darin, dass an Hand der Datenmatrix, auf deren Basis die Personenfähigkeiten und Aufgabenschwierigkeiten ermittelt werden können, ersichtlich wird, wie häufig welche Testaufgaben richtig oder falsch beantwortet wurden und somit auch die Wertigkeit einer Testaufgabe bestimmt werden kann. Somit kann das Antwortmuster einer Testperson ebenfalls berücksichtigt werden.

4. Mindestens Intervallskalenniveau der Testaufgaben

Für die Testkonstruktion auf Basis der Klassischen Testtheorie ist die Bestimmung von Mittelwerten, Varianzen und Korrelationen entscheidend. Der geplante Test wir dichotome Testaufgaben mir den beiden geordneten Kategorien „richtig“ und „falsch“ umfassen. Bühner (2004, Seite 311 und 312) argumentiert, dass durch die Berechnung von Lösungswahrscheinlichkeiten für die Testaufgaben auch für dichotome Testaufgaben Intervallskalenniveau erzeugt werden kann. Bühner beschreibt ebenfalls das Skalenniveau „Absolutskala“, zu dem Häufigkeiten bei Zählvariablen zählen. Bei allen Testaufgaben in dem Diskriminationstest würde es sich um Zählvariablen handeln, die den Wert „0“ annehmen, wenn sie falsch beantwortet werden und „1“, wenn sie richtig beantwortet wurden. Hierbei handelt es sich somit um die gleiche Skalierung aller Testaufgaben. Die Zählvariablen können anschließend zu einem Summenwert addiert werden, der die absolute Häufigkeit richtiger Antworten widerspiegelt. Es handelt sich folglich um keine beliebige Zuordnung der Werte. Nach Krauth (1995, Seite 97 ff) können somit für die Mittelwerte der Zählvariablen die relativen Häufigkeiten für eine richtige Antwort an Hand des empirischen Mittelwerts berechnet werden, sowie ebenfalls die empirischen Varianzen und empirischen Korrelationskoeffizienten. Nur wenn dieses Vorgehen strikt abgelehnt wird, kann auch die Anwendung der Klassischen Testtheorie angezwei-

felt werden. Ob eine Reskalierung, auf Ebene von aus den Daten ermittelten Schätzungen vorgezogen werden sollte, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden.

5. Der Summenwert einer Person sollte alle Informationen über die Ausprägung einer Person enthalten

Da in dem Diskriminationstest Eindimensionalität angestrebt wird, kann jedoch ebenfalls auf die klassische Testtheorie zurückgegriffen werden.

Auswahl der Testtheorie für die Testkonstruktion

Bei beiden zuvor beschriebenen Testtheorien werden unterschiedliche Vorgehensweisen getroffen. Von der probabilistischen Testtheorie unberücksichtigt bleibt der Messfehler. Die hohen interindividuellen Unterschiede in der Geruchsverarbeitung und die hohe Ratewahrscheinlichkeit für eine richtige Antwort bei dem geplanten Aufbau der Testaufgaben sind jedoch ein entscheidendes Argument für die Entscheidung die Klassische Testtheorie anzuwenden, da diese bei der Anwendung eines Raschmodells für dichotome Daten unberücksichtigt bleiben. Zwar gibt es Erweiterungen des Raschmodells um die Berücksichtigung der Schätzungen der Trennschärfen (2-Parameter Modell) und der Schätzungen der Ratewahrscheinlichkeit (3-Parameter Modell), jedoch wären hierfür sehr große Stichprobe notwendig, so dass selbst Bühner von der Anwendung des 3-Parameter Modells abrät (Bühner, 2004, S. 317 ff). Generell muss jedoch berücksichtigt werden, dass beide Formen der Testtheorie nicht als ausschließlich konkurrierend, sondern eher als komplementär betrachtet werden können, die je nach Fragestellung Argumente für und gegen den Einsatz vereinen. So besitzt die Probabilistische Testtheorie die interessante Möglichkeit der Modelltestung. Dennoch wurde sich dazu entschieden, die Klassische Testtheorie als Grundlage der Testentwicklung anzuwenden.

7.1.4 Gütekriterien der klassischen Testtheorie

Im Gegensatz zu den Modelltestungen der probabilistischen Testtheorie werden bei der klassischen Testtheorie Gütekriterien definiert, die eine Einschätzung der Eignung eines Testverfahrens erlauben. Moosbrugger und Kelava (2007) nennen zehn Gütekriterien, auf die unter anderem im Folgenden eingegangen wird:

1. Objektivität
2. Reliabilität
3. Validität
4. Skalierung
5. Normierung
6. Testökonomie
7. Nützlichkeit
8. Zumutbarkeit
9. Unverfälschbarkeit
10. Fairness

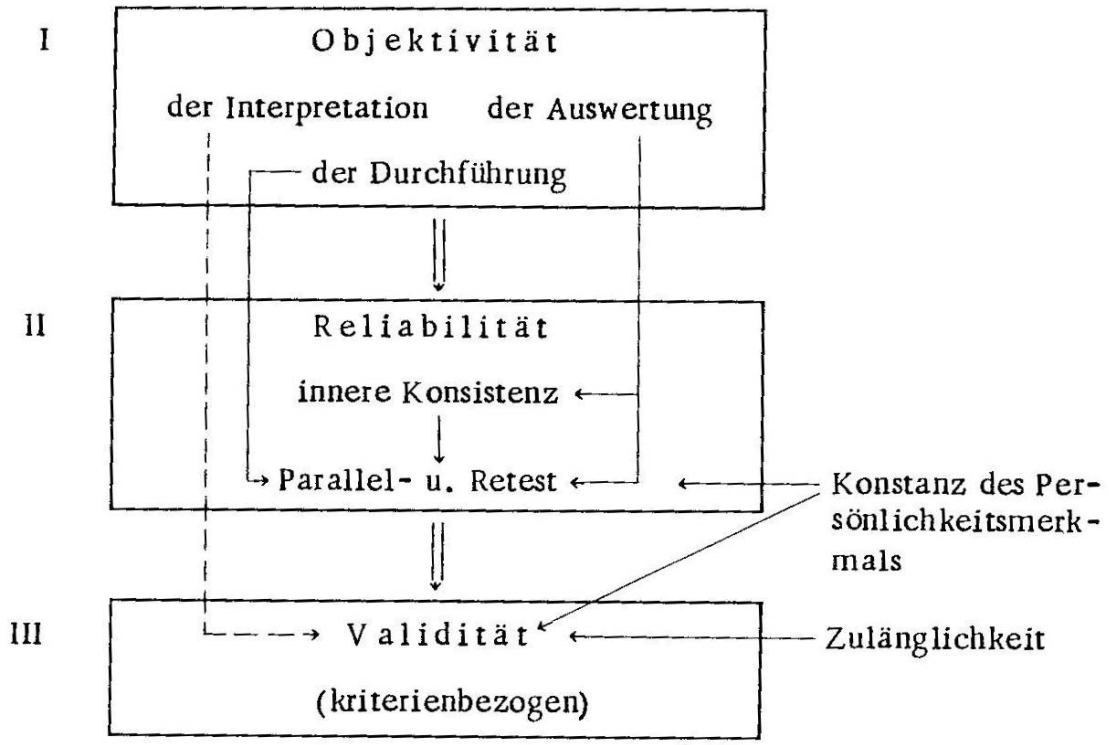


Abbildung 7-2: Hierarchie der Gütekriterien (Lienert & Raatz, 1998).

Nach Lienert und Raatz (1998) zählen Objektivität, Reliabilität und Validität zu den Hauptgütekriterien. Für die Wechselbeziehung zwischen diesen Gütekriterien stellten sie ebenfalls ein Schema auf, das die Wertigkeit dieser Gütekriterien veranschaulicht (Abbildung 7-2). Folglich ist die Objektivität die Grundvoraussetzung dafür, dass ein Testverfahren auch reliabel und valide ist.

7.1.4.1 Objektivität

Die Objektivität eines Testverfahrens gibt an, ob der Test durch den Testleiter, den Testauswerter und der Ergebnisinterpretation beeinflusst werden kann. Liener und Raatz (1998) unterscheiden die Durchführungs-, Auswertungs- und Interpretationsreliabilität. Ein Testverfahren ist dann Durchführungsobjektiv, wenn es keinen Einfluss des Testleiters gibt. Auch wenn in diesem Testverfahren drei Geruchsproben vorgegeben werden sollen, von denen eine unterschiedlich riecht, ist der Testaufbau kein Garant für Durchführungsobjektivität. So besteht die Möglichkeit, dass die Instruktionen und die Geschwindigkeit in der die Flaschen angereicht werden den Teilnehmer beeinflussen können. Standardisierte Instruktionen sind folglich unabdingbar, sowie ein Training vor Studienbeginn die Flaschen mit gleicher Geschwindigkeit anzureichen. Da die Auswertung, sowie die Interpretation der Daten eindeutig Sind, da es sich bei den Testaufgaben und den resultierenden Summenwert um Zählvariablen handeln wird, sind die beiden anderen Objektivitätskriterien ungefährdet. Abbildung 7-3 zeigt den Zusammenhang zwischen Objektivität und Reliabilität.

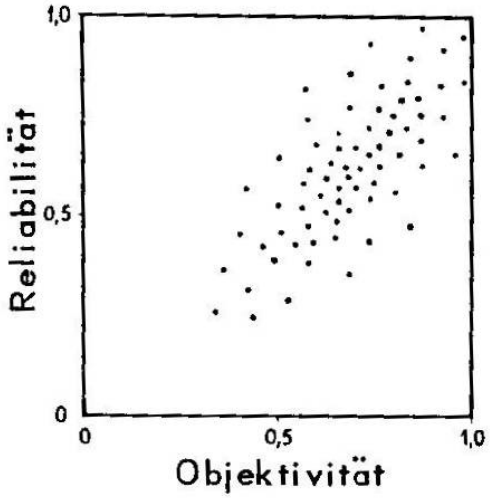


Abbildung 7-3: Linearer Zusammenhang zwischen Objektivität und Reliabilität (Lienert & Raatz, 1998).

7.1.4.2 Reliabiltät

Lienert und Raatz (1998, Seite 173) geben die Empfehlung die Reliabilität „so früh wie möglich“ zu bestimmen. Dabei sollte die Analyse der Reliabilität nicht nur auf einem Schätzer beruhen. Die Bedeutung der Reliabilität ergibt sich aus dem grundlegenden Axiom der Klassischen Testtheorie. So ist die Reliabilität eines Testverfahrens umso kleiner, je höher die Fehlervarianz ist. Lienert und Raatz (1998) benennen vier Methoden der Reliabilitätsbestimmung

1. Die Testwiederholungsmethode

Entsprechend des Namens wird hierbei die Korrelation zwischen den Testergebnissen bei zweimaliger Vorgabe des gleichen Testverfahrens gebildet. Da die mehrmalige Vorgabe eines Messinstruments jedoch die Unabhängigkeit der Messungen verletzt und die Reliabilität in Folge von Scheinkorrelationen verletzt, soll von dieser Reliabilitätsschätzung zunächst abgesehen werden. Da die Testverfahren Sniffin’Sticks und UPSIT ausschließlich die Re-Test-Reliabilität angeben, ist es unabdingbar, auch diese Schätzung zu einem späteren Zeitpunkt zu erfassen.

2 Die Paralleltestmethode

Eine parallele Testversion beinhaltet für jedes Testaufgabe der ursprünglichen Testversion ein e Testaufgabe mit möglichst ähnlicher Aufgabenschwierigkeit, Aufgabenvarianz und Trennschärfe (Krauth, 1995, S. 186). Mit einem Paralleltest wird somit ebenfalls das Konstrukt der ursprünglichen Testversion erfasst, eine mehrmalige Vorgabe des gleichen Messinstruments wird jedoch vermieden. Ob sich aus dem Aufgabepool zwei parallele Testversionen gebildet werden können wird sich erst post-hoc ermitteln lassen. Demnach wird auf diese Art der Schätzung nicht das Hauptaugenmerk gelegt.

3. Die Testhalbierungsmethode

Bei der Testhalbierungsmethode wird der Test in zwei Testhälften unterteilt, die mit einander korreliert werden. Im Gegensatz zu den beiden zuvor beschrieben Verfahren ist hierfür keine zweite Testung erforderlich, worin ein genereller Vorteil dieser Methode liegt. Als gängige Verfahren wird hierfür die Spearman-Brown-Formel verwendet (Spearman, 1910; Brown 1910). Callender und Osburn (1977) zitieren Campbell (1976), der das Problem dieses Koeffizienten beschreibt, nämlich, dass die optimale Lösung für eine Teilung darin besteht, wenn jeder gemeinsame Faktor exakt geteilt wird. Bei 20 Testaufgaben wären jedoch 92.378 Mög-

lichkeiten vorhanden. Die Testhalbierungsmethode soll dementsprechend nicht angewendet werden.

4. Die Methode der Konsistenzanalyse

Bei der Analyse der inneren Konsistenz wird der Test in mehrere äquivalente Teile aufgeteilt und ein multipler Korrelationskoeffizient berechnet. Hierfür ist es ebenfalls möglich, alle Testaufgaben als eigenständige Tests zu werten. Die einzige Bedingung ist die wesentliche Tau-Äquivalenz der Testteile. Ein mögliches Verfahren ist die Schätzung an Hand Cronbachs Alpha (1951). Dieses berechnet sich an Hand der Itemvarianzen V_i und der Gesamtvarianz des Tests V_t: alpha = (n / (n-1)) $(V_t - \sum V_i)/ V_t$. Alternativ hierzu kann auch Lambda 2 (Gutmann, 1945) angewendet werden. So bewies Gutmann (1945), dass Lambda 2 zu eine höheren Schätzung der Reliabilität als Lambda 3 führt, das identisch ist zu Cronbachs Alpha, dabei jedoch die tatsächliche Reliabilität unterschätzt und somit immer noch eine konservativere Schätzung darstellt. So sind Cronbachs Alpha und Lambda 3 Koeffizienten bei denen die Varianzen der Testaufgaben in Bezug zu der Gesamtvarianz des Tests gesetzt werden. Je geringer die Varianzen der Testaufgaben in Relation zu der Gesamtvarianz sind, desto höher wird die Schätzung. Für Lambda 2 werden jedoch zusätzlich die Kovarianzen der Testaufgaben berücksichtigt. Wird Lambda 3, beziehungsweise Cronbachs Alpha für dichotome Testaufgaben bestimmt entspricht die Berechnung exakt der Kuder-Richardson-Formel 20, indem die Varianz der Testitems durch die Schwierigkeit p und der Gegenwahrscheinlichkeit q = (1-p) gebildet wird; $V_i = p \times q$ (Kuder & Richardson, 1937).

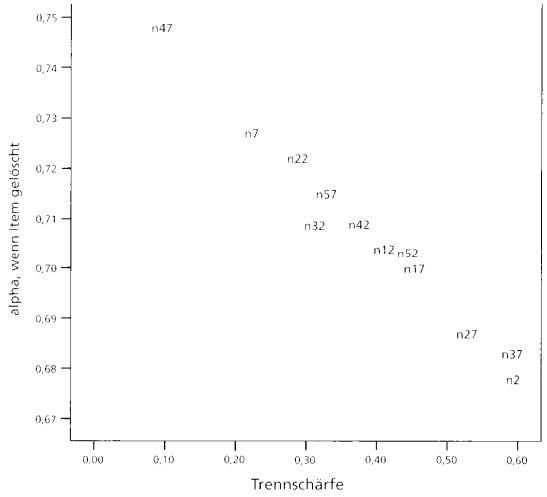


Abbildung 7-3: Zusammenhang zwischen Cronbachs Alpha un der Trennschärfe (Bühner, 2004).

Ausgangsbasis für eine hohe innere Konsistenz ist auch eine hohe Homogenität der Testaufgaben und damit auch eine hohe Trennschärfen (Abbildung 7-3). Neben dem Vorteil, dass diese Schätzung auf einer einzigen Testung basiert, ist sie ebenfalls zu bevorzugen, da sie die Leistungsfähigkeit des Messinstruments erfasst (Lienert & Raatz, 1998, Seite 201). Die innere Konsistenz wird somit im Fokus bei der Auswahl der Testaufgaben stehen.

7.1.4.3 Validität

Lienert und Raatz (1998, Seite 220) geben zum einen die Definition, dass ein Testverfahren dann valide ist, wenn es das Konstrukt misst, was es vorgibt zu messen, äußern jedoch zum anderen die berechtigte Frage, wie beurteilt werden kann, ob ein Testverfahren dies auch tatsächlich misst. Je nachdem, welches Vorgehen gewählt wird, können für die Validität eines Testverfahrens unterschiedliche Maßstäbe angesetzt werden. Aus diesem Grund beantworten Lienert und Raatz (1998, Seite 241) die Frage danach, wann der Zeitpunkt der Validierung eines Testverfahrens am besten geeignet ist damit, dass es nicht *die* Validierung eines Testverfahrens gibt, sondern die Validierung gegenüber dem einen oder anderem Kriterium erfolgt, so dass der Validierung im Gegensatz zur Reliabilitätsbestimmung kein fester Zeitpunkt in der Testentwicklung zugewiesen werden kann. Sie unterscheiden grundsätzlich drei verschiedene Verfahren zur Validitätsbestimmung, auf die im Folgenden eingegangen wird.

1. Die inhaltliche Validität

Lienert und Raatz verwenden für die Definition die „psychologische Einsicht… (als) das bestmögliche Kriterium“, an Hand der die Validität begründet werden kann, bevor die Validität gänzlich außer acht gelassen wird.. Die inhaltliche Validität stellt damit dennoch das Schwächste der drei Kriterien für die Validierung eines Testverfahrens dar. Für die beiden Testverfahren UPSIT und Sniffin’Sticks werden keine Angaben zu der Validität gemacht, so dass angenommen werden kann, dass implizit bei beiden Testverfahren inhaltliche Validität angenommen wird.

2. Die Kriteriumsvalidität

Für die Bestimmung der Kriteriumsvalidität wird die Korrelation zwischen den Testergebnissen und den Ausprägungen eines objektiven Außenkriteriums als Schätzer für die Validität angegeben. Da es jedoch kein objektives Außenkriterium für die geruchliche Leistungsfähigkeit Gerüche zu unterscheiden gibt, kann dieses Verfahren nicht angewendet werden.

3. Die Konstruktvalidität

Im Gegensatz zu der Kriteriumsvalidität, bei der der diagnostische Nutzen für die Erfassung des Außenkriteriums im Vordergrund steht, liegt der Fokus der Konstruktvalidität auf der Klärung, was das Testverfahren misst. In Anlehnung an Cronbach und Meehl (1955) sollen für den Diskriminationstest drei verschiedene Aspekte erfasst werden, die eine Aussage über die Konstruktvalidität erfassen. Zum einen soll diese faktorenanalytisch untersucht werden. Das Ziel der Faktorenanalyse ist dabei Eindimensionalität. Des Weiteren sollen interindividuelle Unterschiede in den Testresultaten erfasst werden Da an dieser Stelle noch keine klinische Stichprobe erhoben werden soll, ist es angedacht, verschiedene Altersklassen zu erfassen. Damit erhöht sich nicht nur die externe Validität sondern es ist auch der Vergleich der geruchlichen Leistungsfähigkeit zwischen verschiedenen Altersklassen möglich. Da mit zunehmendem Alter generell eine Abnahme der geruchlichen Leistungsfähigkeit anzunehmen ist (vgl. Abschnitt 3.2.1.3), sollte das Testverfahren ebenfalls Altersunterschiede aufzeigen können. Als Vorgabe für die Bedeutsamkeit von Gruppenunterschieden legen Lienert und Raatz (1998, Seite 242) eine Sicherung auf der 1%-Stufe fest. Als letzte Schätzung für die Validität ist die Korrelation mit anderen Testverfahren geplant, die vorgeben das gleiche Konstrukt beziehungsweise andere Konstrukte der geruchlichen Leistungsfähigkeit zu erfassen. Diese Schätzung an Hand der divergenten und konvergenten Validität wird jedoch nicht in dieser Studie, sondern in einer Folgestudie erfolgen. Wie diese drei Punkte verdeutlichen kann die Konstruktvalidität nur an Hand umfassender Untersuchungen bestimmt werden.

7.1.4.4 Skalierung

Nach Moosbrugger und Kelava (2007, Seite 18) erfüllt ein Testverfahren das Merkmal der Skalierung, „wenn die laut Verrechnungsregel resultierenden Testwerte die empirischen Merkmalsrelationen adäquat abbilden.“ Da der Summenwert des Diskriminationstests über eine Zählvariable erfasst werden soll, die die absoluten Häufigkeiten richtiger Antworten abbildet, wird der Diskriminationstest dieses Merkmal vollkommen erfüllen, da nicht nur größer/kleiner Relationen bestimmt werden können, sondern Unterschiede an Hand der Differenzen im Summenwert quantifiziert werden können.

7.1.4.5 Normierung

Da zu diesem Zeitpunkt der Testentwicklung die Konstruktion einer endgültigen Testform im Vordergrund steht, können noch keine Normwerte bestimmt werden, da hierfür wesentlich mehr Teilnehmer benötigt werden als die angestrebte Teilnehmerzahlen von 120 Teilnehmern, die ebenfalls auf verschiedene Altersklassen aufgeteilt wird.

7.1.4.6 Ökonomie

Moosbrugger und Kelava (2007, Seite 21) definieren einen Test als ökonomisch, „wenn er, gemessen am diagnostischen Erkenntnisgewinn, relativ wenig Ressourcen wie Zeit, Geld oder andere Formen beansprucht“. Da mit dem Diskriminationstest eine kostengünstige Testalternative zu den Sniffin'Sticks geschaffen werden soll, die nach einer einmaligen Anschaffung von Geruchsbehältnissen kostengünstig nachgefüllt werden kann, ist die Ökonomie des Testverfahrens allein aus diesem Gesichtspunkt schon als positiv einzustufen. Bei einer angestrebten Testlänge von 12 bis 15 Testaufgaben und einer geschätzten Dauer von einer Minute pro Testaufgabe wird der Diskriminationstest auch unter dem Gesichtspunkt der Testdauer als ökonomisch eingestuft werden können. Darüber hinaus wird die Testung von einem Testleiter durchgeführt werden können.

7.1.4.7 Nützlichkeit

In Anbetracht des möglichen Anwendungsgebiets, vor allem in der Diagnostik neurologischer und psychiatrischer Erkrankungen, kann die Nützlichkeit des Diskriminationstests als sehr hoch bewertet werden, wie bereits im Abschnitt 2-5 diskutiert wurde.

7.1.4.8 Zumutbarkeit

Die drei bisher durchgeführten Studien haben ergeben, dass mit Ausnahme des Geruchsstoffs Dekansäure die Geruchsstoffe als eher positiv eingestuft wurden. Weder die Geruchsstoffe noch das Lösungsmittel sind gesundheitsschädlich. Die Testdauer soll möglichst kurz gehalten werden, so dass auch der Einsatz in der Diagnostik problemlos erfolgen kann.

7.1.4.9 Unverfälschbarkeit

Nach Moosbrugger und Kelava (2007, Seite 23) liegt Unverfälschbarkeit dann vor, wenn die Teilnehmer ihre Testwerte nicht gezielt verfälschen können. Da die Teilnehmer eine von drei Geruchsproben auswählen sollen, die eine andere Geruchsqualität besitzt, ist das Testverfahren anfällig für gezielte Verfälschungen. In wie weit dieser Aspekt kritisch betrachtet werden muss werden erst Testungen mit klinischen Populationen erbringen können, sowie die Konsequenzen möglicher Unterschiede zwischen gesunden und erkrankten Teilnehmern. Testungen mit Teilnehmern, die Erkrankungen gezielt simulieren könnten dann in weiteren Studien Aufschluss über die Anfälligkeit des Tests erbringen. An dieser Stelle der Testentwicklung kann die Unverfälschbarkeit nicht weitergehend geklärt werden.

7.1.4.10 Fairness

Ein faires Testverfahren führt nicht zur Diskriminierung der Teilnehmer auf Grund ihrer Testergebnisse. Da dieser geplante Diskriminationstest nicht verbal verankert ist, gibt es keine Benachteiligung von Teilnehmern mit unterschiedlichen sprachlichen Fähigkeiten, Auch die Aufgabenstellung ist vergleichsweise einfach gehalten. Bei der Auswahl der Geruchsstoffe stand ebenfalls die olfaktorische Eigenschaft im Vordergrund. Da für die Geruchsstoffe in den Testaufgaben Mischgerüche verwendet werden sollen, können die Ähnlichkeiten objektiv variiert werden. Somit fallen Unterschiede des sozialen oder kulturellen Hintergrunds der Teilnehmer nicht ins Gewicht. Anders wäre dies, wenn die Ähnlichkeiten der Geruchsstoffe an Hand von subjektiven Ratings bestimmt werden würden, da hierfür selbst bei einer Zufallsstichprobe nicht alle möglichen Gruppen an Teilnehmern berücksichtigt werden könnten.

7.1.5 Implikationen für die Studie Testkonstruktion

Die zuvor durchgeführte Diskussion der zehn verschiedenen Gütekriterien ist entscheidend, um ein Fazit ziehen zu können, auf welche Aspekte in dieser Studie Wert gelegt werden muss. Zwei Gütekriterien, nämlich die Reliabilität und die Validität standen im Fokus dieser Studie. Die beiden Gütekriterien Normierung und Unverfälschbarkeit konnten an dieser Stelle noch nicht bewertet werden, da hierfür weitere Studien nach Abschluss der Auswahl der Testaufgaben notwendig sind. Die übrigen sechs Gütekriterien werden durch den geplanten Testaufbau per se erfüllt.

7.1.6 Fragestellung

Auch wenn der Aufbau der Mischgerüche zunächst noch ermittelt werden musste, lautete die Fragestellung dieser Studie, welche Testaufgaben aus einem noch zu generierenden Aufgabenpool ausgewählt werden müssen, sodass sich eine Test mit 12 bis 15 Testaufgaben konstruieren lässt, für den in erster Linie die Reliabilität einen maximalen Wert annimmt. Für den Fall, dass verschieden Möglichkeiten für die Auswahl von Testaufgaben zur Auswahl stehen würden, sollte als nächstes Eindimensionalität als Richtlinie für die Auswahl gelten. Wie hoch die Schätzungen für die Reliabilität und Validität ausfallen sollten konnte nicht pauschal beantwortet werden. Schermelleh-Engel und Werner (Schermelleh & Engel, 2007) geben die Empfehlung, dass auch ein Testverfahren, das eine niedrigere Reliabilität besitzt seine Berechtigung besitzt, wenn ein Merkmal untersucht werden soll, für dessen Untersuchung kein geeignetes Testverfahren zur Verfügung steht.

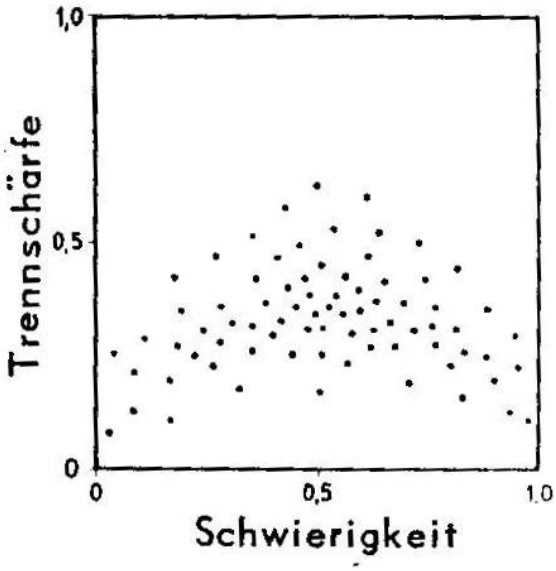


Abbildung 7-5: Zusammenhang zwischen Trennschärfe und der Schwierigkeit (Liehnert & Raatz, 1998).

Sicherlich sollte die Reliabilitätsschätzung einen höheren Wert annehmen, als die Re-Test-Reliabilität des Diskiriminations-Untertests aus den Sniffin'Sticks von 0,54. Auch für die Schätzung der Validität gibt es keine generellen Vorgaben. Lienert & Raatz (1998, Seite 270) geben an „Ein Test muss in einem solchen Umfang valide sein, dass seine Anwendung eine bessere Voraussage ermöglicht als seine Unterlassung". Wie diese Aussage in Bezug auf die Validität des Diskriminationstests gewertet werden musste, konnten nur post-hoc-Analysen,

sowie die Bestimmung der divergenten und konvergenten Validität in der Folgestudie liefern. Die optimalen Chancen sowohl für eine hohe Validität und Reliabilität liefern nach Tucker (1946) Trennschärfen zwischen 0,3 und 0,8. Testaufgaben mit mittleren Schwierigkeiten besitzen eine höhere Wahrscheinlichkeit für höhere Trennschärfen als Testaufgaben mit sehr niedrigen oder sehr hohen Schwierigkeiten (Abbildung 7-5).

7.2 Methode

In dem folgenden Abschnitt wird auf den methodischen Aufbau der Studie „Testkonstruktion“ eingegangen. Diese Studie stellte den zentralen Kern der eigentlichen Testentwicklung dar. Somit war die Auswahl der Stichprobe entscheidend für die Frage nach der Validität der Ergebnisse. Des Weiteren war auch die Gestaltung der Mischgerüche wegweisend, da der hier gewählte Aufbau die Gestaltung der endgültigen Testaufgaben festlegte, so dass nur in Ausnahmefällen von diesem abgewichen werden sollte. Die Studie wurden von der Ethikkommission der Deutschen Gesellschaft für Psychologie (DGPs) in der Form, wie sie hier durchgeführt wurde, samt dem dazugehörigen Versuchsmaterial genehmigt.

7.2.1 Stichprobe

Die Studie wurde vom 20.11.2007 bis zum 30.01.2008 durchgeführt. Die Studie wurde mit 120 Teilnehmern durchgeführt. Wie in den vorangehenden Studien wurde der Faktor Geschlecht balanciert. Um die Validität der Studie zu erhöhen, ins besondere in Hinblick auf die allgemeingültige Anwendung des zukünftigen Tests, wurde die Studie mit Teilnehmern zwischen 20 und 80 Jahren durchgeführt. Um zu gewährleisten, dass alle Altersklassen gleichermaßen vertreten sind, wurden fünf Klassen mit einer Klassenbereite von jeweils zehn Jahren gebildet (20-29 Jahre, 30-39 Jahre, 40-49 Jahre, 50-59 Jahre und 60-69 Jahre) sowie eine Klasse mit einer Klassenbreite von elf Jahren (70-80 Jahre). Die Teilnehmerzahlen wurden auf alle Cluster gleichmäßig verteilt, so dass jedes Alterscluster mit 20 Teilnehmern besetzt wurde. Innerhalb der Cluster wurde der Faktor Geschlecht balanciert. Tabelle 7-6 zeigt eine Übersicht über die Mittelwerte und Standardabweichungen des Alters in den einzelnen Altersklassen. Das Alter zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmern unterschied sich für keine Altersklasse. Lediglich in der Altersklasse der 50-59jährigen zeigte sich eine Tendenz dahingehend, dass weibliche Teilnehmer jünger waren. Alle Teilnehmer versicherten schriftlich, dass keines der zuvor definierten Ausschlusskriterien für sie zutreffend war. Hierzu zählten die gleichen Ausschlusskriterien wie in allen vorangehenden Studien (Alzheimer-Demenz, Parkinson-Erkrankung, Depression, Schizophrenie, Essstörungen, Epilepsie, Korsakow-Syndrom, Chorea-Huntington, Schädel-Hirn-Trauma, Multiple-Sklerose, HIV, neurochirurgische Eingriffe, Stoffwechselstörungen, Riechstörungen, Erkrankungen der Nase oder des oberen Respirationstrakts, grippale Infekt, akute Allergien, chirurgische Eingriffe im Bereich der Nase, regelmäßige Medikamenteneinnahme, Drogenkonsum, hormonelle Erkrankungen, chronische Erkrankungen und Behinderungen). Die Ausschlusskriterien (Anhang A6) wurden

den Interessenten zusammen mit den Allgemeinen Informationen zum Versuch (Anhang A7) im Rahmen der Rekrutierung ausgehändigt, so dass diese sich im Vorfeld darüber informieren konnten, ob sie für eine Teilnahme geeignet sind. Aus diesem Grund haben sich für die Teilnahme ausschließlich Teilnehmer gemeldet, auf die die Ausschlusskriterien nicht zutrafen. Dennoch mussten alle Teilnehmer schriftlich absichern, dass die Ausschlusskriterien nicht zutreffend sind. Raucher, dass heißt Personen, die mehr als sieben Zigaretten pro Woche rauchen, wurden ebenfalls von der Teilnahme ausgeschlossen.

Tabelle 7-6: *Mittelwerte und Standardabweichungen für das Alter in den jeweiligen Altersklassen.*

Altersklasse	**M ± SD**	**M ± SD (weiblich)**	**M ± SD (männlich)**	***t***	**df**	***p***
20-29 Jahre	24,9 ± 2,3	24,9 ± 2,9	24,8 ± 1,7	0,10	18	0,926
30-39 Jahre	32,8 ± 2,3	32,4 ± 2,5	33,1 ± 2,3	0,66	18	0,518
40-49 Jahre	44,5 ± 2,7	43,8 ± 2,4	45,1 ± 2,9	1,10	18	0,287
50-59 Jahre	52,8 ± 2,2	51,9 ± 1,9	53,6 ± 2,2	1,86	18	0,080
60-69 Jahre	64,0 ± 2,9	63,6 ± 3,0	64,3 ± 3,0	0,52	18	0,609
70-80 Jahre	72,3 ± 3,3	72,1 ± 3,2	72,6 ± 3,3	0,071	18	0,949

Die Rekrutierung erfolgte über Aushänge an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, sowie in Geschäften in Düsseldorf, bei denen die Möglichkeit bestand, eine private Anzeige aushängen zu lassen. Darüber hinaus wurden Aushänge von Freunden und Bekannten des Versuchsleiters in deren Arbeitsstätten weiter getragen und über betriebsinterne Verteilerlisten gesendet. Diese vielschichtige Werbung für die Studie führte dazu, dass viele Teilnehmer auch aus der Altersklasse 20-29 Jahre nicht über universitäre Aushänge an der Heinrich-Heine-Universität rekrutiert wurden. Darüber hinaus wurden somit nicht nur Teilnehmer aus

Düsseldorf rekrutiert. Es nahmen Personen aus Düsseldorf und der näheren Umgebung sowie Bremen, Velbert, Essen, Wuppertal und Remscheid teil. Die Teilnahme erfolgte freiwillig. Dies wurde den Teilnehmern im Rahmen einer schriftlichen Einverständniserklärung mitgeteilt, die von allen Teilnehmern ebenfalls unterschrieben wurde (Anhang A8). Die Studie dauerte rund 1 ½ Stunden. Als Aufwandsentschädigung erhielten alle Teilnehmer 12 Euro ausgehändigt.

7.2.2 Aufgabe

Als Aufgabe wurde entsprechend den theoretischen Vorüberlegungen (Absatz 2.6.3) eine 3-Alternativen Forced-choice-Aufgabe verwendet. Den Teilnehmern wurden drei Mischgerüche nach einander präsentiert. Zwei dieser Mischgerüche waren identisch aufgebaut (Standards). In dem dritten Mischgeruch befanden sich die gleichen Geruchsstoffe, jedoch in einem anderen Mischungsverhältnis. Die Aufgabe bestand darin, den abweichenden Mischgeruch, der im Folgenden als Abweichler bezeichnet wird zu detektieren.

7.2.3 Versuchsmaterial

In dem folgenden Abschnitt wird das Versuchsmaterial beschrieben. Da ein zentrales Element der Testentwicklung der Aufbau der Mischgerüche darstellte, wird ebenfalls beschrieben, wie die Mischgerüche der Testaufgaben aufgebaut waren und wie sich das Konzentrationsverhältnis der Geruchsstoffe innerhalb des abweichenden Mischgeruchs veränderte.

7.2.3.1 Geruchsstoffe

Als Geruchsstoffe wurden die sechs Geruchsstoffe Kumarin, Eugenol, Geraniol, Phenyl-Ethanol, Dekansäure und Vanillin verwendet. Als Ausgangskonzentrationen, aus denen die Mischgerüche zusammengestellt wurden, wurden die Konzentrationen verwendet, die in der ersten Studie Intensitätsmatching ermittelt wurden und bei denen die subjektiv wahrnehmbaren Intensitäten der einzelnen Geruchsstoffe vergleichbar sind. Diese sind in Tabelle 7-7 dargestellt.

Tabelle 7-7: *Ausgangskonzentrationen der verwendeten Geruchsstoffe.*

Geruchsstoff	Konzentration
Kumarin	1:5
Eugenol	1:40
Geraniol	1:40
Phenyl-Ethanol	1:10
Dekansäure	1:40
Vanillin	1:10

Die Herstellung der Ausgangskonzentrationen erfolgte wie in den drei vorangehenden Studien entsprechend der Verfahren zum Umgang mit flüssigen und festen Substanzen. Als einheitliches Lösungsmittel wurde Diethyl-phtalat verwendet. Die fertigen Geruchsproben wurden bei Raumtemperatur gelagert (21 C° ±1C°). Die Geruchsproben wurden für die gesamte Dauer der Studie verwendet.

7.2.3.2 Aufbau der Testaufgaben

Die Ermittlung der geeigneten Konzentrationen und Konzentrationsveränderungen in den Mischgerüchen konnte nur durch verschiedene Vortestungen ermittelt werden. Wie diese ermittelt wurden und wie die Testaufgaben für diese Studie aufgebaut waren, wird im Folgenden beschrieben.

7.2.3.2.1 Möglicher Aufbau der Mischgerüche aus drei Komponenten.

Die erste methodische Überlegung bestand darin, die Mischgerüche aus drei Komponenten aufzubauen, wie es bereits im Abschnitt 2.6.2.3 der Studie Intensitätsunterscheidung beschrieben wurde. Da sich 20 verschiedene Mischgerüche aus drei einzelnen Geruchsstoffen bilden lassen, wenn sechs Geruchsstoffe zur Auswahl stehen, sollten mit jeder möglichen Kombination aus drei Geruchsstoffen auch drei Testaufgaben generiert werden, um einen ausreichend großen Aufgabenpool schaffen zu können. Hierfür sollten die Konzentrationsanteile der Komponenten so gewählt sein, dass jeweils einer der drei Komponenten den Mischgeruch anteilsmäßig dominiert. Probemischversuche und die Testung von Mitarbeitern der Arbeitsgruppe hatte ergeben, dass sich hierfür am besten ein Mischungsverhältnis der Kom-

ponenten von 60%:20%:20% eignet. Zunächst sollte somit versucht werden, in Probemischversuchen das Konzentrationsverhältnis zu ermitteln, das für den abweichenden Mischgeruch gewählt werden müsste. Ein optimales Ergebnis wäre dann erreicht, wenn rund 2/3 der Teilnehmer den Abweichler detektieren könnten, da in diesem Fall für den Summenwert des Tests kein Deckeneffekt zu erwarten wäre.

Auswahl möglicher Konzentrationsverhältnisse

Hierfür wurden von den 60 möglichen Testaufgaben zunächst zehn zufällig ausgewählt und gemischt. Für den Abweichler zu den beiden Mischgerüchen mit den Konzentrationsverhältnissen 60%:20%:20% wurde ein Mischungsverhältnis von 55%:22,5%:22,5% gewählt, wie es die Ergebnisse der Studie Intensitätsunterscheidung nahe legen. Eine erste Testung mit 10 zufällig ausgewählten Teilnehmern, die auf dem Campus der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf rekrutiert wurden ergab, dass für alle zehn möglichen Testaufgaben die Häufigkeiten richtiger Antworten auf Zufallsniveau lagen. Den subjektiven Aussagen der Teilnehmer war zu entnehmen, dass innerhalb der Aufgaben keine Unterschiede zwischen den Mischgerüchen wahrgenommen werden konnten. Das Mischungsverhältnis des Abweichlers wurde folglich auf 50%:25%:25% verändert, ohne dass sich jedoch das Antwortmuster bei einer Testung von zehn weiteren, zufällig ausgewählten Teilnehmern änderte. In zwei weiteren Schritten wurden weitere Teilnehmer nach Probemischversuchen getestet. In dem ersten Schritt wurden das Mischungsverhältnis des Abweichlers auf 40%:30%:30% weitergehend verändert, ohne dass sich das Antwortmuster bei zehn Teilnehmern veränderte. In einem zweiten Schritt wurden mit einem Konzentrationsverhältnis des Abweichlers von 20%:40%:40% zwanzig Teilnehmer gestestet, um zu überprüfen, ob die geringe Anzahl von Teilnehmern für das nicht zufrieden stellende Ergebnis verantwortlich ist. Vier Teilnehmern wurden zusätzlich alle 60 Aufgaben präsentiert, um ausschließen zu können, dass nur die zehn zufällig ausgewählten Aufgaben nicht lösbar waren. Dennoch ergaben alle Probemischversuche, dass die Auswahl von drei Komponenten für den Mischgeruch nicht geeignet zu sein scheint.

Fazit

Für den zuletzt beschriebenen Schritt wurde eine Komponente um anteilig 40%, von 60% auf 20% des Mischgeruchs verändert und zwei Komponenten um anteilig 20%, von 20% auf 40%. Insgesamt veränderte sich damit das Verhältnis der Volumenanteile in dem Mischgeruch um anteilig 80%. Zum einen zeigt sich hierin, dass die ursprüngliche Überlegung, einen Abweichler mit einem Konzentrationsverhältnis von 55%:22,5%:22,5% zu wählen, wie sie

auch als Grundlage für die Studie Intensitätsunterscheidung getroffen wurde, die Leistungsfähigkeit der Testteilnehmer deutlich überschätzt. Die ursprüngliche Idee, durch geringe Konzentrationsveränderungen in den Mischgerüchen von vornherein ausschließen zu können, dass die Teilnehmer den abweichenden Geruchsstoff an Hand der Konzentrationsveränderung einer Komponente detektieren können, ist damit hinfällig. Zum anderen besitzen die bisher erzielten Ergebnisse der Probemischungen eine weitere entscheidende Implikation. Damit ausreichend viele Teilnehmer in der Lage sind, den Abweichler zu erkennen, muss die Veränderung der anteiligen Volumenanteile weiterhin vergrößert werden. Das ursprüngliche Konzept, Mischgerüche aus drei einzelnen Geruchsstoffen verwenden zu können war damit erschöpft, so dass ein neuer methodischer Aufbau gewählt werden musste, um zu einem zufrieden stellenden Ergebnis gelangen zu können.

7.2.3.2.2 Möglicher Aufbau der Mischgerüche aus vier Komponenten

Da Mischgerüche aus mindestens drei einzelnen Geruchsstoffen verwendet werden sollten (vergleiche Abschnitt 2.6.2.3), bestand die nächste Option darin, Mischgerüche aus vier Komponenten zu erstellen. Mit sechs Geruchsstoffen lassen sich insgesamt 15 verschiedene Mischgerüche mit jeweils vier einzelnen Geruchsstoffen zusammenstellen. Für die Mischgerüche aus vier einzelnen Komponenten musste des Weiteren überlegt werden, wie die einzelnen Komponenten verändert werden können, um einerseits einen Abweichler generieren zu können und andererseits einen ausreichend großen Aufgabenpool schaffen zu können. Wie bei den Mischgerüchen aus drei einzelnen Geruchsstoffen könnte auch für einen Mischgeruch aus vier einzelnen Geruchsstoffen jeweils eine Komponente anteilig dominieren, während die anderen drei Komponenten in gleichen Teilen den Rest des Mischgeruchs bilden. In diesem Fall müssten die Anteile jedoch so gestaltet sein, dass der Anteil des Mischgeruchs, der nicht durch die dominierende Komponente ausgemacht wird, gedrittelt werden kann. Wenn jedoch mit Bruchzahlen für die Angaben der Anteile der Komponenten gearbeitet werden muss, entstehen hieraus praktische Probleme für die praktikable Umsetzung der Mischgerüche im Labor, was darüber hinaus zu Fehleranfälligkeit führt. Eine weitaus praktikablere Lösung besteht dann, wenn zwei Komponenten in dem Mischgeruch stärker vertreten sind und zwei schwächer, wobei jeweils beide Komponenten den gleichen Anteil am Gesamtvolumen besitzen. In diesem Fall können für den Abweichler die Anteile der stärkeren und schwächeren Komponenten gegenläufig verändert werden (Abbildung 7-8).

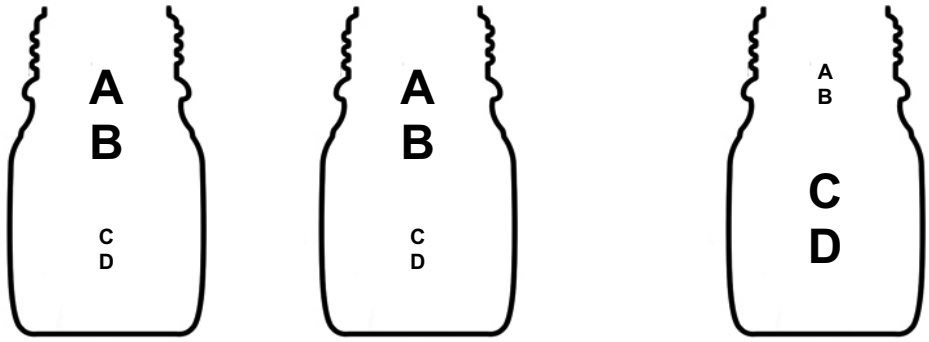


Abbildung 7-8: Geplanter methodischer Aufbau der Testaufgaben. Die Buchstaben A, B, C und D stellen exemplarisch vier Geruchsstoffe dar. Die Größe der Buchstaben symbolisiert den Anteil der Geruchsstoffe in dem Mischgeruch.

Da aus den vier Komponenten eines Mischgeruchs jeweils sechs verschiedene Kombinationen von zwei Komponenten ausgewählt werden können, die entweder stärker oder schwächer in de Mischung vertreten sein können, lassen sich auf diese Weise 15 (Vierer-Kombinationen) x 6 (Anordnungen der Komponenten in den Vierer-Kombinationen) = 90 verschiedene Testaufgaben für den Aufgabenpool generieren. Die Probemischversuche für die Mischgerüche aus drei einzelnen Geruchsstoffen hatten jedoch gezeigt, dass für die Beantwortung einer Testaufgabe eine Dauer von circa einer Minute eingeplant werden muss. Die Testung von 90 Testaufgaben in dieser Studie würde folglich ohne Pausen alleine 90 Minuten dauern. Diese Dauer ist vollkommen ungeeignet, um valide Ergebnisse erhalten zu können, insbesondere aus dem Grund, dass ältere Teilnehmer in dieser Studie getestet werden sollten.

Die Schaffung von „Spiegelaufgaben“

Eine Abhilfe für das zuvor beschriebene methodische Problem in Bezug auf die Versuchsdauer schaffte eine einfache Überlegung. Ausgangsbasis hierfür ist eine Gleichverteilung der Konzentrationsanteile in einem Mischgeruch von 25%:25%:25%:25%. Verändert man die Anteile von zwei Komponenten so, dass diese von der Gleichverteilung aus ansteigen, nehmen die Anteile der beiden andern Komponenten symmetrisch ab. Werden beispielsweise die Anteile von zwei Komponenten von 25% auf 30% erhöht, müssen die Anteile der anderen

beiden Komponenten von 25% auf 20% abnehmen. Das Verhältnis der Anteile in dem Mischgeruch entspricht nun 30%:30%:20%:20%. Wählt man für den Abweichler nun ein Konzentrationsverhältnis von 20%:20%:30%:30%, entsprechen die Anteile der beiden Komponenten, die zuvor stärker im Mischgeruch vertreten waren jetzt dem Anteil der beiden Komponenten, die zuvor schwächer im Mischgeruch vertreten waren. Betrachtet man die Gleichverteilung der Anteile im Mischgeruch als Achse, sind die Anteile an dieser für den Abweichler „gespiegelt".

Wählt man für eine Testaufgabe zwei beliebige Geruchsstoffe in einem Mischgeruch aus vier Komponenten aus, die in dieser Mischung einen höheren Anteil besitzen sollen, werden die beiden übrigen Geruchsstoffe einen geringeren Anteil besitzen. Für die Testaufgabe muss folglich dieser Mischgeruch doppelt vorliegen sowie ein Abweichler mit dem gespiegelten Konzentrationsverhältnis. Die Zusammensetzung des Abweichlers entspricht damit allerdings der Zusammensetzung einer weiteren Testaufgabe, bei dem die beiden Komponenten, die zuvor einen geringeren Anteil besaßen nun den höheren Anteil besitzen. Der Abweichler dieses Mischgeruchs entspricht damit wiederum exakt dem Mischgeruch, der in der vorangehenden Testaufgabe in doppelter Ausführung vorhanden war. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 7-9 grafisch dargestellt. Beide Testaufgaben können somit als gespiegelte Testaufgaben bezeichnet werden. Diese Spiegelung besitzt einen entscheidenden Vorteil. Ähnlich wie bei einer Mathematik-Aufgabe „6 + 3 = …" kann für die gespiegelte Aufgabe „3 + 6 = …" angenommen werden, dass diese der Ursprungsaufgabe bezüglich ihrer Schwierigkeit maximal ähnlich ist. In einem weiteren Schritt könnte darüber hinaus angenommen werden, dass beide Testaufgaben nicht nur das gleiche messen, sondern es ausreichend ist, nur eine der beiden Testaufgaben vorzugeben, um den Faktor zu messen, der beiden Testaufgaben zu Grund liegt. Da jede mögliche Testaufgabe eine gespiegelte Testaufgabe besitzt, kann der Aufgabenpool unter dieser Prämisse von 90 Durchgängen auf eine praktikable Anzahl von 45 Durchgängen reduziert werden. Darüber hinaus bietet dieser Ansatz die Möglichkeit, parallele Aufgaben zu schaffen.

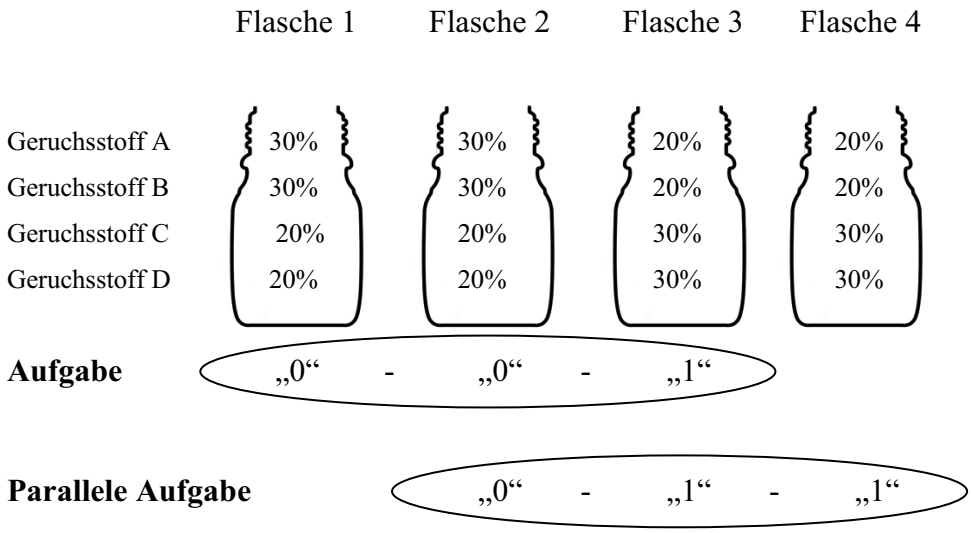


Abbildung 7-9: Methodischer Aufbau „gespiegelter“ Testaufgaben. Der Aufbau ist für vier beliebige Geruchsstoffe dargestellt. Mit vier Flaschen lassen sich zwei Testaufgaben mit den hier gewählten Bezeichnungen „0-0-1“ und „1-1-0“ generieren. Die Volumenanteile entsprechen den vorläufigen theoretischen Überlegungen, die in diesem Absatz geäußert wurden.

Auswahl möglicher Konzentrationsverhältnisse

Die Probemischungen für die Mischgerüche aus drei Komponenten haben ergeben, dass es nicht ausreichend war, wenn für den Abweichler die Volumenanteile der Komponenten um insgesamt 80% des Gesamtvolumens verändert wurden. Somit wurde für eine erste Vorstudie durchgeführt, in der der Volumenanteil um insgesamt 100% verändert. Bei vier Komponenten entspricht dies einer Veränderung der einzelnen Komponenten um jeweils 25%, beziehungsweise Abweichung von einer Gleichverteilung.

Tabelle 7-10: *Ergebnisse der ersten Probetestung mit zehn randomisiert ausgewählten Testaufgaben.*

	Richtige Antworten	
	Absolute Häufigkeiten	**Relative Häufigkeiten**
Mischgeruch	(N = 10)	
D:V:P:G	5	.50
P:K:G:D	3	.30
K:V:G:E	6	.60
P:K:E:V	7	.70
K:D:G:E	4	.40
K:D:P:V	6	.60
G:V:P:D	6	.60
K:G:P:V	4	.40
G:E:P:D	5	.50
G:V:K:D	6	.60

Anmerkungen. Dargestellt sind die absoluten und relativen Häufigkeiten, wie häufig der Abweichler in den zehn zufällig ausgewählten Testaufgaben, des ersten Vorversuchs mit Mischgerüchen aus vier Komponenten, richtig detektiert wurde. Der Vorversuch wurde mit 10 Teilnehmern durchgeführt. Die Anteile der Komponenten in den Standards entsprechen 37,5%:37,5%:12,5%:12,5% und in den Abweichlern 12,5%:12,5%:37,5%:37,5%. Die sechs Geruchsstoffe Kumarin (K), Geraniol (G), Eugenol (E), Phenyl-Ethanol (P), Dekansäure (D) und Vanillin (V) werden jeweils durch ihre Anfangsbuchstaben dargestellt. Die ersten beiden angegebenen Geruchsstoffe in einem Mischgeruch entsprechen den beiden Komponenten, die in den Standards den höheren Anteil besitzen.

Für die beiden Standards wurde somit ein Mischungsverhältnis von 37,5%:37,5%:12,5%:12,5% gewählt und für den Abweichler ein Mischungsverhältnis von 12,5%:12,5%:37,5%:37,5%. Tabelle 7-10 zeigt eine Übersicht über die ausgewählten Testaufgaben und die relativen Häufigkeiten richtiger Antworten des ersten Vorversuchs mit Mischgerüchen aus vier Komponenten. Es wurden zehn der 90 möglichen Testaufgaben randomisiert ausgewählt und 10 studentischen Teilnehmern präsentiert, die erneut auf dem Campus der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf rekrutiert wurden.

Tabelle 7-11: *Ergebnisse der zweiten Probetestung mit zehn randomisiert ausgewählten Testaufgaben.*

	Richtige Antworten	
	Absolute Häufigkeiten	**Relative Häufigkeiten**
Mischgeruch	(N = 10)	
D:V:P:G	5	.50
P:K:G:D	5	.50
K:V:G:E	6	.60
P:K:E:V	9	.90
K:D:G:E	8	.80
K:D:P:V	7	.70
G:V:P:D	8	.80
K:G:P:V	7	.70
G:E:P:D	8	.80
G:V:K:D	7	.70

Anmerkungen. Dargestellt sind die absoluten und relativen Häufigkeiten, wie häufig der Abweichler in den zehn zufällig ausgewählten Testaufgaben, des ersten Vorversuchs mit Mischgerüchen aus vier Komponenten, richtig detektiert wurde. Der Vorversuch wurde mit 10 Teilnehmern durchgeführt. Die Anteile der Komponenten in den Standards entsprechen 40%:40%:10%:10% und in den Abweichlern 10%:10%:40%:40%. Die sechs Geruchsstoffe Kumarin (K), Geraniol (G), Eugenol (E), Phenyl-Ethanol (P), Dekansäure (D) und Vanillin (V) werden jeweils durch ihre Anfangsbuchstaben dargestellt. Die ersten beiden angegebenen Geruchsstoffe in einem Mischgeruch entsprechen den beiden Komponenten, die in den Standards den höheren Anteil besitzen.

Im Vergleich mit den Ergebnissen, die mit den Mischgerüchen aus drei Komponenten erzielt wurden, zeigten die Ergebnisse für den ersten Vorversuch zum ersten mal eine Tendenz dahingehend, dass der Abweichler detektiert werden kann. Allerdings war die Deutlichkeit der Ergebnisse noch nicht ausreichend, da auch ältere Teilnehmer, von denen angenommen wird, dass sie über eine geringere Geruchsleistungsfähigkeit verfügen, signifikant mehr richtige Antworten geben sollten, als auf Ebene der Ratewahrscheinlichkeit.

In einer zweiten Vorstudie wurde die erste Studie mit größeren Konzentrationsunterschieden und einer neuen studentischen Stichprobe mit zehn Teilnehmern repliziert. In dieser zweiten Vorstudie wurde der Volumenanteil insgesamt um 120% verändert. Die beiden Stan-

dards besaßen damit ein Mischungsverhältnis von 40%:40%:10%:10% und der Abweichler ein Mischungsverhältnis von 10%:10%:40%:40%. Tabelle 7-11 zeigt die Ergebnisse der zweiten Vorstudie für die gleichen zehn Mischgerüche der ersten Studie und den veränderten Mischungsverhältnissen.

Die Ergebnisse zeigen, dass jede Testaufgabe der Vorstudie von mindestens der Hälfte der Teilnehmer richtige gelöst wurde. Für alle zehn exemplarisch ausgewählten Testaufgaben lag die Lösungswahrscheinlichkeit im Mittel bei .70. Damit entspricht dieser hier gewählte Aufbau der Testaufgaben exakt den Zielsetzungen der theoretischen Vorüberlegungen. Die Hauptstudie wurde dementsprechend mit den hier ermittelten Konzentrationsunterschieden zwischen Standards und Abweichlern für Mischgerüche aus vier Komponenten durchgeführt.

7.2.3.3 Generierung der Testaufgaben

7.2.3.3.1 Präsentation der Mischgerüche

Für die Präsentation der Mischgerüche wurden 100ml Weithalsflaschen aus Braunglas verwendet, mit GL45 DIN-Gewinden. In jede Flasche wurden 20ml Geruchsmittel gefüllt. Der Volumenanteil einer Komponente, deren Anteil in dem Mischgeruch 40% beträgt, entspricht damit 8ml; der Volumenanteil einer Komponente mit 10% entsprechend 2ml. Die Geruchsproben wurden vor den Teilnehmern einzeln auf den Tisch gestellt, so dass diese die Flaschen unter die Nase führen konnten, um an ihnen zu riechen. Die Teilnehmer durften die Flaschen dabei auch aktiv in die Hand nehmen. Nachdem die Teilnehmer an einer Geruchsprobe gerochen hatten, wurde diese weggestellt, bevor eine neue Geruchsprobe vor ihnen auf den Tisch gestellt wurde. Die Teilnehmer wurden zusätzlich dazu instruiert, darauf zu achten, nicht mit der Nase den Flaschenrand der Flaschen zu berühren.

7.2.3.3.2 Aufgabenpool

Für den Aufgabenpool wurden zunächst alle 15 Kombinationen von vier Komponenten aus sechs zur Verfügung stehenden Geruchsstoffen gebildet. Innerhalb dieser Kombinationen wurden jeweils alle sechs möglichen Kombinationen gebildet, wie jeweils zwei verschiedene Komponenten in den Standards einen Anteil von 40% besitzen können. Somit entstehen alle 90 möglichen Testaufgaben. Jeweils gespiegelte Aufgaben wurden gegenübergestellt. Anschließend wurde von zwei gespiegelten Testaufgaben eins randomisiert ausgewählt, das in

dieser Studie vorgegeben wurde. Die Anzahl an Testaufgaben im Aufgabenpool reduzierte sich damit auf 45. Nachdem 45 Testaufgaben ausgewählt wurden, wurden diesen Nummern zwischen 1 und 45 randomisiert zugewiesen. Tabelle 7-12 zeigt eine Übersicht über alle 45 ausgewählten Aufgaben, sowie die entsprechenden gespiegelten Aufgaben, die in dieser Studie nicht vorgegeben wurden und die entsprechenden zugewiesenen Nummern. Alle 45 Testaufgaben wurden in dieser Studie verwendet. Die in Tabelle 7-12 dargestellte Übersicht zeigt, ob für die Standards die Zusammensetzung der Version A oder der Version B entsprach. Im Folgenden werden die Testaufgaben auf ihre Nummern reduziert, da dies die Übersicht über alle 45 Testaufgaben, insbesondere im Abschnitt Ergebnisse erleichtert. Für die Schaffung von zwei Probedurchgängen wurden randomisiert zwei gespiegelte Aufgaben aus dem Aufgabenpool ausgewählt. Die Urnenziehung fiel auf die Aufgaben mit den Nummern 1 und 4.

Da für jedes Paar von zwei Aufgaben, die sich zueinander gespiegelt verhalten, mussten insgesamt vier Geruchsproben pro Aufgabenpaar angesetzt werden. Da zunächst alle Aufgaben generiert wurden, wurden die Flaschen mit den Geruchsproben am Boden und am Deckel mit zwei Zahlen, beispielsweise „23-0“ beschriftet. Die erst Zahl kennzeichnete die Testaufgabennummer. Die zweite Zahl konnte entweder den Wert „0“ oder den Wert „1“ annehmen. Alle Geruchsproben, die die Zusammensetzung enthalten, wie sie in Tabelle 7-12 in der Spalte „Version A“ gelistet ist, bekamen die Zuordnung „0“. Die Geruchsproben in der Spalte „Version B“ erhielten entsprechend die Zuordnung „1“. Für die Testaufgabe mit der Nummer 23 werden entsprechend der Tabelle 7-12 für die beiden Standards zwei Mal eine Geruchsprobe mit der Zusammensetzung aus der Spalte „Version A“ und ein Mal eine Geruchsprobe mit der Zusammensetzung aus der Spalte „Version B“ benötigt. Folglich tragen zwei Geruchsproben die Kennzeichnung „23-0“ und eine Geruchsprobe die Kennzeichnung „23-1“. Tabelle 7-13 zeigt eine Übersicht, in welcher Reihenfolge die Geruchsproben in den jeweiligen Testaufgaben präsentiert werden mussten. Für die Testaufgabe 23 wurde somit zuerst der Abweichler „23-0“ und anschließend die beiden Standards „23-0“ präsentiert. Die Positionen der Abweichler wurden randomisiert den Testaufgaben zugeteilt, wobei die drei Positionen balanciert wurden. Als Probedurchgänge wurden randomisiert die gespiegelten Versionen der Testaufgaben 1 und 4 gezogen.

Tabelle 7-12: *Auswahl der endgültigen Zusammensetzung für die Standards in den Mischgerüchen.*

	Version A				Version B			
Nr. :	**40%**	**40%**	**10%**	**10%**	**40%**	**40%**	**10%**	**10%**
1	P	E	K	G	K	G	P	E
2	V	K	G	D	G	D	V	K
3	P	D	G	E	G	E	P	D
4	V	K	E	D	E	D	V	K
5	V	E	G	P	G	P	V	E
6	P	D	K	G	K	G	P	D
7	V	G	E	K	E	K	V	G
8	V	E	D	K	D	K	V	E
9	P	D	K	E	K	E	P	D
10	V	E	G	K	G	K	V	E
11	P	K	G	E	G	E	P	K
12	V	G	E	D	E	D	V	G
13	K	E	D	G	D	G	K	E
14	V	D	K	P	K	P	V	D
15	V	P	D	E	D	E	V	P
16	P	K	G	D	G	D	P	K
17	K	G	D	E	D	E	K	G
18	V	G	D	K	D	K	V	G
19	V	D	E	P	E	P	V	D
20	V	D	G	E	G	E	V	D
21	V	P	K	E	K	E	V	P
22	V	P	K	G	K	G	V	P
23	V	P	E	G	E	G	V	P
24	V	P	K	D	K	D	V	P
25	P	G	D	E	D	E	P	G
26	P	K	E	D	E	D	P	K
27	P	G	K	D	K	D	P	G
28	V	K	D	P	D	P	V	K
29	V	D	G	K	G	K	V	D
30	P	E	D	G	D	G	P	E
31	K	D	G	E	G	E	K	D
32	V	E	D	P	D	P	V	E
33	V	G	K	P	K	P	V	G
34	V	E	G	D	G	D	V	E
35	V	D	G	P	G	P	V	D
36	V	K	G	E	G	E	V	K
37	P	E	K	D	K	D	P	E
38	V	E	K	P	K	P	V	E
39	P	G	K	E	K	E	P	G
40	V	G	D	P	D	P	V	G
41	V	P	D	G	D	G	V	P
42	V	K	G	P	G	P	V	K
43	V	K	E	P	E	P	V	K
44	V	D	E	K	E	K	V	D
45	V	G	E	P	E	P	V	G

Anmerkungen. Dargestellt sind die Zusammensetzungen der Standards in den Mischgerüchen der in dieser Studie vorgegebenen Testaufgaben. Die sechs Geruchsstoffe Kumarin (K), Geraniol (G), Eugenol (E), Phenyl-Ethanol (P), Dekansäure (D) und Vanillin (V) werden jeweils durch ihre Anfangsbuchstaben dargestellt. Zwei gespiegelte Aufgaben wurden jeweils gegenüber gestellt (Version A und Version B) und es wurde eine von beiden Versionen randomisiert für die jeweilige Testaufgabe ausgewählt. Die ausgewählten Versionen sind grau hinterlegt. Die Abweichler erhalten demnach die Zusammensetzung der gegenüberliegenden, weiß hinterlegten Version.

Tabelle 7-13: *Reihenfolgen der Präsentation der Geruchsproben in den Testaufgaben.*

Testaufgabe	Reihenfolge	Testaufgabe	Reihenfolge	Testaufgabe	Reihenfolge
1	0 - 0 - 1	**16**	0 - 0 - 1	**31**	0 - 1 - 1
2	1 - 1 - 0	**17**	0 - 1 - 0	**32**	0 - 1 - 1
3	0 - 0 - 1	**18**	0 - 1 - 0	**33**	0 - 1 - 1
4	0 - 1 - 1	**19**	1 - 0 - 1	**34**	0 - 0 - 1
5	0 - 1 - 1	**20**	0 - 1 - 0	**35**	1 - 0 - 1
6	0 - 1 - 0	**21**	1 - 1 - 0	**36**	1 - 0 - 1
7	1 - 1 - 0	**22**	1 - 0 - 0	**37**	0 - 1 - 1
8	1 - 0 - 0	**23**	1 - 0 - 0	**38**	1 - 1 - 0
9	1 - 0 - 1	**24**	0 - 0 - 1	**39**	0 - 1 - 0
10	0 - 0 - 1	**25**	1 - 0 - 0	**40**	0 - 1 - 0
11	1 - 1 - 0	**26**	1 - 0 - 1	**41**	0 - 1 - 1
12	1 - 1 - 0	**27**	1 - 0 - 0	**42**	0 - 1 - 0
13	0 - 1 - 0	**28**	1 - 0 - 0	**43**	0 - 0 - 1
14	1 - 1 - 0	**29**	0 - 1 - 0	**44**	1 - 1 - 0
15	0 - 1 - 1	**30**	1 - 0 - 0	**45**	1 - 0 - 1

Anmerkungen. Die Geruchsproben wurden in Leserichtung präsentiert. Die Abfolgen richten sich nach den Kodierungen der Flaschen (Erklärung im Text).

7.2.3.3.3 Ansetzen der Mischgerüche

Da für jede Testaufgabe 3 Geruchsproben benötigt wurden, wurden für die gesamte Studie 135 Geruchsproben benötigt. Bei 20ml Geruchsstoff pro Geruchsprobe wurden insgesamt 2700ml Geruchsstoff benötigt. Da alle Geruchsstoffe gleich häufig in den Geruchsproben verwendet wurden, wurden zunächst 600ml von jedem Geruchsstoff hergestellt. Damit ist gewährleistet, dass die Geruchsstoffe für jede Testaufgabe aus der gleichen Ausgangslösung verwendet werden können. Zudem kann in dem Fall, dass eine Testaufgabe während der Datenerhebung beschädigt wird dieses mit den Geruchsstoffen aus der gleichen Ausgangslösung

erneut hergestellt werden, da für jeden Geruchsstoff mehr Ausgangslösung hergestellt wurde, als für die Herstellung der 45 Aufgaben mindestens benötigt wird. Zudem wurden noch zwei Probeaufgaben generiert. Das Abmessen der Geruchsstoffe in die Mischgerüche erfolgt mit einer Eppendorf-Multipette und 100ml Combi-Tips-Aufsätzen.

7.2.3.4 Versuchunterlagen

In dieser Studie wurden neben den Allgemeinen Informationen (Anhang A6), den Informationen über die Ausschlusskriterien (Anhang A7) und der Einverständniserklärung (Anhang A8) auch Teilnehmerbögen verwendet (Anhang A9) Auf diesen waren die Reihenfolgen aufgeführt, in denen die Testaufgaben präsentiert werden mussten.

7.2.3.5 Demenz-Diagnostik

Um bei älteren Teilnehmern den Ausschluss von Demenz-Erkrankungen absichern zu können (vgl. Abschnitt 2.4.1), wurde mit allen Teilnehmern zusätzlich der Mini-Mental-Statut-Test (MMST) durchgeführt (Anhang A10).

7.2.4 Design

7.2.4.1 Unabhängige Variable

Als unabhängige Variable wurde für jede Testaufgabe die Variable „Mischgeruch“ mit den beiden Stufen „Standard“ und „Abweichler“, in Anlehnung an die Aufgabengestaltung (vgl. Abschnitt 7.2.2) variiert.

7.2.4.2 Abhängige Variablen

Es wurden drei abhängige Variablen erfasst. Als erste Variable wurde für jeden Geruchsstoff die Variable „Antwort“ bestimmt. Mit ihr wurde die Antwort der Teilnehmer erfasst. Sie nahm den Wert „0“ an, wenn die Aufgabe falsch gelöst wurde und den Wert „1“ wenn sie richtig gelöst wurde. Da es sich hierbei um eine dichotome Variable handelte und für die Auswertung der Daten eine Faktorenanalyse gerechnet werden sollte, musste diese Zuordnung der beiden geordneten Kategorien „0“ und „1“ für alle Testaufgaben identisch sein, um empirische Mittelwerte, Varianzen und Korrelationskoeffizienten bestimmen zu können. Diese

wäre bei einer nominalskalierte Variablen nicht zulässig. Da das Skalenniveau „Absolutskala“ (Bühner, 2004; Krauth, 1995) nicht vorbehaltlos anerkannt wird, liegt an dieser Stelle die im Abschnitt 7.1.3 erwähnte Entscheidungsfrage vor, ob für dichotome Variablen, die alle über die gleiche Skalierung mit zwei geordneten Kategorien verfügen, eine Faktorenanalyse gerechnet werden darf. Im Rahmen dieser Testentwicklung wurde die Entscheidung getroffen, dass dieses Vorgehen zulässig ist. Die Auswertung dieser verschiedenen abhängigen Variablen erfolgte somit multivariat.

Als weitere abhängige Variable wurde für jede Testaufgabe getrennt die nominalskalierte Variable „Entscheidung“ erfasst. Wenn die Teilnehmer einen der drei Mischgerüche als Abweichler bestimmten wurde erfasst, ob sie ihre Entscheidung auf Grund von Intensitäts- oder Qualitätsunterschieden getroffen haben. Gaben sie Intensitätsunterschiede nahm die Variable den Wert „0“ an, ansonsten „1“. Mit dieser Variablen sollte untersucht werden, ob die Teilnehmer die Mischgerüche als „Ganzes“ im Sinne der Gestaltpsychologie wahrnehmen und sie damit den Mischgeruch als eigenständige Geruchsqualität erfassen oder ob sie die Mischgerüche als Mischung von Komponenten wahrnehmen. Insbesondere auf Grund der notwendigen hohen Konzentrationsveränderungen der Komponenten zur Generierung des Abweichlers, sollten Intensitätsunterschiede im zweiten Fall erwartet werden. Die Auswertung erfolgte univariat.

Als dritte abhängige Variable wurde ebenfalls für jede Testaufgabe getrennt die intervallskalierte Variable „Sicherheit“ erfasst. Sie diente dazu die Sicherheit der Teilnehmer in Bezug auf die Auswahl des potentiellen Abweichlers zu erfassen. Diese likertskalierte Variable konnte ganze Zahlen zwischen 1 und 6 annehmen. Die Extremwerte wurden mit 1 für „ich bin mir extrem unsicher“ und 6 für „ich bin mir extrem sicher“ belegt. Die subjektive Sicherheit wurde erfasst, um erfassen zu können ob die Teilnehmer in der Lage sind, ihre Diskriminationsleistung subjektiv richtig einzuschätzen. Auch hier erfolgte die Auswertung univariat.

7.2.4.3 Balancierungen

Neben dem Geschlecht und der Altersklasse wurde auch die Position des Abweichlers an erster, zweiter oder dritter Position zwischen den 45 Testaufgaben balanciert. Die Reihenfolge in der die 45 Testaufgaben präsentiert wurden wurde für jeden Teilnehmer individuell randomisiert.

7.2.5 Studiendurchführung

7.2.5.1 Ort der Durchführung

Die Studie wurde nicht nur in dem abteilungseigenen Labor durchgeführt. Auf Grund dessen, dass sowohl viele berufstätige Teilnehmer als auch ältere, teils immobile Teilnehmer für diese Studie rekrutiert wurden, wurde die Durchführung auch auf die Privatwohnungen der Teilnehmer ausgeweitet. So wurde den Teilnehmern, die nicht in der Lage waren, in den Laborräumen der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf teilzunehmen angeboten, die Testung bei diesen zu Hause durchzuführen. Da das Testverfahren zukünftig auch in verschiedenen Räumlichkeiten, wie beispielsweise unterschiedlichen Kliniken angewendet werden soll, gewinnt die Studie dadurch auch einen Mehrwert in Bezug auf die externe Validität. Dennoch fällt dieser Zugewinn der internen Validität zu Last, da keine einheitlichen Laborbedingungen geschaffen werden können. Aus diesem Grund wurden bei Testungen in den privaten Räumlichkeiten der Teilnehmer die Termine so vereinbart, dass im Vorfeld der Testung ausreichend Zeit bestand, um die entsprechende Räumlichkeit ausreichend zu lüften und dafür zu sorgen, dass während der Testung Raumtemperatur herrschte (20C° +-1C°).

7.2.5.2 Ablauf einer Sitzung

Den schematischen Ablauf der Studie zeigt Tabelle 7-14. Die Teilnehmer wurden zu Beginn der Studie in den Ablauf und die Aufgabe eingewiesen. Allen Teilnehmern wurde im Vorfeld der Studie ausreichend Möglichkeit gegeben, Fragen und Bedenken mit dem Experimentator zu klären. Die Teilnehmer wurden instruiert, dass sie in jeder Testaufgabe an jeder Geruchsprobe nur einmal riechen dürfen (Single-Sniff). Das Zwischen-Stimulus-Intervall, zwischen der Präsentation von zwei Geruchsstoffen betrug mindestens sechs Sekunden. Abweichungen nach oben sind auf die Geschwindigkeit zurückzuführen, mit denen die Teilnehmer die Flaschen an die Nase führten.

Tabelle 7-14: *Schematischer Ablauf einer Sitzung*

1.	**Einführung** (Begrüßung, Versuchsinformationen, Ausschlusskriterien, Einverständnis, Einführung in die Aufgabe)
2.	**Erster Block** • Präsentation von 10 Testaufgaben • Für jede Testaufgabe: Erhebung der abhängigen Variablen Antwort, Entscheidung und Sicherheit • Am Ende des Blocks: 5min. Pause
3.	**Zweiter Block** • Präsentation von 10 Testaufgaben • Für jede Testaufgabe: Erhebung der abhängigen Variablen Antwort, Entscheidung und Sicherheit • Am Ende des Blocks: 5min. Pause
4.	**Dritter Block** • Präsentation von 10 Testaufgaben • Für jede Testaufgabe: Erhebung der abhängigen Variablen Antwort, Entscheidung und Sicherheit • Am Ende des Blocks: 5min. Pause
5.	**Vierter Block** • Präsentation von 10 Testaufgaben • Für jede Testaufgabe: Erhebung der abhängigen Variablen Antwort, Entscheidung und Sicherheit • Am Ende des Blocks: 5min. Pause
6.	**Fünfter Block** • Präsentation von 5 Testaufgaben • Für jede Testaufgabe: Erhebung der abhängigen Variablen Antwort, Entscheidung und Sicherheit
7.	**Abschluss** (Abschließendes Gespräch mit Teilnehmern zur Klärung offener Fragen des Teilnehmers

Anmerkungen. Die Zuordnung, welche Testaufgaben in welche Blöcken präsentiert wurden erfolgte randomisiert.

Insbesondere im Hinblick auf die älteren Teilnehmer wurden zu Beginn zwei Probedurchgänge durchlaufen, damit diese die Möglichkeit haben, sich mit der Aufgabe und mit dem Geruchseindruck der Mischgerüche sowie den zu erwartenden Qualitätsunterschieden vertraut zu machen. Nachdem ein Teilnehmer an allen drei Geruchsproben eines Testaufgaben gerochen hatte, musste der Abweichler bestimmt werden. Anschließend wurden für jede Testaufgabe die abhängigen Variablen Entscheidung und Sicherheit erfasst.

Die Testaufgaben wurden den Teilnehmern in fünf Blöcken präsentiert. Die ersten vier Blöcke umfassten jeweils 10 Testaufgaben, der letzte fünfte Block 5 Testaufgaben. Zwischen den Blöcken wurde jeweils eine fünfminütige Pause eingelegt, in der den Teilnehmern die Möglichkeit gegeben wurde, an die frische Luft zu treten. Innerhalb der Blöcke betrug das Zwischen-Durchgangs-Intervall, das heißt das Intervall zwischen zwei Testaufgaben mindestens 30 Sekunden. Das Zwischen-Stimulus-Intervall, das heißt das Intervall zwischen der Prä-

sentation von zwei Mischgerüchen einer Testaufgabe betrug mindestens 6 Sekunden. Alle Intervalle wurden mit einer Stoppuhr kontrolliert.

7.2.6 Hypothesen

Für diese Studie wurde die Fragestellung erhoben, mit welchen Testaufgaben sich ein den Gütekriterien entsprechend optimaler Test konstruieren lässt. Aus Gründen der Praktikabilität bestand die Zielsetzung darin, den Umfang des Tests auf rund 15 Testaufgaben zu begrenzen und in diesem Zusammenhang möglichst optimal die Gütekriterien Reliabilität und Validität zu erfüllen. Hierfür konnten jedoch keine Hypothesen formuliert werden. Es wurde jedoch erwartet, dass die Mischgerüche als eigenständige Geruchsqualität und nicht als Mischung von verschiedenen Komponenten wahrgenommen werden. Aus diesem Grund sollte in den endgültig ausgewählten Testaufgaben, für die abhängige Variable Entscheidung, die Häufigkeit für die Wahl der Antwort Qualitätsunterschied ($h_{Qualität}$) höher sein als die Wahl der Antwort Intensitätsunterschied ($h_{Intensität}$). Hieraus ließen sich folgende Hypothesen ableiten:

Nullhypothese: Die Wahrscheinlichkeit, dafür dass Qualitätsunterschiede wahrgenommen werden ist kleiner oder gleich der Wahrscheinlichkeit, dass Intensitätsunterschiede wahrgenommen werden.

$h_{Qualität} <= h_{Intensität}$

Alternativhypothese: Die Wahrscheinlichkeit, dafür dass Qualitätsunterschiede wahrgenommen werden ist größer als die Wahrscheinlichkeit, dass Intensitätsunterschiede wahrgenommen werden.

$h_{Qualität} > h_{Intensität}$

Die inferenzstatistische Auswertung wurde für jede Testaufgabe mit einem Chi-Quadrat-Test gegen die Gleichverteilung von 60 Antworten für jede Antwortalternative gerechnet. Das α-Niveau wurde für jeden Test auf .05 festgesetzt.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SPSS 16.0. Auf Grund der Datenstruktur wurden nonparametrische Testverfahren angewendet. Die Bestimmung der Effektstärken w für den Chi-Quadrat-Test erfolgte mit dem Programm G-Power 3 (Faul, Erdfel-

der, Lang & Buchner, 2007). Entsprechend Cohen (1988) gelten die Konventionen, dass 0,1 einen kleinen, 0,3 einen mittleren und 0,5 einen großen Effekt aufzeigen.

7.3 Ergebnisse

Das Ziel der Datenanalyse bestand darin, aus den 45 vorgegebenen Testaufgaben rund 15 Testaufgaben auszuwählen, mit denen sich ein den Gütekriterien entsprechend optimaler Test konstruieren lässt. Zunächst war die Auswertung der Daten auf die Reliabilität ausgerichtet. Im Anschluss erfolgte die Auswertung unter dem Aspekt der Validität. Danach wurde untersucht, ob mit den ausgewählten Testaufgaben auch Unterschiede zwischen den Altersklassen detektiert werden können. Abschließend wurde der Zusammenhang zwischen den Abhängigen Variable Antwort und den Abhängigen Variablen Sicherheit, Entscheidung und MMST-Gesamtscore für die endgültig ausgewählten Testaufgaben untersucht. Kein Datensatz musste von der Auswertung ausgeschlossen werden. Die hypothesengeleitete Auswertung für die abhängige Variable Entscheidung wurde erst zum Abschluss der Auswahl der Testaufgaben durchgeführt, da zunächst überprüft werden musste, welche Testaufgaben sich für den Einsatz im Diskriminationstest eignen.

7.3.1 Schwierigkeiten der Testaufgaben

Der erste Schritt bestand darin, zunächst die Schwierigkeiten der Testaufgaben zu bestimmen. Da es sich bei den Daten um binäre Daten handelte, wurden hierfür die empirischen Mittelwerte bestimmt, die mit den relativen Häufigkeiten für eine richtige Antwort gleichgesetzt werden können. Ein Mittelwert zwischen 0 und 0,33 würde für dieses Testaufgaben bedeuten, dass die Wahrscheinlichkeit für eine richtige Antwort auf Ebene der Ratewahrscheinlichkeit, beziehungsweise darunter liegt. Läge der Mittelwert über 0,33 und unter 0,42 würde die relative Häufigkeit für eine richtige Antwort nicht von der Ratewahrscheinlichkeit abweichen. Würde man nämlich für die absoluten Häufigkeiten richtiger Antworten einen Binomialtest gegen eine Ratewahrscheinlichkeit von 1/3 rechnen, müssten mindestens 50 der 120 Teilnehmer die Testaufgabe richtig gelöst haben, damit das kritische Alphaniveau von .05 unterschritten wird. Bei 50 Teilnehmern läge die Schwierigkeit damit bei 0,42. In diesem Fall müssten weitere Eigenschaften des Aufgaben genauer untersucht werden, ob es trotzdem für die Verwendung im späteren Test geeignet ist. Da angestrebt wurde, dass der Mittelwert für den Gesamttestscore, bei gesunden Teilnehmern über alle Altersklassen, bei circa 2/3 der maximal erreichbaren Punktzahl liegen sollte, um Deckeneffekt zu vermeiden, konnten Aufgabenschwierigkeiten zwischen 0,5 und 0,8 als optimal angesehen werden (vgl. Abschnitt 7.1.6). Tabelle 7-15 zeigt die Übersicht über die Schwierigkeiten aller 45 Testaufgaben.

Tabelle 7-15: *Schwierigkeiten der 45 Testaufgaben (N = 120).*

Testaufgabe	M ± SD	Testaufgabe	M +-SD	Testaufgabe	M +-SD
1	0,63 ± 0,48	**16**	0,71 ± 0,46	**31**	0,61 ± 0,49
2	0,50 ± 0,50	**17**	0,53 ± 0,50	**32**	0,56 ± 0,50
3	0,57 ± 0,49	**18**	0,55 ± 0,50	**33**	0,52 ± 0,50
4	0,56 ± 0,50	**19**	0,48 ± 0,50	**34**	0,68 ± 0,47
5	0,58 ± 0,50	**20**	0,38 ± 0,49	**35**	0,47 ± 0,50
6	0,44 ± 0,50	**21**	0,57 ± 0,50	**36**	0,41 ± 0,49
7	0,67 ± 0,47	**22**	0,52 ± 0,50	**37**	0,48 ± 0,50
8	0,55 ± 0,50	**23**	0,59 ± 0,49	**38**	0,72 ± 0,50
9	0,52 ± 0,50	**24**	0,57 ± 0,50	**39**	0,52 ± 0,50
10	0,62 ± 0,49	**25**	0,47 ± 50	**40**	0,46 ± 0,50
11	0,56 ± 0,50	**26**	0,46 ± 0,50	**41**	0,58 ± 0,50
12	0,67 ± 0,47	**27**	0,62 ± 0,49	**42**	0,53 ± 0,50
13	0,57 ± 0,50	**28**	0,51 ± 0,50	**43**	0,69 ± 0,46
14	0,75 ± 0,44	**29**	0,52 ± 0,50	**44**	0,61 ± 10,08
15	0,62 ± 0,49	**30**	0,50 ± 0,50	**45**	0,48 ± 0,50

Anmerkungen. Dargestellt sind die Mittelwerte und Standardabweichungen.

Mit Ausnahme der Testaufgaben 20 und 36 wurden alle Testaufgaben überzufällig häufig richtig gelöst. Betrachtet man die Schwierigkeiten deskriptiv unter dem Gesichtspunkt, dass zu schwierige oder zu leichte Testaufgaben von der Auswertung ausgeschlossen werden sollten, musste dies in keinem der Fälle passieren. Sollten die weiteren Auswertungen ergeben, dass eines der beiden Testaufgaben 20 oder 36 in den endgültigen Test übernommen werden sollte, müsste in einem weiteren Schritt geklärt werden, ob diese Testaufgaben von allen Teilnehmern auf Ebene der Ratewahrscheinlichkeit gelöst wurden, oder ob sich die Testaufgaben dennoch eignen, um Gruppen zu trennen.

7.3.2 Auswahl der Testaufgaben zur Konstruktion eines optimalen Tests

Im folgenden Abschnitt wird das Vorgehen beschrieben, nach dem die Testaufgaben für den späteren Test ausgewählt wurden. Zunächst wird erörtert, warum die Entscheidung auf das hier gewählte Verfahren gefallen war.

7.3.2.1 Reliabilität versus Validität als geeignetes Maß zur Auswahl der Testaufgaben

Im weiteren Vorgehen konnte sich die Auswahl der Testaufgaben für den endgültigen Test entweder an dem Gütekriterium Validität oder dem Gütekriterium Reliabilität orientieren. Da es kein objektives Außenkriterium gibt, an Hand dessen die Kriteriumsvalidität geschätzt werden könnte, kann die Validität nur faktorenanalytisch begründet werden. Da der endgültige Test jedoch nur ein einziges Konstrukt erfassen sollte, müsste eine Faktorenanalyse zu einer Einfachstruktur führen. Eine Einfachstruktur wird jedoch nur dann erzielt, wenn alle Aufgabeninterkorrelationen der ausgewählten Testaufgaben hoch sind, da nur in diesem Fall der berechnete Faktor einen gemeinsamen Varianzanteil aufklären kann. Eine hierfür gerechnete Hauptachsenanalyse führte jedoch zu dem Ergebnis, dass 20 Faktoren einen Eigenwert >1 besitzen und der stärkste Faktor nicht mehr als 6.4% der Varianz aufklärt. Eine Rotation der Faktoren wurde nicht durchgeführt. Eine Übersicht über die 20 Faktoren zeigt Tabelle 7-14. Die Auswahl von den 15 Testaufgaben für den endgültigen Test, die am höchsten mit dem ersten Faktor korrelieren, ist somit keine geeignete Methode, da die Lage des Faktors auch durch die übrigen Testaufgaben mitbestimmt wird, so dass sich die Korrelationen mit dem ersten Faktor verändern würden, wenn eine Neuberechnung stattfindet, nachdem die Testaufgaben ausgewählt wurden. Die höchsten Aufgabeninterkorrelationen und die optimalste Lösung für eine Einfachstruktur sind damit nicht gegeben. Auch eine Auswahl der Testaufgaben nach einer Varimax-Rotation, die das Ziel der Einfachstruktur besitzt, richtet sich immer nach allen Testaufgaben und kann nicht zur Extraktion genutzt werden. Auch wenn sich auf theoretischer Ebene mathematische Beispiele erzeugen lassen, bei denen die Validität höher sein kann, als die Reliabilität, stellt die Reliabilität in diesem Fall auch eine obere Schranke der Validität dar. Aus diesem Grund viel die Entscheidung darauf, die Auswahl der Testaufgaben an einer maximalen Schätzung für die Reliabilität zu orientieren. Folglich sollte die Auswahl der Testaufgaben an der Homogenität des Tests orientiert sein und damit folglich auch daran, einen maximalen Wert für ein auf Homogenität basierendes Reliabilitätsmaß, wie Lambda 3 (Cronbach-Alpha) oder Lambda 2.

Tabelle 7-16: *Faktorstruktur für alle Testaufgaben.*

Faktor	Eigenwert	Aufgeklärte Varianz	Kumulative Varianz
1	2,88	6,40	6,40
2	2,13	4,73	11,12
3	2,03	4,52	15,64
4	1,95	4,34	19,98
5	1,93	4,28	24,26
6	1,76	3,91	28,17
7	1,67	3,70	31,87
8	1,63	3,61	35,48
9	1,52	3,39	38,87
10	1,50	3,33	42,20
11	1,46	3,25	45,45
12	1,43	3,17	48,63
13	1,36	3,02	51,64
14	1,32	2,93	54,57
15	1,26	2,79	57,36
16	1,20	2,66	60,01
17	1,17	2,60	62,61
18	1,09	2,42	65,03
19	1,09	2,41	67,44
20	1,00	2,23	69,67

Anmerkungen. Dargestellt sind die aus den Daten aller 45 Testaufgabenextrahierten Faktoren mit einem Eigenwert >1 sowie deren Anteile an der Gesamtvarianz und die entsprechende kumulative Varianz. Es wurde eine Hauptachsenanalyse ohne Rotation der extrahierten Faktoren durchgeführt.

7.3.2.2 Auswahl der Testaufgaben auf Basis der Reliabilität

Bei 45 Testaufgaben lassen sich $3{,}5 \times 10^{11}$ verschiedene Kombinationen für einen Test mit 15 Testaufgaben bilden. Diese hohe Anzahl möglicher Kombinationen erfordert ein systematisches Vorgehen bei der Auswahl der Testaufgaben. Für das Vorgehen wurde die Funktion in dem Programm SPSS genutzt, mit der sich nicht nur Cronbachs-Alpha für die ausgewählten Testaufgaben berechnen lässt, sondern mit der auch Cronbachs-Alpha für jede Testaufgabe angegeben wird, wenn dieses aus der Berechnung ausgeschlossen werden würde. Es wurden sukzessive die Testaufgaben ausgeschlossen, deren Ausschluss zu einer Maximierung von Cronbach-Alpha führt. Nach jedem Ausschluss einer Testaufgabe wurde jeweils eine neue Berechnung vorgenommen. Das Ziel dieses Vorgehens bestand darin, eine Testverkürzung vorzunehmen, bis rund 15 Testaufgaben übrig bleiben. Die Berechnung von Cronbachs-Alpha für alle 45 Testaufgaben lag bei .557.

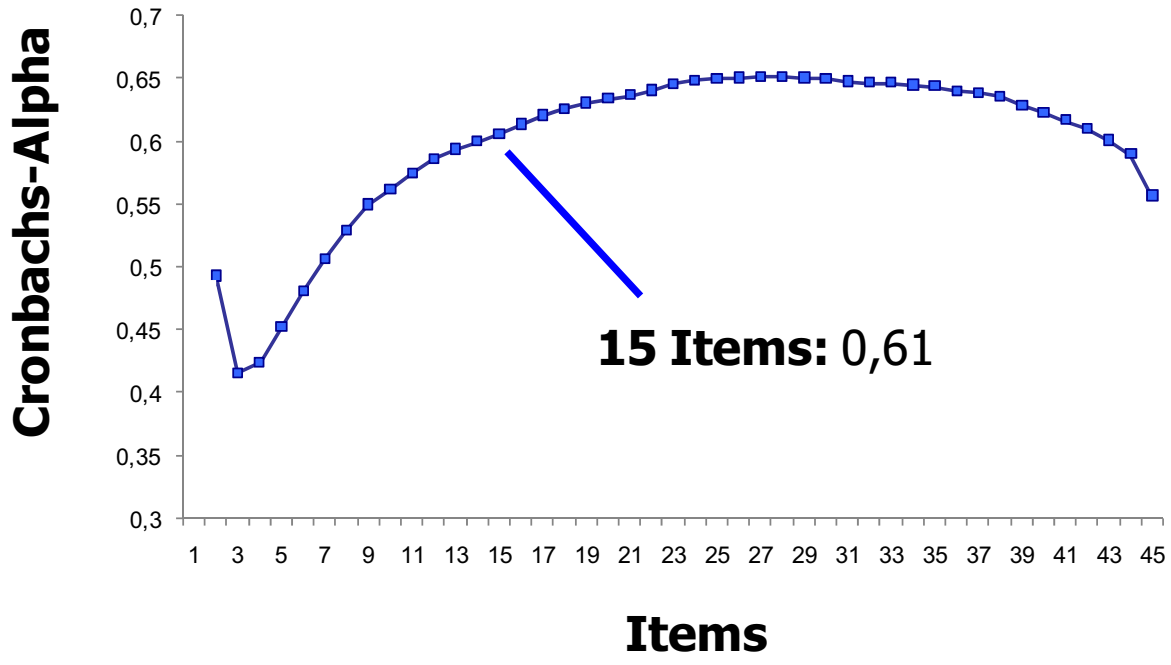


Abbildung 7-17: Zusammenhang zwischen der Testlänge und dem Wert für Cronbach-Alpha (N = 120).

Eine weitere Testverkürzung führte zunächst zu einem Anstieg des Werts für Cronbach-Alpha. Ab einer Testlänge von 28 Testaufgaben und einem Cronbach-Alpha von .652 führte eine weitere Testverkürzung zu einer Abnahme des Cronbach-Alpha (Abbildung 7-17). Cron-

bach-Alpha für 15 Testaufgaben lag bei 0,61, das Homogenitätsmaß Lambda2 bei 0,62. Eine weitere Testverkürzung verringerte nicht nur die Reliabilität zunehmend sondern führt in diesem Zusammenhang automatisch auch zu einer Verringerung der Validität. Aus diesem Grund fiel die Entscheidung auf eine Testlänge für den endgültigen Test von 15 Testaufgaben.

Tabelle 7-18: *Trennschärfen der Testaufgaben bei einer Selektion von 15 Testaufgaben (N = 120).*

		Trennschärfe	
Testaufgabennummer	**Schwierigkeit**	$\mathbf{r_p}$	***p*-Wert**
7	0,67	0,24	0,008
8	0,55	0,22	0,015
10	0,62	0,24	0,009
12	0,67	0,24	0,010
16	0,71	0,19	0,037
17	0,53	0,20	0,027
20	0,38	0,29	0,002
23	0,59	0,23	0,014
24	0,57	0,20	0,033
27	0,62	0,17	0,060
30	0,50	0,29	0,001
32	0,56	0,28	0,002
35	0,47	0,24	0,009
41	0,58	0,24	0,009
43	0,69	0,27	0,003

Tabelle 7-18 zeigt eine Übersicht über die Nummern der ausgewählten Testaufgaben und deren Schwierigkeiten sowie deren Trennschärfen, dass heißt die Korrelation zwischen der Aufgabepunktzahl und der Gesamtpunktzahl abzüglich der jeweiligen Testaufgabenpunktzahl und die entsprechenden *p*-Werte der Korrelationen. Die Schätzung für 15 Testaufgaben ist eben-

falls nicht geringer als die maximale Schätzung für 28 Testaufgaben (X^2 = 0,41; p = 0,527). Zum einen fällt bei der Auswahl der Testaufgaben auf, dass Testaufgabe 20 Teil dieser Zusammenstellung ist. Wie bereits im Abschnitt 7.3.1 angeführt wurde, weicht die Häufigkeit richtiger Antworten für diese Testaufgabe nicht von der Ratewahrscheinlichkeit ab. Für die Testaufgabe 27 ist die Trennschärfe nicht statistisch bedeutsam, so dass angenommen werden könnte, dass diese Testaufgabe wie auch die Testaufgabe 20 nicht für die Verwendung im endgültigen Test geeignet ist. Ob beide Testaufgaben dennoch verwendet werden können, da sie gut geeignet sind um zwischen verschiedenen Gruppen zu trennen oder ob der Test auf eine Länge von 13 Testaufgaben verkürzt werden muss und dabei eine geringere Reliabilität in Kauf genommen werden muss sollte die folgende Auswertung klären.

7.3.3 Auswertung von Alterseffekten

Für die Auswahl der Stichprobe wurde darauf geachtet, dass Teilnehmer zwischen 20 und 80 Jahren teilnehmen, so dass die Stichprobe auch für den Einsatz des Tests repräsentative ist. Diese Heterogenität in Bezug auf das Alter kann sich jedoch auch in den Daten widerspiegeln, was in diesem Absatz ausgewertet werden soll.

7.3.3.1 Unterschiede zwischen den Altersgruppen.

Neben der Einhaltung internationaler Gütekriterien, sollte der endgültige Test in der Lage sein, Alterseffekte zu detektieren, unter der Prämisse, dass auch die Diskriminationsleistung mit zunehmendem Alter schlechter wird. Abbildung 7-19 zeigt eine Übersicht über die Mittelwerte der Gesamtpunktzahl für die 15 ausgewählten Testaufgaben, getrennt für die sechs verschiedenen Altersklassen. Für den Einfluss des Faktors Altersklasse auf die Gesamtpunktzahl im Test wurde auch eine Varianzanalyse gerechnet. Es zeigt sich ein deutlicher Effekt dahingehend, dass sich die Gesamtpunktzahlen zwischen den verschiedene Altersklassen unterscheiden (F5= 4.905, $p < .001$, $f = .419$). Dieser Unterschied zwischen den Testergebnissen unterschiedlich alter Teilnehmer kann jedoch auch dazu führen, dass die höhere externe Validität zu Lasten der Schätzer für die Gütekriterien werden kann, wie der folgende Abschnitt zeigt. Post hoc wurden Tukey-Tests für multiple Vergleiche bestimmt (Tabelle 7-20). Es zeigte sich, dass sich die Gruppe der 20 – 29 jährigen von fast allen anderen Altersklassen signifikant unterschied, mit Ausnahme der Altersklasse der 50-59jährigen und der Altersklasse der 30-39jährigen, zu der sich jedoch ein Tendenz zeigte. Alle anderen Vergleiche wurden nicht signifikant. Ebenfalls eine Tendenz zeigte sich für den Vergleich der 50-59jährigen und den

70-80jährigen. Dennoch sind die Alterseffekt insbesondere auf die gute Testleistung der jungen Teilnehmer zurückzuführen.

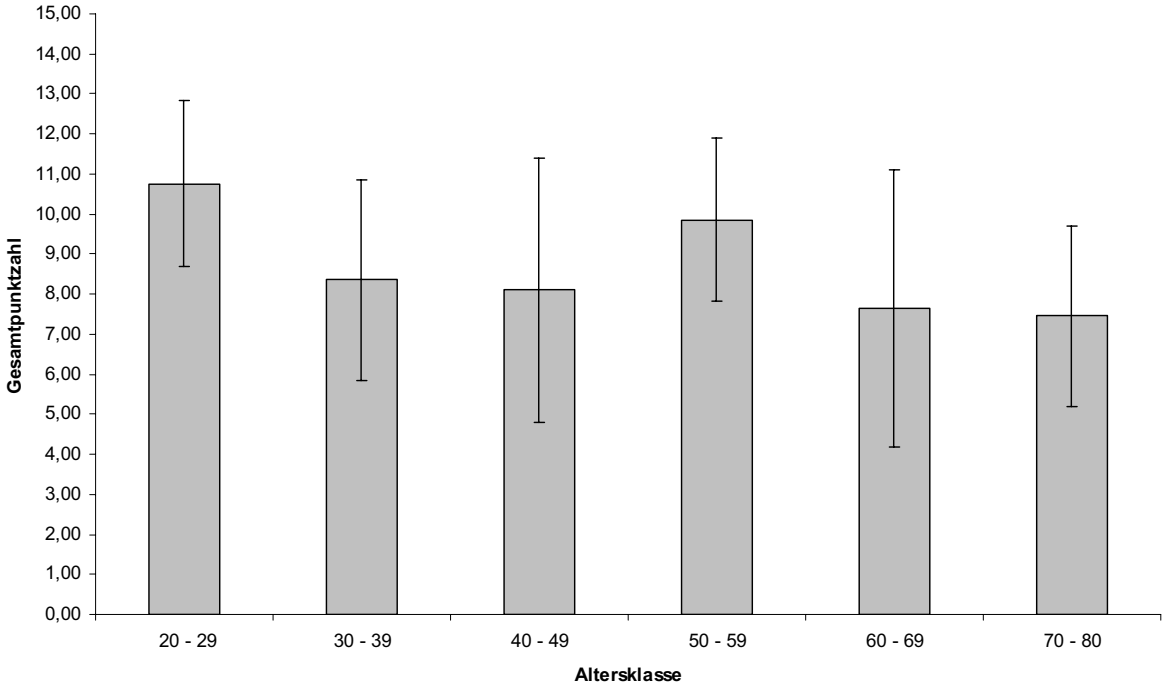


Abbildung 7-19: Summenwert für die ausgewählten 15 Testaufgaben, getrennt nach Altersklasse.

Tabelle 7-20: *Tukey-Tests für multiple Vergleiche zwischen den Summenwerten im Diskriminationstest der Altersklassen.*

	20-29 Jahre	**30-39 Jahre**	**40-49 Jahre**	**50-59 Jahre**	**60-69 Jahre**	**70-80 Jahre**
20-29 Jahre						
30-39 Jahre	2,40 ± 0,84 *p* = 0,056					
40-49 Jahre	2,65 ± 0,84 *p* = 0,025	0,25 ± 0,84 *p* = 1,000				
50-59 Jahre	0,90 ± 0,84 *p* = 0,892	1,50 ± 0,84 *p* = 0,480	1,75 ± 0,84 *p* = 0,305			
60-69 Jahre	3,10 ± 0,84 *p* = 0,005	0,70 ± 0,84 *p* = 0,961	0,45 ± 0,84 *p* = 0,995	2,20 ± 0,84 *p* = 0,102		
70-80 Jahre	3,30 ± 0,84 *p* = 0,002	0,90 ± 0,84 *p* = 0,892	0,65 ± 0,84 *p* = 0,972	2,40 ± 0,84 *p* = 0,056	0,20 ± 0,84 *p* = 1,000	

Anmerkungen. Dargestellt sind die Beträge der Mittelwertsdifferenzen (M ± SE), sowie die p-Werte.

7.3.3.2 Der Einfluss der Altersgruppen auf die Reliabilitätschätzung

Die Auswahl der 15 Testaufgaben für den endgültigen Test erfolgte auf Basis der Datensätze aller 120 Teilnehmer und damit auch aller Altersgruppen. Zieht man jedoch hinzu, dass sich die Gesamtpunktzahl für die 15 Testaufgaben zwischen den Altersgruppen unterscheidet, muss ebenfalls in Betracht gezogen werden, dass sich die Aufgabeinterkorrelationen zwischen den Altersgruppen unterscheiden können und damit auch die ausgewählten Testaufgaben. Aus diesem Grund wurden für verschiedene Altersgruppen die gleichen Schritte zur Auswahl von 15 Testaufgaben durchgeführt, wie in Abschnitt 7.3.2.2. Hierbei wurden 5 verschiedene Altersgruppen gebildet. Zum einen wurden die Teilnehmer zwischen 20 und 39 Jahren zusammengefasst, da diese Altersgruppe in den zuvor durchgeführten Studien mit Altersbeschränkungen ebenfalls untersucht wurde. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Altersgrenze nicht bei 40 Jahren, sondern schon bei 39 Jahren endet. Des Weiteren wurden die älteren Teilnehmer im Alter von 60 bis 80 Jahren untersucht, da diese Teilnehmer ebenfalls den MMST zu absolvieren hatten. Neben der separaten Analyse für diese beiden Altersgruppen wurde ebenfalls untersucht, wie sich die Auswahl der Testaufgaben und die Reliabilitäten verändern würden, wenn diese beiden Altersgruppen ausgeschlossen werden würden. Als fünfte Analyse wurden auch die Teilnehmer im Alter von 40 bis 59 Jahre separat ausgewertet. Tabelle 7-20 und Tabelle 7-21 zeigt eine Übersicht über die Testaufgaben, die für die untersuchten Altersgruppen ausgewählt werden müssen, um maximale Reliabilitäten zu erzielen. Es zeigt sich deutlich, dass die Testaufgaben, die für die einzelnen Altergruppen ausgewählt werden müssten, sich deutlich unterscheiden. Diese unterschiedlichen Muster zeigen damit, dass es schwierig ist, eine hohe Homogenität für einen Test zu erzielen, der in Bezug auf ein relevantes Merkmal sehr heterogen ist.

Tabelle 7-22 zeigt außerdem die jeweiligen Reliabilitäten, an Hand der Schätzung über Cronbachs-Alpha, die mit den entsprechend ausgewählten Testaufgaben für die jeweiligen Altersgruppen erzielt werden. Für die Interpretation dieser Ergebnisse muss allerdings auch beachtet werden, dass sich die Stichprobenumfänge zwischen den durchgeführten Analysen unterscheiden. Es zeigte sich, dass die Reliabilitätsschätzungen im Vergleich zu der Analyse mit allen Teilnehmern in allen Fällen umso höher waren, je homogener die Teilnehmer in Bezug auf ihr Alter waren. Ob die Reliabilitätsschätzungen auch so deutliche Unterschiede aufweisen würden, wenn die Studie mit den homogenen Altersklassen, allerdings auch mit 120 Teilnehmern durchgeführt geworden wäre, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden.

Tabelle 7-20: *Auswahl von jeweils 15 Testaufgaben für die Testkonstruktion mit maximaler Homogenität nach neu zusammengefassten Altersklassen getrennt.*

Testaufgabe	20 – 39 Jahre	40 -59 Jahre	60 – 80 Jahre	Testaufgabe	20 – 39 Jahre	40 -59 Jahre	60 – 80 Jahre
1	●			24	●	●	
2				25	●		
3				26			●
4				27	●		●
5				28			●
6	●			29			●
7		●		30		●	●
8				31			
9		●	●	32			
10		●	●	33			
11	●		●	34			
12		●		35	●	●	
13	●			36		●	●
14	●		●	37			●
15			●	38	●		●
16			●	39		●	●
17		●		40	●		
18	●			41	●	●	
19				42		●	
20	●			43	●		
21		●		44		●	
22				45		●	
23							

Anmerkungen. Die Testaufgaben die ausgewählt werden müssten, sind mit einem ● gekennzeichnet. Jede hier neu gebildete und untersuchte Altersklasse umfasste 40 Teilnehmer.

Tabelle 7-21: *Auswahl von jeweils 15 Testaufgaben für die Testkonstruktion mit maximaler Homogenität nach neu zusammengefassten Altersklassen getrennt.*

Testaufgabe	40 – 80 Jahre	20 – 59 Jahre	Testaufgabe	40 – 80 Jahre	20 – 59 Jahre
1			24		●
2			25		
3			26		
4			27	●	
5			28		
6			29	●	
7			30	●	
8	●		31		
9		●	32	●	
10	●	●	33		
11			34		●
12			35	●	●
13		●	36	●	
14			37	●	
15	●		38	●	●
16			39	●	●
17	●	●	40		●
18		●	41	●	●
19		●	42		
20			43		●
21		●	44		
22			45		
23	●				

Anmerkungen. Die Testaufgaben die ausgewählt werden müssten, sind mit einem ● gekennzeichnet. Da im Vergleich zu Tabelle 7-20 jeweils vier Altersklassen zusammengefasst wurden, umfasste jede hier neu gebildete Altersklasse 80 Teilnehmer.

Tabelle 7-22: *Cronbachs-Alpha für die in Tabelle 6-15 markierten Testaufgaben.*

Altersgruppe	Cronbach-Alpha
20 – 80 Jahre	0,61
20 – 39 Jahre	0,72
40 – 59 Jahre	0,73
60 – 80 Jahre	0,72
40 – 80 Jahre	0,65
20 – 59 Jahre	0,65

7.3.2.3 Diskriminationsfähigkeit der ausgewählten Testaufgaben zwischen den Altersgruppen

Für jede der 15 Testaufgaben wurde untersucht, wie gut es in der Lage ist, zwischen den verschiedenen Altersgruppen zu trennen. Hierfür wurden für jede Testaufgabe jeweils drei verschiedene Diskriminanzanalysen durchgeführt. Zum einen wurden die drei jüngeren Altersklassen mit der Hälfte aller Teilnehmer im Alter zwischen 20 und 49 Jahren zusammengefasst und mit der anderen Hälfte der Teilnehmer verglichen, die sich in den drei älteren Altersklassen mit Teilnehmern zwischen 50 und 80 Jahren befanden. Tabelle 7-23 zeigt eine Übersicht über die relativen Häufigkeiten richtiger Antworten für beide Altersgruppen, sowie Wilks-Lambda und die entsprechenden F- und p-Wert. Es zeigt sich, dass nur die Testaufgabe mit der Nummer 27 in der Lage ist, auch zwischen den beiden sehr weit gefassten Altersgruppen zu unterscheiden. Eine Tendenz zeigt sich auch noch bei Testaufgabe 23. Alle anderen Testaufgaben sind nicht in der Lage, zwischen diesen beiden Altersgruppen zu trennen. Die beiden Altersgruppen wurden somit in einem zweiten Schritt näher in Richtung der Extremgruppen verlagert, in dem die beiden die beiden Altersklassen 20-39 Jahre und 60-80 Jahre vergleichen wurden. Tabelle 7-24 zeigt die entsprechende Übersicht.

.

Tabelle 7-23: *Diskriminanzanalyse für den Vergleich der Altersklasse 20-49 Jahre mit der Altersklasse 50-80 Jahre.*

	Schwierigkeit					
Testaufgabenummer	**20 – 49 Jahre**	**50 – 80 Jahre**	**Wilks Lambda**	**F**	**df**	***p***
7	0,67	0,67	1,00	0,00	1, 118	1,000
8	0,58	0,52	1,00	0,53	1, 118	0,467
10	0,58	0,65	1,00	0,56	1, 118	0,457
12	0,73	0,60	0,98	2,41	1, 118	0,123
16	0,72	0,70	1,00	0,04	1, 118	0,842
17	0,58	0,48	0,99	1,20	1, 118	0,276
20	0,40	0,37	1,00	0,14	1, 118	0,710
23	0,67	0,52	0,98	2,81	1, 118	0,096
24	0,60	0,53	1,00	0,54	1, 118	0,465
27	0,75	0,48	0,93	9,60	1, 118	0,002
30	0,53	0,47	1,00	0,53	1, 118	0,469
32	0,57	0,55	1,00	0,03	1, 118	0,856
35	0,47	0,47	1,00	0,00	1, 118	1,000
41	0,58	0,57	1,00	0,03	1, 118	0,855
43	0,63	0,75	0,98	1,91	1, 118	0,169

Anmerkungen. In jeder Altersklasse befanden sich 60 Teilnehmer.

Tabelle 7-24: *Diskriminanzanalyse für den Vergleich der Altersgruppe 20-39 Jahre mit der Altersgruppe 60-80 Jahre.*

	Schwierigkeit					
Testaufgabenummer	**20 – 39 Jahre**	**60 – 80 Jahre**	**Wilks Lambda**	**F**	**df**	***p***
7	0,80	0,68	0,98	1,61	1, 78	0,209
8	0,65	0,45	0,96	3,28	1, 78	0,074
10	0,62	0,60	1,00	0,05	1, 78	0,821
12	0,78	0,60	0,96	2,88	1, 78	0,094
16	0,75	0,62	0,98	1,44	1, 78	0,233
17	0,62	0,42	0,96	3,26	1, 78	0,075
20	0,42	0,38	1,00	0,20	1, 78	0,653
23	0,65	0,40	0,94	5,21	1, 78	0,025
24	0,68	0,55	0,98	1,31	1, 78	0,257
27	0,72	0,42	0,91	7,91	1, 78	0,006
30	0,58	0,35	0,95	4,18	1, 78	0,044
32	0,58	0,48	0,99	0,79	1, 78	0,377
35	0,45	0,45	1,00	0,00	1, 78	1,000
41	0,58	0,50	0,99	0,44	1, 78	0,507
43	0,68	0,65	1,00	0,06	1, 78	0,816

Anmerkungen. In jeder Altersklasse befanden sich 40 Teilnehmer.

Für die in diesem Fall näher an den Extremgruppen liegenden Altersgruppen trennen in diesem Fall die Testaufgaben 23, 27 und 30 signifikant zwischen den Gruppen. Eine Tendenz zeigt sich nun auch bei den Testaufgaben 8, 12 und 17.

In einem letzten Schritt wurde eine Diskriminanzanalyse auch für den Vergleich der Extremgruppen 20 – 29 Jahre und 70 – 80 Jahre durchgeführt. Die Übersicht über die Ergebnisse zeigt Tabelle 7-25.

Tabelle 7-25: *Diskriminanzanalyse für den Vergleich der Altersgruppe 20-29 Jahre mit der Altersgruppe 70-80 Jahre.*

	Schwierigkeit					
Testaufgabenummer	**20 – 29 Jahre**	**70 – 80 Jahre**	**Wilks Lambda**	**F**	**df**	***p***
7	0,90	0,70	0,94	2,53	1, 38	0,120
8	0,70	0,35	0,88	5,32	1, 38	0,027
10	60	0,70	0,99	0,42	1, 38	0,520
12	0,90	0,65	0,91	3,74	1, 38	0,061
16	0,85	0,65	0,95	2,14	1, 38	0,152
17	0,75	0,45	0,91	3,93	1, 38	0,055
20	0,55	0,30	0,94	2,60	1, 38	0,115
23	0,65	0,40	0,94	2,54	1, 38	0,119
24	0,65	0,55	0,99	0,40	1, 38	0,531
27	0,80	0,45	0,87	5,71	1, 38	0,022
30	0,70	0,35	0,88	5,32	1, 38	0,027
32	0,70	0,55	0,98	0,93	1, 38	0,340
35	0,60	0,30	0,91	3,80	1, 38	0,059
41	0,60	0,45	0,98	0,88	1, 38	0,355
43	0,80	0,60	0,95	1,90	1, 38	0,176

Anmerkungen. In jeder Altersklasse befanden sich 20 Teilnehmer.

In diesem letzten analysierten Fall erbrachte die Auswertung der Daten das Ergebnis, dass die Testaufgaben 8, 27 und 30 signifikant zwischen den beiden Extremgruppen trennen konnten. Im Vergleich zu der zuvor durchgeführten Diskriminanzanalyse zählte Testaufgabe 23 in diese Fall nicht mehr zu den Testaufgaben die signifikant zwischen den Gruppen trennen konnte. Tendenzen zeigten hingegen wie im vorherigen Fall die Testaufgaben 12 und 17 sowie Testaufgabe 35, die neu hinzugekommen war.

Die hier durchgeführten Analysen zeigen, dass die Testaufgaben je nach Altersvergleich unterschiedlich gut zwischen verschiedenen Altersgruppen trennen können. Das bedeutet zum einen, dass verschiedene Testaufgaben von älteren Teilnehmern unterschiedlich gut gelöst werden können und diese im Alter somit unterschiedlich schwierig zu lösen sind. Zum anderen zeigen die Ergebnisse auch, dass nur sehr wenige Testaufgaben für die Unterschiede in den Gesamtpunktzahlen zwischen den Altersklassen verantwortlich zu sein scheinen. Rund 2/3 der Testaufgaben eignen sich nicht, um Altersklassen von einander zu trennen. Abschließend muss berücksichtig werden, dass die Testaufgabe, die sich bei allen drei Analysen jeweils am besten dazu eignete, zwischen den Altersgruppen zu unterscheiden, die Testaufgabe mit der Nummer 27 war. Auch wenn die Trennschärfe dieser Testaufgaben nicht signifikant wurde unterstreicht das hier gefundene Ergebnis, dass die Aufnahme dieser Testaufgaben in den endgültigen Test in jedem Fall gerechtfertigt zu sein scheint.

7.3.2.4 Die Aufgabe 20

Von zwei Testaufgaben, für die noch zu klären war, ob sie für den Einsatz im endgültigen Test geeignet sind, hatte sich für die Testaufgabe 27 herausgestellt, dass es gut dafür geeignet ist, um Altersunterschiede zu detektieren. Eine Antwort auf die Frage, ob die Testaufgabe 20 ebenfalls für den Einsatz im endgültigen Test geeignet ist, erbrachte folgende Auswertung. Die Analyse, ob die Häufigkeit richtiger Antworten von einer Ratewahrscheinlichkeit abweicht wurde noch einmal nach Altersklassen getrennt durchgeführt. Tabelle 7-26 zeigt das Ergebnis für die für jede Altersklasse gerechneten Binomialtest gegen eine Ratewahrscheinlichkeit von 1/3, beziehungsweise den Testwert 0,333334. Die Auswertung erbrachte, dass nur die Teilnehmer in der Altersklasse 20 – 29 Jahre überzufällig häufig richtig den Abweichler detektierten. Damit scheint diese Testaufgabe ins besondere dafür sensitiv zu sein, dass es von Teilnehmern dieser Altersklasse richtig beantwortet wird, so dass es auch für den Einsatz in dem endgültigen Test geeignet ist.

Tabelle 7-26: *Abweichung der Lösungswahrscheinlichkeit vom Zufallsniveau für die Testaufgabe 20, nach Altersklassen getrennt.*

Altersgruppe	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit	*p*-Werte
20 – 29 Jahre	11	0,55	0,038
30 – 39 Jahre	6	0,30	0,479
40 – 49 Jahre	7	0,35	0,521
50 – 59 Jahre	7	0,35	0,521
60 – 69 Jahre	9	0,45	0,191
70 – 80 Jahre	6	0,30	0,479

Anmerkungen. Dargestellt sind für jede Altersklasse berechneten *p*-Werte der Binomialtests für die Häufigkeit richtiger Antworten gegen eine Ratewahrscheinlichkeit von 1/3. Jede Altersklasse umfasste 20 Teilnehmer,

7.3.2.5 Faktorenanalytische Validität des 15 Testaufgaben umfassenden Tests

Für die 15 ausgewählten Testaufgaben zeigten sich bisher zufrieden stellende Ergebnisse für das Gütekriterium Reliabilität. Das Ziel die Homogenität des Tests zu maximieren diente auch dazu, Einfachstruktur für eine Faktorenanalyse zu schaffen. Wie bereits für alle 45 Testaufgaben wurde auch für die endgültig ausgewählten 15 Testaufgaben eine Hauptachsenanalyse durchgeführt. Die Extraktion der Faktoren mit einem Eigenwert >1 führte zu einer Extraktion von 7 Faktoren. Während bei 45 Testaufgaben 20 Faktoren einen eigenwert >1 besaßen, hat sich am relativen Verhältnis zwischen Testaufgaben und Anzahl potentieller Faktoren somit nichts verändert. Tabelle 7-27 zeigt eine Übersicht über die sieben Faktoren, deren Eigenwerte und Anteile an der Varianz sowie die kumulierte Varianz. Im Gegensatz zu dem Anteil an der Gesamtvarianz des stärksten Faktors für 45 Testaufgaben verzeichnet der stärkste Faktor für die 15 Testaufgaben einen deutlichen Zugewinn. Zwar ist der Anteil dieses Faktors an der Gesamtvarianz zu gering um ihn als bedeutsame gemeinsame Komponente zu bestimmen. Jedoch zeigt die Betrachtung der Faktorladungen der 15 Testaufgaben, dass alle Testaufgaben mit diesem Faktor positive Korrelationen aufweisen (Tabelle 7-28).

Tabelle 7-27: *Faktorstruktur für den 15 Testaufgaben umfassenden Test.*

Faktor	Eigenwert	Aufgeklärte Varianz	Kumulative Varianz
1	2,33	15,51	15,51
2	1,37	9,14	24,65
3	1,32	8,79	33,44
4	1,27	8,49	41,93
5	1,17	7,78	49,71
6	1,10	7,34	57,04
7	1,05	7,01	64,06

Tabelle 7-28: *Faktorladungen der 15 Testaufgaben auf den stärksten Faktor.*

Testaufgabenummer	Faktorladung	Testaufgabenummer	Faktorladung
7	0,42	24	0,32
8	0,39	27	0,28
10	0,37	30	0,47
12	0,40	32	0,44
16	0,32	35	0,40
17	0,34	41	0,39
20	0,48	43	0,44
23	0,39		

7.3.2.6 Aufgabeninterkorrelationen

Tabelle 7-29 zeigt eine Übersicht über die Aufgabeinterkorrelationen und *p*-Werte der 15 Testaufgaben. Diese wurden mit dem Spearmanschen Korrelationskoeffizienten bestimmt.

Tabelle 7-29: *Aufgabeninterkorrelationen zwischen den 15 Testaufgaben.*

	Testaufgabe														
Test-aufgabe	7	8	10	12	16	17	20	23	24	27	30	32	35	41	43
7	1														
8	0,04/ *0,700*	1													
10	0,13/ 0,147	0,11/ 0,216	1												
12	0,18/ 0,056	0,14/ 0,121	0,02/ 0,793	1											
16	0,09/ 0,324	0,05/ 0,617	-0,02 /0,865	0,17/ 0,066	1										
17	0,05/ 0,608	0,09/ 0,307	0,33/ >0,001	0,08/ 0,369	-0,05 /0,595	1									
20	0,12/ 0,187	0,20/ 0,032	0,02/ 0,809	0,16/ 0,086	0,17/ 0,069	0,09/ 0,357	1								
23	0,17/ 0,067	0,10/ 0,275	0,08/ 0,401	0,02/ 0,795	0,03/ 0,775	0,11/ 0,247	0,13/ 0,151	1							
24	0,06/ 0,519	0,01/ 0,883	0,14/ 0,125	-0,01 /0,897	0,14/ 0,122	0,09/ 0,317	0,14/ 0,138	-0,04 /0,647	1						
27	0,02/ 0,793	-0,02 /0,794	0,12/ 0,197	0,06/ 0,511	0,17/ 0,059	0,09/ 0,345	0,11/ 0,223	0,11/ 0,223	0,04/ 0,689	1					
30	0,25/ 0,006	0,17/ 0,067	0,10/ 0,264	0,25/ 0,006	-0,06 /0,551	0,03/ 0,717	0,10/ 0,264	0,15/ 0,093	0,10/ 0,273	0,14/ 0,135	1				
32	0,05/ 0,647	0,08/ 4310,	0,06/ 0,528	0,15/ 0,093	0,21/ 0,025	0,04/ 0,644	0,11/ 0,213	0,18/ 0,046	0,00/ 0,990	0,20/ 0,032-	0,05/ 0,585	1			
35	0,01/ 0,898	0,14/ 0,124	0,15/ 0,094	0,13/ 0,157	-0,02 /0,791	0,00/ 0,961	0,12/ 0,187	-0,01 /0,961	0,28/ 0,002	0,02 /0,843	0,10/ 0,276	0,09/ 0,318	1		
41	0,04/ 0,698	0,10/ 0,261	-0,02 /0,836	-0,04 /0,698	0,08/ 0,392	0,01/ 0,941	0,12/ 0,180	0,08/ 0,418	0,13/ 0,149	0,15/ 0,092	0,15/ 0,098	0,22/ 0,016	0,16/ 0,077	1	
43	0,18/ 0,051	0,05/ 0,595	0,07/ 0,464	-0,01 /0,890	0,13/ 0,166	0,17/ 0,062	0,23/ 0,012	0,14/ 0,120	0,04/ 0,703	0,03/ 0,742	0,05/ 0,558	0,10/ 0,294	0,19/ 0,037	0,12/ 0,193	1

Anmerkungen. Dargestellt sind die Korrelationskoeffizienten, sowie die entsprechenden *p*-Werte (r_s / *p*). Signifikante Korrelationen sind grau hinterlegt.

Betrachtet man die Aufgabeinterkorrelationen zeigt sich, dass diese in den meisten Fällen nicht bedeutsam sind. Hierin scheint die Erklärung für die niedrige faktoranalytische Validität zu liegen.

7.3.4 Einfluss des Faktors Geschlecht

Um den Einfluss des Faktors Geschlecht zu bestimmen, wurde in gleicher Weise, wie bereits im Abschnitt 6.3.2.3 für den Vergleich der Altersklassen, die Diskriminationsfähigkeit der Testaufgaben zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmern bestimmt (Tabelle 7-30).

Tabelle 7-30: *Diskriminanzanalyse für den Vergleich der weiblichen und männlichen Teilnehmer.*

	Schwierigkeit					
Testaufgabenummer	**Weiblich**	**Männlich**	**Wilks Lambda**	**F**	**df**	***p***
7	0,65	0,68	1,00	0,15	1, 118	0,701
8	0,62	0,48	0,98	2,16	1, 118	0,145
10	0,60	0,63	1,00	0,14	1, 118	0,710
12	0,72	0,62	0,99	1,34	1, 118	0,249
16	0,68	0,73	1,00	0,36	1, 118	0,551
17	0,53	0,53	1,00	0,00	1, 118	1,000
20	0,42	0,35	1,00	0,56	1, 118	0,457
23	0,60	0,58	1,00	0,03	1, 118	0,854
24	0,58	0,55	1,00	0,13	1, 118	0,715
27	0,68	0,55	0,98	2,26	1, 118	0,135
30	0,53	0,47	1,00	0,53	1, 118	0,469
32	0,60	0,52	0,99	0,84	1, 118	0,362
35	0,48	0,45	1,00	0,13	1, 118	0,717
41	0,67	0,48	0,97	4,20	1, 118	0,043
43	0,62	0,77	0,97	3,20	1, 118	0,076

Es zeigte sich, dass sich die Fähigkeit zwischen weiblichen und männlichen Teilnehmern lediglich für die Aufgabe 41 unterscheidet, bei dem weibliche Teilnehmer häufiger der Abweichler richtige detektiert haben. Für den Vergleich des Summenwerts der 15 Testaufgaben wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben gerechnet. Es zeigte sich kein Unterschied zwischen weiblichen und männlichen Teilnehmern (t_{118} = 1,115, p = 0,267, d = 0,20). Dennoch zeigte die deskriptive Betrachtung der Mittelwerte, dass diese bei weiblichen Teilnehmern höher sind. Die geringe Effektstärke und das nicht signifikante Ergebnis können jedoch auf die vergleichsweise hohen Standardabweichungen zurückgeführt werden.

7.3.5 Einfluss der Abhängigen Variable Sicherheit.

Von den Teilnehmern wurde bei jeder Antwort ebenfalls erfasst, wie subjektiv sicher sie sich mit ihrer Antwort sind. Die Teilnehmer konnten hierfür natürliche Zahlen zwischen 1 und 6 angeben, die die verbalen Verankerungen „ich bin mir extrem unsicher“ für den Wert 1 und „ich bin mir extrem sicher“ für den Wert 6 besaßen. Um den Einfluss des Faktors Sicherheit zu bestimmen, wurden die Korrelationen mit dem Spearmanschen Korrelationskoeffizienten zwischen den Abhängigen Variablen Antwort und Sicherheit gebildet (Tabelle 7-31). Es zeigte sich, dass bei einer Vielzahl der Aufgaben die subjektive Sicherheit mit der Häufigkeit richtiger Antworten korreliert ist. Dennoch lässt sich keine Systematik darin erkennen, bei welchen Testaufgaben dies der Fall ist. So zeigt sich für die Testaufgabe 20, dass hier die subjektive Sicherheit unkorreliert ist. Für diese Testaufgabe könnte die Erklärung angeführt werden, dass diese Testaufgabe generell schwierig zu lösen war und die Teilnehmer möglicherweise verunsichert waren. Allerdings kann diese Erklärung nicht für die anderen Testaufgaben übernommen werden, bei denen sich ebenfalls keine bedeutsamen Korrelationen zeigten.

Tabelle 7-31: *Mittelwerte und Standardabweichungen für die Abhängige Variable Sicherheit sowie die Korrelationen mit der Abhängigen Variable Antwort (N = 120).*

Testaufgabenummer	**M ± SD**	**r_p**	***p*-Wert**
7	4,28 ± 1,32	0,21	0,024
8	3,89 ± 1,32	0,05	0,598
10	4,12 ± 3,12	0,20	0,013
12	4,00 ± 1,49	0,18	0,030
16	4,50 ± 1,27	0,16	0,050
17	3,86 ± 1,46	0,09	0,298
20	3,58 ± 1,33	0,00	0,982
23	3,88 ± 1,30	0,01	0,956
24	4,22 ± 1,30	0,25	0,002
27	4,10 ± 1,33	0,29	0,001
30	3,66 ± 1,36	-0,02	0,846
32	3,98 ± 1,37	0,06	0,463
35	3,98 ± 1,31	0,23	0,005
41	3,88 ± 1,27	-0,01	0,870
43	4,14 ± 1,50	0,14	0,078

7.3.6 Hypothesengeleitet Auswertung der Abhängigen Variable Entscheidung.

Von den Teilnehmern wurde bei jeder Antwort ebenfalls erfasst, ob sie die Antwort auf Basis von Intensitäts- oder auf Basis von Qualitätsunterschieden getroffen haben. Abbildung 7-32 zeigt die absoluten Häufigkeiten, wie häufig die Antworten Intensität und Qualität gegeben wurden. Zusätzlich wurde für jede Testaufgabe ein Binomialtest gegen eine Gleichverteilung der beiden Antwortkategorien gerechnet (B(120, 0.5)). Für jeden Geruchsstoff war der erziel-

te *p*-Wert <.001. Für jeden Geruchsstoff konnte somit die Nullhypothese, dass gleich oder weniger häufig ein Qualitätsunterschied im Vergleich zu einem Intensitätsunterschied berichtet wird, abgelehnt werden. Damit bestätigte sich, was auch bereits deskriptiv aus den Daten ersichtlich war, dass die Teilnehmer, wie es mit dem methodischen Konzept der Mischgerüche auch beabsichtigt war, unterschiedliche Geruchsqualitäten in den Testaufgaben wahrgenommen haben.

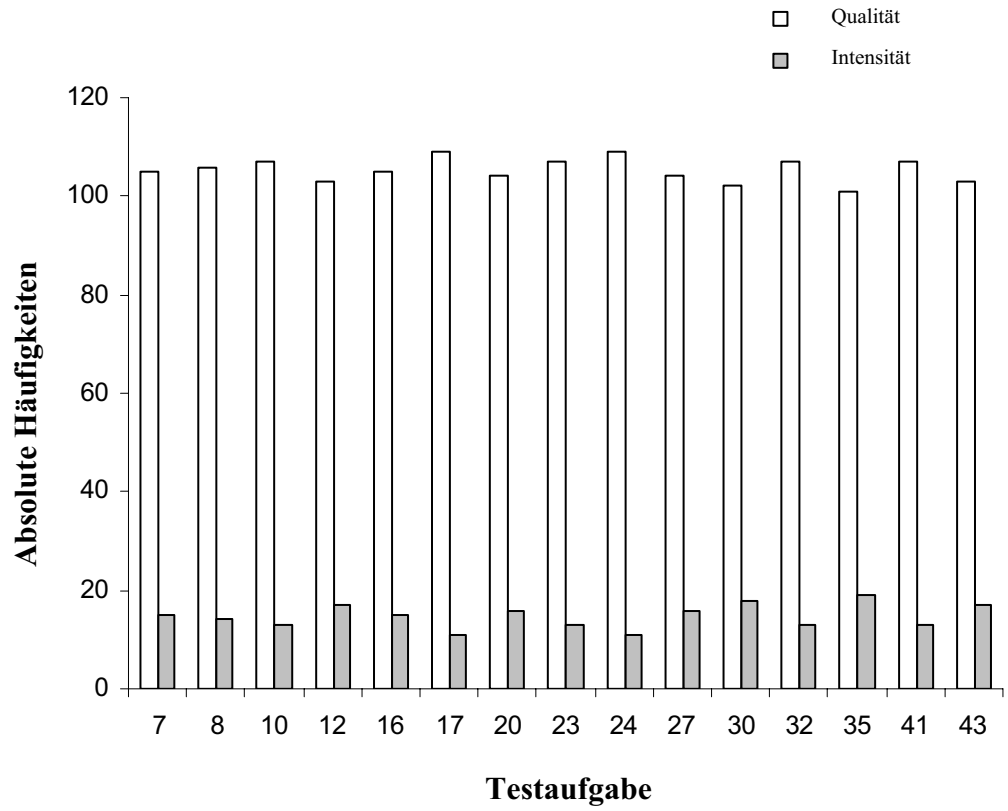


Abbildung 7-32: Absolute Häufigkeiten fü die beiden Kategorien „Intensität“ und „Qualität“, getrennt nach Testaufgabe (B(120, 0,5).

7.3.7 Einfluss der Abhängigen Variable MMST-Gesamtwert

Mit allen Teilnehmern zwischen 60 und 80 Jahren wurde der MMST durchgeführt. Abbildung 7-33 zeigt die Verteilung der Gesamtpunktwerte. Die Maximalpunktzahl liegt bei 30 Punkten. Keiner der Teilnehmer erzielte einen Wert, der Hinweise auf eine dementielle Erkrankung liefern würde. Die Berechnung von Pearsons Korrelationskoeffizient ergab keinen bedeutsa-

men korrelativen Zusammenhang zwischen dem Summenwert im MMST und dem Summenwert in dem 15 Aufgaben umfassenden Diskriminationstest ($r_p = 0{,}12$, $p = 0{,}449$).

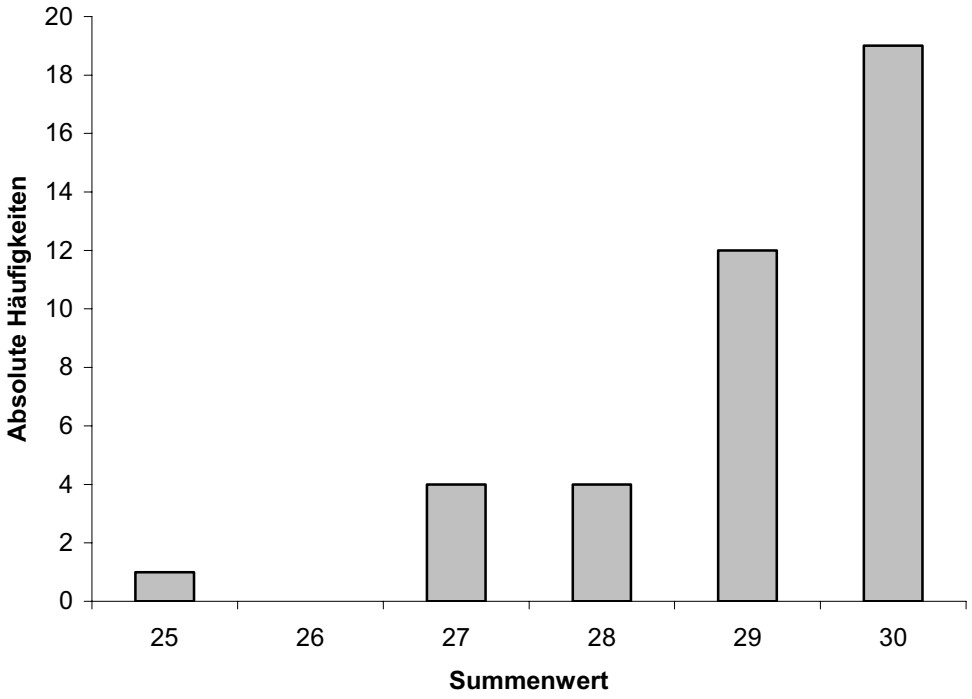


Abbildung 7-33: Verteilung der Summenwerte für die Abhängige Variable MMST-Summenwert.

7.4 Diskussion

Die Auswertung der Daten erlaubte eine Reduktion der 45 Testaufgaben auf 15 Testaufgaben, mit denen sich ein Diskriminationstest erzeugen lässt, der für den Reliabilitätsschätzer Cronbach Alpha einen Wert von 0,61 liefert. Die Schätzung für die Reliabilität kann jedoch als noch höher eingestuft werden, da der Schätzer Lambda 2 den Wert 0,62 annimmt und dabei trotz allem die tatsächliche Reliabilität noch unterschätzt. Der Test ist ebenfalls in der Lage, zwischen verschiedenen Altersklassen zu trennen. Lediglich die faktorenanalytische Auswertung der Reliabilität führte zu keinen aussagekräftigen Ergebnissen. Wie die Ergebnisse zu bewerten sind, wird im Folgenden diskutiert.

7.4.1 Begründung der Auswahl von 15 Testaufgaben

Bevor die Ergebnisse inhaltlich diskutiert werden können, gilt es die Frage zu beantworten, warum eine Auswahl von 15 Testaufgaben vorgenommen wurde. In erster Linie steht die Durchführbarkeit im Vordergrund eines Tests, für den ein Einsatz in der klinischen Routine-Diagnostik vorgesehen ist. So würde die Auswahl von 28 Testaufgaben, mit denen sich an Hand der in dieser Studie untersuchten Testaufgaben die höchste Homogenität mit einem Wert für Cronbachs Alpha von 0,65 erzeugen ließe, zu einer höheren Messgenauigkeit führen. Sicherlich wäre es in diesem Zusammenhang auch sinnvoll, den gesamten Testaufgabenpool von allen möglichen 90 Testaufgaben vorzugeben und aus diesen eine Auswahl zu treffen. Je mehr Aufgaben vorgegeben werden, desto mehr Zeit muss jedoch auch für die Testung aufgewendet werden. Die Auswahl von 28 Testaufgaben würde zu einer Testdauer von rund 30 Minuten führen, und den Einsatz in der klinischen Routine-Diagnostik praktisch unmöglich machen würde. Die einzige Ausnahme würde dann bestehen, wenn der Test mit einer sehr hohen Sensitivität und hoch spezifisch Personen mit bestimmten Syndromen detektieren könnte. Hierfür ist jedoch zunächst die Testung von klinischen Stichproben erforderlich, um eine Testverlängerung in Erwägung ziehen zu können.

Auf der anderen Seite muss die Validität der Ergebnisse auch berücksichtigt werden. Auch wenn dieser Aspekt in der folgenden Diskussion näher dargestellt wird, muss er dennoch bereits für die Auswahl der Anzahl an Testaufgaben hinzugezogen werden. Eine Ausweitung der Testdauer würde wahrscheinlich mehr Aufmerksamkeits-Ressourcen erfordern und könnte auf Gedächtnisebene Interferenzen bedingen, so dass letzten Endes aus Gesichtspunkten der inhaltlichen Validität die Grenzen des Konstrukts der Diskriminationsfähigkeit

aufweichen würden. So haben die Probedurchläufe für diese Studie ergeben, dass sich die Teilnehmer, wenn insgesamt 45 Testaufgaben absolviert werden müssen, alle 10 Testaufgaben eine kürzere Pause wünschen. Zwar wurde auch berichtet, dass 15 Testaufgaben am Stück absolviert werden können, ein Test mit mehr als 15 Testaufgaben würde jedoch den Einsatz einer kurzen Pause während der Testung erforderlich machen.

Aus letzterem Grund ist auch die Testung mit allen 90 möglichen Testaufgaben fragwürdig. Die Dauer dieser Studie belief sich insgesamt pro Teilnehmer auf circa 1 ½ Stunden. Eine Verdoppelung der Anzahl an Testaufgaben wäre theoretisch, jedoch nicht aus praktischen Gesichtspunkten umsetzbar.

7.4.2 Diskussion der internen Validität

Wie bereits in den Studien Intensitätsmatching und Intensitätsunterschied, wurde auch in dieser Studie eine 3-Alternativen Forced-choice Prozedur verwendet. Auch in dieser Studie können Unzulänglichkeiten in der Aufgabengestaltung nicht gefunden werden. Die Teilnehmer hatten keine Möglichkeit, an Hand der Flaschenform, -farbe oder –beschriftung den Abweichler zu erkennen. Alle Flaschen wurden hinter einem Sichtschutz aufgeschraubt und den Teilnehmern einzeln angereicht. Auch wenn dieser Punkt nicht zusätzlich von den Teilnehmern evaluiert wurde, berichteten dennoch alle Teilnehmer, dass die beiden zu Beginn präsentierten Probedurchgängen hilfreich waren, um sich mit der Aufgabe vertraut zu machen. Da durch diese beiden Probedurchgänge nicht nur Rückfragen geklärt werden konnten, sondern auch der Experimentator die Möglichkeit hatte, die korrekte Durchführung zu kontrollieren und gegebenenfalls Fehler zu korrigieren, wurden auch Fehler in diesem Bereich der Durchführung unterbunden. Zusätzlich wurde den Teilnehmern Rückmeldung gegeben, damit sie die „Single-Sniff"-Technik korrekt ausführten. Weitere Fehler in der Durchführung, die die interne Validität gefährden könnten, wurden nicht gefunden. So wurde der Ablauf vor Beginn der ersten Testung durch den Experimentator mehrfach geübt, so dass die Testung von Seiten des Experimentators routiniert erfolgt. Darüber hinaus wurde bei der Gestaltung der Testung darauf geachtet, dass die Praktikabilität im Vordergrund steht. Dieses Anliegen wurde nicht nur verfolgt, um Bedrohungen der internen Validität reduzieren zu können, sondern auch, um einen Einsatz in der späteren klinischen Anwendung möglich zu machen.

7.4.3 Testgestaltung und Anforderungen der Gütekriterien: Validität

Wie bereits im vorangehenden Abschnitt beschrieben wurde, scheinen die Ergebnisse nicht auf Unzulänglichkeiten in der Versuchsdurchführung zurückzuführen sein. Wie die externe Validität einzuschätzen ist, soll in diesem Abschnitt diskutiert werden.

7.4.3.1 Externe Validität: Verwendung verschiedener Altersklassen

In Bezug auf die Frage nach der Gültigkeit von Ergebnissen spielt insbesondere die untersuchte Stichprobe eine entscheidende Rolle. Wie die Ergebnisse gezeigt haben, hätten bei einer in Bezug auf das Alter homogeneren Stichprobe höhere Werte für Cronbach-Alpha erzielt werden können. Da der zukünftige Diskriminationstest jedoch für verschiedene Altersklassen eingesetzt werden soll und auch für verschiedene Altersklassen Normwerte ermittelt werden sollen, ist es insbesondere für die weitläufige Anwendung des Tests wichtig, dass auch die Testkonstruktion diesen Aspekt berücksichtigt. Während ein Teil der Testaufgaben gut zwischen verschiedenen Altersklassen differenzieren konnte, war dies bei anderen Testaufgaben nicht der Fall. Diese Unterschiede in den Fähigkeiten der Testaufgaben zwischen den verschiedenen Altersklassen zu differenzieren wären nicht ersichtlich geworden, wenn die Altersgrenzen so festgelegt worden wären, dass ältere Teilnehmer von der Teilnahme ausgeschlossen worden wären.

7.4.3.2 Inhaltliche Validität

7.4.3.2.1 Misst der Test die Fähigkeit Gerüche zu unterscheiden?

Die Auswertung der Variablen Entscheidung hatte ergeben, dass die Teilnehmer in erster Linie Qualitätsunterschiede wahrgenommen haben. Dass es zu Interaktionseffekten der Komponenten und dem Entstehen neuer Geruchsqualitäten gekommen sein muss, kann auch an Hand dessen vermutet werden, dass im Vergleich zu der vorangehenden Studie Intensitätsunterscheidung hohe Konzentrationsunterschiede zwischen den beiden Standards und dem Abweichler in einem Mischgeruch gewählt werden mussten, ohne dass jedoch Intensitätsunterschiede berichtet wurden. Dieses Ergebnis deckt sich auch mit den Annahmen von Wilson & Stevenson (2003), die die Hypothese generierten, dass Gerüche im Sinne der Gestaltpsychologie als Ganzes wahrgenommen werden und nicht als die Summe von Teilen. Dass vergleichsweise hohe Konzentrationsunterschiede gewählt werden mussten deckt sich mit den Ergebnissen von Studien, die zu dem Ergebnis kamen, dass die Diskriminationsleistung des

Menschen nicht so gut ausgeprägt ist, wie in den meisten Fällen angenommen wird (Engen, 1970; Laing & Francis, 1989). Laska und Hudson (Laska & Hudson, 1992) untersuchten die Fähigkeit, wie gut identische und unterschiedliche Mischgerüche, mit einer unterschiedlichen Anzahl an Komponenten, als identisch und unterschiedliche klassifiziert werden konnten. Für die Wahrnehmung von Unterschieden wurden die Mischgerüche aus drei Komponenten mit Mischgerüchen aus 2 Komponenten verglichen, sowie Mischgerüche aus sechs Komponenten mit Mischgerüchen aus fünf und drei Komponenten und Mischgerüche aus zwölf Komponenten mit Mischgerüchen aus elf, sechs und drei Komponenten. Es zeigte sich, dass die Leistung der Teilnehmer unerwartet schlecht ausfiel. So wurden nicht nur identische Mischgerüche als unterschiedlich gewertet, sondern auch unterschiedliche Mischgerüche nicht als unterschiedlich erkannt. Selbst wenn in einem Mischgeruch aus drei Komponenten eine Komponente entfernt wurde, wurde dies seltener als erwartet detektiert. Sie erklärten dieses Ergebnis unter anderem damit, dass es sich bei den Mischgerüchen um künstliche Gerüche ohne natürlichen Ursprung handelt, so dass nicht auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden kann. Dass der hier entwickelte Test somit die Fähigkeit Geruchsqualitäten zu unterscheiden misst und nicht die Fähigkeit Geruchsintensitäten zu unterscheiden, kann somit zum einen aus inhaltlichen Gesichtspunkten her angenommen werden.

Sollte in den Ergebnissen von Laska und Hudson (1992) darin die Begründung liegen, dass in künstlichen Mischgerüchen Erfahrungswerte ausgeschlossen werden können, wie es auch Melcher und Schooler bestätigen (1996), wäre dieses Ergebnis für den Diskriminationstest optimal, da in diesem Fall die tatsächliche Diskriminationsleistung erfasst würde ohne die Verzerrung durch verbale oder bildungsabhängige Einflüsse. Der hier entwickelte Test würde folglich die „reine“ Diskriminationsfähigkeit erfassen. Es wäre damit nicht nur die kulturunabhängige Testung möglich, sonder auch die Testung in Hinblick auf eine zwischenartliche Vergleichbarkeit. Obwohl der Mensch im Alltag in erster Linie von Mischgerüchen umgeben ist, scheint die Verwendung von Mischgerüchen, wie sie hier vorgenommen wurde, nicht die „alltägliche“ Diskriminationsfähigkeit abzudecken, wie auch die Verwendung des Terms „künstliche“ Gerüche in den zuvor beschriebene Studien suggeriert. So ist die „alltägliche“ Diskriminationsfähigkeit eng mit Bildungs- und Sprachfähigkeit verknüpft und wird eher mit dem Diskriminationsuntertest aus den Sniffin’Sticks abgedeckt, in dem alltägliche Geruchsstoffe unterschieden werden müssen. Es kann daher vermutet werden, dass die Testung klinischer Patienten Defizite in dem hier entwickelten Test aufzeigt, ohne dass sich diese in dem Diskriminationsuntertest der Sniffin’Sticks zeigen. Um eine Differenzierung der Konstrukte die beide Testserfassen erfassen vornehmen zu können, sollte in einer folgenden Stu-

die die divergente und konvergente Validität erfasst werden. Dass der hier entwickelte Test jedoch die Fähigkeit misst, Gerüche unterscheiden zu können, kann bejaht werden. Als zusätzliche Variable hätte es sich angeboten, ebenfalls ein Maß für die Bekanntheit einzuführen, um den Einfluss der subjektiven Bekanntheit zu untersuchen.

7.4.3.2.2 Bewertung von Gedächtniseffekten

Notwendigerweise erfasst der hier entwickelte Test auch die Fähigkeit, von drei Geruchsstoffen eine mentale Repräsentation zu erstellen und diese mit einander zu vergleichen, was konzeptuell im olfaktorischen Arbeitsgedächtnis angesiedelt werden kann. Diese Fähigkeit ist jedoch auch im Alltag erforderlich, um Gerüche mit einander vergleichen zu können. Gerade damit grenzt sich die Diskriminationsfähigkeit allerdings auch von anderen Geruchsleistungen ab. Sollten Alzheimer- oder Parkinson-typische hirnpathologische Veränderungen nur aus dem Grund einen Einfluss auf die Geruchsleistung besitzen, dass die Pathologien ausschließlich zu sensorischen Defiziten führen, wäre eine Erfassung der Geruchsleistung über einen Wahrnehmungsschwellentest ausreichend. Sollten die veränderten Geruchsleistungen auf der anderen Seite nur an Störungen beispielsweise des Fakten- oder des bibliographischen Gedächtnis gebunden seien, wäre die Testung mit einem sprach- und bildungsabhängigen Identifikationstest ausreichend, der „alltägliche“ Geruchsstoff verwendet. Die Diskriminationsleistung, wie sie in diesem Test gemessen wird stellt damit eine eigenständige Dimension der Geruchswahrnehmung dar. Dass diese an Gedächtnisprozesse gebunden ist, ist ein notwendiger Bestandteil des Konzepts und macht dessen Eigenständigkeit aus.

7.4.3.3 Kriteriums und Konstruktvalidität

Da für die Kriteriumsvalidität kein objektives Außenkriterium definiert werden kann, wurde eine faktorenanalytische Auswertung vorgenommen, um die Konstruktvalidität bestimmen zu können, die jedoch zu keinem zufrieden stellenden Ergebnis führte. Um die Konstruktvalidität weiter eingrenzen zu können, sollen somit in einer Folgestudie die divergente und konvergente Validität bestimmt werden, indem der hier entwickelte Test in Bezug zu den drei bereits etablierten Testverfahren Schwellentest nach Doty (Doty et al., 1984), UPSIT und Sniffin’Sticks (Hummel et al., 1997) gesetzt wird. Dieses Vorgehen entspricht den Beschreibungen von Lienert und Raatz (Lienert & Raatz, 1998), dass es sich bei der Bestimmung der Va-

lidität um einen kontinuierlichen Prozess handelt, der nicht in nur einer Studie zum Abschluss gebracht werden kann. Hierzu zählt auch eine zukünftige Testung klinischer Stichproben.

7.4.3 Testgestaltung und Anforderungen der Gütekriterien: Reliabilität

Die Auswahl der 15 Testaufgaben lehnte sich vor allem daran an, eine maximale Schätzung für die Homogenität des Tests zu erhalten. Die Schätzung für Cronbach-Alpha nimmt den Wert 0,61 an. Dieser Wert ist höher als die für den Diskriminationsuntertest der Sniffin'Sticks angegebene Re-Test-Reliabilität von 0,54. Wie kann diese Homogenitätsschätzung bewertet werden?

Für die Testaufgaben liegt auf Grund der Aufgabengestaltung die Ratewahrscheinlichkeit für eine richtige Antwort bei drei vorgegebenen Antwortmöglichkeiten und einer richtigen Antwort bei 1/3. Trotz dieser hohen Ratewahrscheinlichkeit und der vergleichsweise niedrigen Aufgabeninterkorrelationen kann der hier berechnete Wert als hoch eingeschätzt werden, auch wenn dieser im Vergleich zu den Reliabilitäten von Tests anderer Modalitäten eher am unteren Ende angesiedelt werden könnte. Als ein weiterer Faktor könnten auch die hohen interindividuellen Unterschiede in der Geruchswahrnehmung zu dem Ergebnis beigetragen haben. Im Vergleich zu anderen Modalitäten, wie beispielsweise der visuellen Modalität, ist bei der Geruchswahrnehmung noch nicht einmal die interindividuelle Ausstattung auf Ebene der Rezeptoren gleich. Demnach kann dieses Homogenitätsmaß auch als weitaus bedeutsamer eingestuft werden als die Re-Test-Reliabilität des Diskriminationsuntertests aus den Sniffin'Sticks. So erfolgt die Bestimmung der Reliabilität auf Grund der Ergebnisse auf Ebene der Testaufgaben und nicht nur auf Basis der Gesamtpunktzahl. Ein Einwand könnte dahingehend bestehen, dass die Reliabiltät des UPSIT sehr hoch, obwohl es sich hierbei um einen Geruchstest handelt. Um diesen Wert richtig einordnen zu können, ist auch hier eine genauere Betrachtung des Tests notwendig. Zum einen handelt es sich auch bei dieser Schätzung um ein Re-Test-Maß. Zum anderen erfasst dieser Test nicht nur die Geruchsleistung sondern auch die zu Grunde liegenden sprach- und bildungsbedingten Komponenten. Wenn eine Testperson in einer Testaufgabe mit einem bestimmten Geruchsstoff auf Grund ihrer individuellen Lernerfahrung eine bestimmte Geruchsqualität assoziiert, wird diese Lernerfahrung erneut hinzugezogen, wenn der Geruchsstoff bei einem Re-Test ein weiteres Mal vorgegeben wird. Darüber hinaus kann in Bezug auf die Beantwortung der Testaufgaben im UPSIT nicht von einer lokalen Unkorreliertheit ausgegangen werden. So werden bei verschiedenen Testaufgaben Distraktoren vorgegeben, die bei Testaufgaben die richtige Antwort dargestellt

haben, so dass diese Eigenschaft dazu genutzt werden kann, die Testaufgabe selbst ohne Riechen richtig zu lösen, wenn eine Testperson richtiger Weise die Hypothese generiert hat, dass jede Geruchsqualität nur einmal präsentiert wird. Letzten Endes muss ebenfalls in Bezug auf die Distraktoren berücksichtigt werden, dass bei der Auswahl der vorgegebenen Gerüche nicht ähnliche Gerüche vorgegeben werden (wie beispielsweise „Himbeere“, „Kirsche“, „Blaubeere“ und „Erdbeere“), sondern vollständig verschiedene (wie beispielsweise „Benzin“, „Pizza“, Erdnuss“ und „Flieder“). Aus diesem Grund kann die Reliabilität des hier konstruierten Tests als zufrieden stellend bewertet werden. Letzten Endes sollte auch die Reliabilitätsbestimmung nicht nur mit einem einzigen Schätzer erfolgen (Lienert & Raatz, 1998).

7.4.4 Testgestaltung und Anforderungen der Gütekriterien: Weitere Gütekriterien

Wie im Abschnitt 7.1.4 bereits beschrieben wurde, werden verschiedene Gütekriterien, wie die Ökonomie durch die Aufgabengestaltung per se erfüllt. Die weitere Spezifizierung von Validität und Reliabiltät müssen in einer Folgestudie weiter erfolgen. Andere Gütekriterien, wie die Schaffung von Normwerten können erst dann erfolgen, wenn Reliabiltät und Validität spezifiziert sind.

7.4.5 Anpassung der Abweichler

Wenn die 15 Testaufgaben in dem endgültigen Test in der Form verwendet werden würden, wie sie in dieser Studie verwendet worden, wäre der Abweichler sechs Mal an erster, drei Mal an zweiter und sechs Mal an dritter Position zu finden. Aus diesem Grund wurden randomisiert bei einer Testaufgabe mit einem Abweichler an erster Position (Testaufgabe 30) und einer Testaufgabe mit einem Abweichler an dritter Position (Testaufgabe 12) die Abweichler auf die mittlere Position gesetzt, so dass jede Position bei den 15 Testaufgaben gleich häufig zu finden ist.

7.4.6 Zusammenfassung

Diese Studie diente dazu, eine Auswahl von 15 Testaufgaben aus einem Aufgabenpool von insgesamt 90 möglichen Testaufgaben zu treffen, mit denen sich ein den Gütekriterien entsprechender optimaler Test konstruieren lässt. Die Auswahl der 15 Testaufgaben führte zu einer zufrieden stellenden Schätzung für die Reliabiltät, jedoch konnte die Frage nach der

Güte der Validität nicht zufrieden stellend geklärt werden. Trotz alledem handelt es sich bei dem bis zu diesem Zeitpunkt entwickelten Test um den ersten Geruchstest, bei dem die Veränderung der Geruchsqualität objektiv erfasst werden kann und der von der ersten Phase, der Auswahl der Geruchsstoffe bis zur aktuellen Phase, der Auswahl von Testaufgaben systematisch entwickelt wurde.

7.4.7 Ausblick

Wie bereits im Abschnitt 7.4.3 diskutiert wurde, ist die Begründung der Validität nur aus inhaltlichen Überlegungen heraus möglich, ein Vorgehen, dass in dieser Studie insbesondere in Bezug auf die Testbatterie Sniffin'Sticks kritisch betrachtet wurde. In einer folgenden Studie gilt es folglich, die Frage der Validität weiter zu erörtern. Dies wird über die Bestimmung der divergenten und konvergenten Validität erfolgen. Auch die Re-Test-Reliabilität wird in einer Folgestudie bestimmt werden, um einen Vergleich mit den anderen Testverfahren zu erlauben, bei denen dieses Gütekriterium das einzige ist, das berichtet wird.

8. Studie 6: Testvalidierung, Re-Test-Reliabilität und Paralleltest-entwicklung

8.1 Theoretischer Hintergrund

Nachdem die vorangehende Studie Testkonstruktion einerseits zu einer zufrieden stellende Reliabilitätsschätzung geführt hatte und im Rahmen der Konstruktvalidität mit den ausgewählten Testaufgaben unterschiede zwischen verschiedenen Altersgruppen aufzeigen konnte, führte die Auswertung der faktoriellen Validität zu keinem befriedigenden Ergebnis, auch wenn alle Testaufgaben positive Korrelationen mit dem ersten Faktor aufwiesen. Aus diesem Grund diente diese Studie dazu, die divergente und konvergente Validität des Diskriminationstest zu ermitteln. Nach Lienert und Raatz (Lienert & Raatz, 1998) kann die Validität nicht in einer einzigen Studie und mit einem einzigen Maß bestimmt werden. Ferner handelt es sich bei der Bestimmung der Validität um einen kontinuierlichen Prozess, der somit in dieser Studie um ein zusätzliches Element erweitert werden soll. Hierfür wurden die Zusammenhänge zwischen dem neu entwickelten Diskriminationstest, dem Schwellentest nach Doty für den Geruchsstoff Phenyl-Ethanol, dem Diskriminationsuntertest der Sniffin'Sticks und dem University of Pennsylvania Smell Identification Test ermittelt. Um eine weitere Reliabilitätsschätzung für den Diskriminationstest zu erhalten wurde ebenfalls die Re-Test-Reliabilität bestimmt, die auch einen Vergleich mit den Angaben für die Re-Test-Reliabilität des Diskriminationsuntertests aus den Sniffin'Sticks und dem UPSIT erlaubt. Des Weiteren wurde in dieser Studie untersucht, ob der Einsatz gespiegelter Testaufgaben des Diskriminationstests für eine Paralleltestversion geeignet ist.

8.1.1 Divergente und konvergente Validität

Die Validität eines Tests kann ebenfalls über die divergente und konvergente Validität geschätzt werden. So sollte ein Test mit anderen Tests korrelieren, die vorgeben, das gleiche oder ein ähnliches Konzept zu messen (konvergente Validität) und Nullkorrelationen zu den Test aufweisen, die ein anderes Konzept erfassen (divergente Validität). Auch wenn es sich bei der Geruchswahrnehmung um ein multidimensionales Konzept handelt, gibt es Überschneidungen zwischen den Testverfahren, welche Fähigkeiten notwendig sind. In einer Studie von Doty und Mitarbeiter (Doty, Smith, McKeown und Ray, 1994) wurden die Ergebnisse von neun Geruchstests faktorenanalytisch ausgewertet, darunter auch der UPSIT und der Schwellentest nach Doty. Inhaltlich wurden Faktoren wie beispielsweise die geruchliche Sen-

sitivität oder das Geruchsgedächtnis extrahiert, die je nach Testverfahren einen unterschiedlich großen Anteil an der Leistung in den jeweiligen Testverfahren besitzen. Demnach ist es nicht trivial Vorhersagen zu treffen, welche Zusammenhänge sich zwischen den vier hier untersuchten Testverfahren zeigen würden. Erst die post-hoc Auswertung der Daten kann zeigen, welche Testverfahren gemeinsame geruchliche Fähigkeiten erfassen und wie folglich die divergente und konvergente Validität des Diskriminationstests eingeschätzt werden kann. Wenn verschiedene Geruchstests unterschiedliche Konzepte die sie erfassen teilen, wäre eine Nullkorrelation zwischen dem Diskriminationstest und den übrigen drei Testverfahren jedoch ungewöhnlich.

8.1.2 Re-Test-Reliabilität

Bei der Re-Test-Reliabilität wird die Korrelation zwischen der zweimaligen Vorgabe des gleichen Tests bestimmt, um eine Schätzung für seine Reliabiltät zu erhalten. Außer für den UPSIT, bei dem neben der Re-Test-Reliabilität auch die Homogenität geschätzt wurde, werden bei den anderen beiden Geruchstests, dem Schwellentest nach Doty (Doty et al., 1984) und dem Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks (Hummel et al., 1997) nur die Re-Test-Reliabilitäten für die Schätzung der Reliabiltät angegeben. Die Re-Test-Reliabilitäten dieser Testverfahren liegen bei 0,92 für den UPSIT, 0,88 für den Schwellentest und 0,54 für den Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks. Die Schätzungen für diese bereits etablierten Geruchstests können somit als Richtwerte genommen werden, um die Re-Test-Reliabilität des neu entwickelten Diskriminationstest, die in dieser Studie ebenfalls ermittelt werden sollte, einschätzen zu können.

8.1.3 Paralleltestentwicklung

Da bei mehrfacher Vorgabe des gleichen Messinstruments streng genommen nicht mehr von Unabhängigkeit zwischen den Messungen ausgegangen werden kann, stellt der Einsatz eines Paralleltests eine besser geeignete Alternative dar, um ein Merkmal bei einer Person mehrfach zu messen. Durch die Möglichkeit des Testaufbaus gespiegelte Testaufgaben zu konstruieren (vgl. Abschnitt 7.2.3.2.2) kann vermutet werden, dass zwei zu einander gespiegelte Testaufgaben auch das gleiche Konstrukt messen und sich eine Testversion, die die gespiegelten Testaufgaben der ursprünglichen Version beinhaltet, zu der ursprünglichen Testversion parallel verhält. Sollte dies möglich sein, wäre der hier entwickelte Diskriminationstest der erste

Geruchstest, der auch über eine parallele Testversion verfügt. Folglich sollte dieser Aspekt an dieser Studie ebenfalls untersucht werden.

8.1.4 Eingesetzte Testverfahren

Um möglichst aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, ist es empfehlenswert, bereits etablierte Testverfahren vergleichend einzusetzen und bei der Auswahl der Testverfahren darauf zu achten, dass sie die verschiedenen Dimensionen der Geruchswahrnehmung abdecken. Hierzu zählen die Wahrnehmungsschwelle, die Identifikationsleistung und die Diskriminationsleistung (Doty & Laing, 2003). Neben dem in der vorherigen Studie entwickelten Diskriminationstest wurden folglich drei weitere Testverfahren eingesetzt, der Schwellentest nach Doty (Doty et al., 1984), der University of Pennsylvania Smell Identification Test (Doty, et al., 1984) und der Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks (Hummel, et al., 1997).

8.1.5 Fragestellung

Es wurden drei Fragestellungen untersucht. Eine Fragestellung dieser Studie lautete, wie die diskriminante und konvergente Validität des Diskriminationstests im Vergleich zu drei bereits etablierten Testverfahren zur Erfassung der geruchlichen Leistungsfähigkeit eingeschätzt werden kann. Als zweite Fragestellung sollte die Re-Test-Reliabilität des neu entwickelten Diskriminationstest untersucht werden. Damit ist auch ein Vergleich der Reliabilität des Diskriminationstests insbesondere in Bezug auf den Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks möglich. Als dritte Fragestellung sollte untersucht werden, ob sich mit den gespiegelten Testaufgaben (Vergleich Abschnitt 7.2.3.2.2) eine parallele Testversion generieren lässt.

8.2 Methoden

In dem folgenden Abschnitt wird der methodische Aufbau der Studie beschrieben. Auch diese Studie erhielt ein positives Ethikvotum der DGPs. Da drei verschiedene Fragestellungen untersucht wurden, werden in drei Unterabschnitten die Aufgaben, Testverfahren, Materialen und Designs der als separat gewerteten Studienteile beschrieben, die für die Realisierung der jeweiligen Fragestellung notwendig waren.

8.2.1 Stichprobe

Die Studie wurde vom 19.04.2008 bis zum 14.08.2008 mit 104 Teilnehmern durchgeführt Die Teilnehmer waren zwischen 19 und 37 Jahren alt (M: 23,5 SD: 3,7). Der Faktor Geschlecht wurde balanciert. Das Alter unterschied sich zwischen weiblichen (M: 23,2, SD: 3,3) und männlichen Teilnehmern (M: 24,6, SD: 3,2) dahingehend, dass weibliche Teilnehmer jünger waren (t_{102} = 2,22, p = 0,029). Alle Teilnehmer unterzeichneten eine schriftliche Erklärung (Anhang A11), dass keines der festgelegten Ausschlusskriterien auf sie zutraf. Hierzu zählten Alzheimer-Demenz, Parkinson-Erkrankung, Depression, Schizophrenie, Essstörungen, Epilepsie, Korsakow-Syndrom, Chorea-Huntington, Schädel-Hirn-Trauma, Multiple-Sklerose, HIV, neurochirurgische Eingriffe, Stoffwechselstörungen, Riechstörungen, Erkrankungen der Nase oder des oberen Respirationstrakts, grippale Infekt, akute Allergien, chirurgische Eingriffe im Bereich der Nase, regelmäßige Medikamenteneinnahme, Drogenkonsum, hormonelle Erkrankungen, chronische Erkrankungen und Behinderungen. Raucher, dass heißt Personen, die mehr als sieben Zigaretten pro Woche rauchen wurden von der Teilnahme ebenfalls ausgeschlossen. Da die Ausschlusskriterien den Teilnehmern zusammen mit Allgemeinen Informationen zu der Studie (Anhang A12) bereits im Rahmen der Rekrutierung ausgehändigt wurden, hatten sich auch nur die Interessenten für eine Teilnahme gemeldet, auf die die Ausschlusskriterien nicht zutrafen. Die Rekrutierung der Teilnehmer erfolgte in erster Linie über Aushänge in der Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf. Die Teilnahme umfasste zwei Sitzungen, die insgesamt 1 ½ bis 2 Stunden dauerten. Für die Teilnahme an beiden Sitzungen dieser Studie erhielten die Teilnehmer 20 Euro als Aufwandsentschädigung. Wahlweise erhielten Studierende des Studienfachs Psychologie Versuchspersonenstunden gutgeschrieben. Die Teilnahme erfolgte freiwillig. Alle Teilnehmer unterzeichneten eine Einverständniserklärung (Anhang A13).

8.2.2 Testvalidierung

Für die Testvalidierung bestand die Aufgabe der Teilnehmer darin alle vier Testverfahren, den Diskriminationstest, den Phenyl-Ethanol-Schwellentest, den UPSIT und den Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks zu absolvieren.

8.2.2.1 Aufgaben und eingesetzte Testverfahren

8.2.2.1.1 Phenyl-Ethanol-Schwellentest

Wie bereits beschrieben wurde, dient der Phenyl-Ethanol-Schwellentest dazu, die absolute Sensitivität der Teilnehmer für den Geruchsstoff Phenyl-Ethanol zu bestimmen

Aufgabe

In diesem Testverfahren werden sieben Wahrnehmungsschwellen bestimmt. In verschiedenen Durchgängen muss der Teilnehmer immer eine von zwei vorgegeben Geruchsproben auswählen, die stärker riecht.

Durchführung

Für den Schwellentest werden insgesamt 16 verschiedene Konzentrationsstufen verwendet. In einer Geruchsprobe befindet sich immer Phenyl-Ethanol in unterschiedlichen Konzentrationsstufen und in der anderen Geruchsprobe das fast geruchsneutrale Verdünnungsmittel, mit dem das Phenyl-Ethanol in den anderen Geruchsproben verdünnt wird. Zunächst wird ausgehend von einer niedrigen Konzentration die Konzentration sukzessive erhöht, bis die Teilnehmer fünf Mal hintereinander auf einer Konzentrationsstufe die Geruchsprobe mit Phenyl-Ethanol richtig detektiert haben. Diese Konzentrationsstufe markiert den ersten Wendepunkt. Von dort an werden die Konzentrationen wieder sukzessive verringert, bis die Teilnehmer einen Fehler machen. Diese Konzentrationsstufe markiert den zweiten Wendenpunkt. Anschließend werden die Konzentrationen für die Bestimmung des dritten Wendepunkts wieder sukzessive erhöht, bis eine Konzentrationsstufe wieder zwei Mal hintereinander richtig detektiert wird. Die Wendepunkte vier und sechs werden auf die gleiche Weise bestimmt wie der zweite Wendepunkt und die Wendepunkte fünf und sieben wie der dritte Wendenpunkt. Werden für den siebten Wendepunkt zwei Mal hintereinander richtige Antworten gegeben, ist die Prozedur des Tests beendet. Es gibt dabei zwei Sonderregelungen. Der Test wird ebenfalls beendet, wenn insgesamt fünf Mal die niedrigste Konzentrationsstufe nicht erkannt wird, oder fünf Mal hintereinander die höchste Konzentrationsstufe richtig erkannt wird.

Auswertung

Im Rahmen der Auswertung werden die ersten drei Schwellen als Übungsdurchgänge für die Teilnehmer gewertet und somit verworfen. Aus den letzten vier Wendepunkten wird durch Bildung des Mittelwerts eine gemeinsame Schwelle berechnet. Wurde der Test auf Grund der Sonderregelungen frühzeitig beendet, besteht auch für die Schwellenbestimmung eine Ausnahmeregelung. Für den Fall, dass fünf Mal hintereinander die niedrigste Konzentrationsstufe richtig erkannt wurde, erhält der Teilnehmer den Wert der höchsten Konzentrationsstufe als Schwelle, wenn der Test bei der Bestimmung des zweiten oder vierten Wendepunkts beendet wurde. Wurde der Test erst bei der Bestimmung des sechsten Wendepunkts frühzeitig beendet, wird für die Schwelle der Mittelwert aus den Konzentrationsstufen für die Wendepunkte vier, fünf und sechs gebildet. Für den anderen Fall, dass fünf Mal insgesamt die höchste Konzentrationsstufe nicht erkannt wurde, wird als Schwelle die die Schwelle „0“ angegeben, wenn der Test bei der Bestimmung des ersten oder dritten Wendepunkts beendet werden muss. Muss der Test bei der Bestimmung des fünften Wendepunkts auf diese Weise beendet werden, wird für die Schwelle der Mittelwert aus den Konzentrationsstufen der Wendepunkte vier und fünf gebildet. Für den fünften Wendepunkt wird ebenfalls der Wert „0“ gewählt. Wird die niedrigste Konzentrationsstufe erst bei der Bestimmung des siebten Wendepunkts zum fünften Mal insgesamt nicht richtig erkannt, wird die Schwelle aus den letzen vier Wendepunkten durch Mittelwertsbildung bestimmt, wobei für den siebten Wendepunkt ebenfalls der Wert „0“ gewählt werden muss.

Konzentrationsstufen

Für die Konzentrationsstufe „1“ wird die höchste Konzentration gewählt, für die Konzentrationsstufe „16“ die niedrigste. In der Konzentrationsstufe „1“ befindet sich Phenyl-Ethanol in einer Konzentration von 1:2. In der Konzentrationsstufe „2“ beträgt die Konzentration 1:6,3. Für alle ungeraden Konzentrationsstufen nimmt die Konzentration jeweils um einen ganze Zahl zum Zehner-Logarithmus ab, ausgehend von der Konzentration in der Konzentrationsstufe „1“. Für alle geraden Konzentrationsstufen nimmt die Konzentration auf die gleiche Weise ab, wobei die Konzentrationsstufe „2“ die Ausgangsbasis für die Abnahme darstellt. Die Testung und die Bestimmung des ersten Wendepunkts beginnt mit der Konzentrationsstufen 12. Bis eine Konzentrationsstufe fünf Mal hintereinander richtige erkannt wird, wird bei jedem Fehler eine niedrigere Konzentrationsstufe ausgewählt, wobei jeweils eine zwei Stufen niedrigere Konzentrationsstufe ausgewählt wählt. Für alle weiteren Wendepunkte wird jeweils die nächst höhere oder niedrigere Konzentrationsstufe gewählt.

Für die Vergleichsgeruchsproben, die nur das geruchsneutrale Lösungsmittel enthielten, wurden vier verschiedene Geruchsproben verwendet, um ausschließen zu können, dass die Teilnehmer die Vergleichsgeruchsprobe an anderen Merkmalen, wie beispielsweise der Flaschenfarbe erkennen. Die Vergleichsgeruchsproben wurden zwischen den Durchgängen immer gewechselt.

Geruchspräsentation

Für die Geruchsproben wurden 50ml Schott-Duran Braunglasflaschen verwendet. In jeder befand sich 6,5 ml des Geruchsstoffs, beziehungsweise des geruchsneutralen Lösungsmittels. Pro Durchgang wurden die beiden Geruchsproben den Teilnehmern nacheinander präsentiert. Zunächst wurde eine Flasche vor den Teilnehmern auf den Tisch gestellt. Nachdem an dieser gerochen wurde, wurde sie wieder entfernt und die andere Flasche vor den Teilnehmer zum Riechen auf den Tisch gestellt. Es gab keine vorgeschriebene Riechtechnik- und Dauer. Die Flaschen mussten zum Riechen von den Teilnehmern an die Nase geführt werden. Dennoch durfte an jeder Geruchsprobe nur einmal gerochen werden. Nachdem ein Teilnehmer an beiden Geruchsproben gerochen hatte, musste eine Geruchsprobe ausgewählt werden, die entsprechend der subjektiven Wahrnehmung des Teilnehmers als intensiver riechend wahrgenommen wurde. Die Teilnehmer wurden darauf hingewiesen, die Flaschen aus hygienischen Gründen nicht mit der Nase zu berühren. Des Weiteren wurden sie instruiert, die Flaschen nur mit dem Daumen und dem Zeigefinger zu greifen, damit sich die Flaschen nicht aufwärmen und Temperaturunterschiede zwischen den Flaschen einen Hinweis auf deren Inhalt geben kann.

8.2.2.1.2 Diskriminationstest

Aufgabe

Es werden in jeder der 15 Testaufgaben drei Geruchsproben vorgegeben. In zwei Geruchsproben befindet sich jeweils der identische Mischgeruch. In der dritten Geruchsprobe befindet sich der gleiche Mischgeruch, jedoch mit einem anderen Mischungsverhältnis der in ihm enthaltenen Komponenten. Die Aufgabe der Teilnehmer besteht darin, den Abweichler zu detektieren.

Durchführung

Zu Beginn erhalten die Teilnehmer zwei Probedurchgänge. Die 15 Testaufgaben werden anschließend nach einander durchlaufen. Das Zwischen-Stimulus-Intervall in den Testaufgaben beträgt mindestens sechs Sekunden. Das Zwischen-Durchgangs-Intervall beträgt mindestens 30 Sekunden. Die Teilnehmer riechen nacheinander an den drei Geruchsproben einer Testaufgabe und müssen anschließend in einer 3-Alternativen Forced-Choice-Prozedur eine der vorgegebenen Geruchsproben als Abweichler auswählen. Ein ausführliches Protokoll in dem die Durchführung beschrieben ist befindet sich im Anhang …

Auswertung

Richtige Antworten werden mit einem Punkt bewertet und zu einer Gesamtpunktzahl addiert. Die Gesamtpunktzahl kann damit Werte zwischen 0 und 15 Punkten annehmen.

Zusammensetzung der Mischgerüche

Die Zusammensetzung der Mischgerüche entspricht exakt der Zusammensetzung der Mischgerüche in den Testaufgaben der vorangehenden Studie für die in dieser Studie ausgewählten 15 Testaufgaben. Ein ausführliches Protokoll, wie der Diskriminationstest angesetzt werden muss, liefert die Anleitung im Anhang (A 14).

Geruchspräsentation

Die Geruchsstoffe wurden jeweils in 100ml Schott-Duran-Weithalsflaschen präsentiert. Wie die Mischgerüche genau präsentiert wurden kann dem Abschnitt 7.2.3.3.1 der vorangehenden Studie entnommen werden.

8.2.2.1.3 Sniffin'Sticks – Diskriminationsuntertest

Aufgabe

Die Teilnehmer durchlaufen 16 Testaufgaben. Pro Testaufgabe werden drei Geruchsproben präsentiert. Zwei Geruchsproben sind identisch, während eine unterschiedlich riecht. Die Aufgabe der Teilnehmer besteht auch hierbei darin, den Abweichler zu detektieren.

Durchführung

Die Testaufgaben werden in der durch die Nummerierung der Testaufgaben vorgegeben Reihenfolge durchlaufen. Die Geruchsproben in den Testaufgaben müssen so präsentiert werden, dass die Position des Abweichlers einem wiederkehrenden Muster folgt. Ausgehend von der

Testaufgabe mit der Nummer 1 befindet sich der Abweichler zuerst an der mittleren Position, im folgenden Testaufgabe an der letzten Position und an erster Position in der darauf folgenden Testaufgabe. Für die Riechdauer und die Riechtechnik gibt es keine Vorgaben. Um den Testablauf möglichst vergleichbar zu dem des Diskriminationstests zu halten, wurde in dieser Studie das Zwischen-Stimulus-Intervall, das heißt das Intervall zwischen der Präsentation von zwei Geruchsproben auf mindestens sechs Sekunden angepasst, was dem des Diskriminationstest entspricht. Das Zwischen-Durchgangs-Intervall, das heißt das Intervall zwischen dem Riechen an der letzten Geruchsprobe einer Testaufgabe und dem Riechen an der ersten Geruchsprobe der folgenden Testaufgaben wurde auf mindestens 30 Sekunden angepasst. Nachdem die Teilnehmer an allen drei Stiften einer Testaufgabe gerochen haben müssen sie in einer 3-Alternativen Forced-Choice-Prozedur einen der Stifte als Abweichler auswählen.

Auswertung

Auch in diesem Testverfahren wird für jedes Testaufgabe ein Punkt vergeben, wenn der Abweichler richtig detektiert wurde. Die Gesamtpunktzahl kann folglich zwischen 0 und 16 Punkten liegen.

Duftqualitäten

Tabelle 8-1 zeigt eine Übersicht über die Duftqualitäten in den Testaufgaben. Da die verwendeten Geruchsstoffe nicht angegeben werden, umfasst die Beschreibung der Duftqualitäten die Eindrücke des Studienleiters.

Geruchspräsentation

Die Geruchsstoffe sind jeweils in Filzstiften eingeschlossen. Für die Geruchspräsentation wird der Stift von dem Experimentator den Teilnehmern dicht unter die Nase gehalten, so dass diese an der Stiftspitze riechen können.

8.2.2.1.4 UPSIT – Identifikationstest

Aufgabe

In diesem Identifikationstest bestand die Aufgabe der Teilnehmer darin, in insgesamt 40 Testaufgaben einen vorgegeben Geruchsstoff zu identifizieren. Die Teilnehmer mussten sich hierbei für eine von jeweils vier vorgegeben Antwortalternativen entscheiden.

Tabelle 8-1: *Duftqualitäten der Testaufgaben in dem Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks.*

Testaufgabe	Standard	Abweichler
1	Honig/nussig	Orange/salzig
2	Süßlich	Klebstoff /schweißig
3	Lakritz	Klebstoff
4	Nelke	Lakritz
5	Orange/stechend	Geranie
6	Klebstoff	Heu/bitter
7	Minze	Apfelsine
8	Zahnarzt-Abformmasse	Zahnpasta
9	Orange/salzig	Metallisch
10	Hustensaft/Arzneimittel	süßlich
11	Geranie	Zahnarzt-Abformmasse
12	Menthol/Gras	Süßlich/schweißig
13	Süßlich/blumig	Orange/stechend
14	Metall	Knoblauch/süßlich
15	Cola/Kaugummi	Nelke
16	Süßlich/blumig	Menthol

Anmerkungen. Es wurde versucht die Duftqualitäten in den Sniffin'Sticks so gut wie möglich zu beschreiben. Das Ziel dieser Beschreibung besteht darin, einen Eindruck der Duftqualitäten zu vermitteln.

Durchführung

Die Teilnehmer durchlaufen alle 40 Testaufgaben in der durch die Nummerierung der Testaufgaben vorgesehenen Reihenfolge. Die Riechtechnik sowie die zeitlichen Intervalle sind nicht vorgeschrieben. Nachdem ein Teilnehmer an dem Geruchsstoff einer Testaufgabe gerochen hat, muss er in einer 4-Alternativen Forced-Choice-Prozedur eine der vorgegeben Antwortalternativen, die die Geruchsqualität am besten beschreibt auswählen.

Auswertung

Auch in diesem Testverfahren wird für jedes Testaufgabe ein Punkt vergeben, wenn der vorgegebene Geruchsstoff richtig identifiziert wurde. Die Gesamtpunktzahl kann Werte zwischen 0 und 40 annehmen.

Duftqualitäten

Tabelle 8-2 zeigt eine Übersicht über die vorgegeben Duftqualitäten.

Tabelle 8-2: *Duftqualitäten in den Testaufgaben des UPSIT.*

Testaufgabe	Duftqualität	Testaufgabe	Duftqualität
1	Pizza	**21**	Flieder
2	Kaugummi	**22**	Terpentin
3	Menthol	**23**	Pfirsich
4	Künstliche Kirsche	**24**	Autoreifen
5	Motoröl	**25**	Dillgurke
6	Pfefferminz	**26**	Ananas
7	Banane	**27**	Himbeere
8	Nelke	**28**	Apfelsine
9	Leder	**29**	Walnuss
10	Kokosnuss	**30**	Wassermelone
11	Zwiebel	**31**	Lackverdünner
12	Früchtebonbon	**32**	Gras
13	Babypuder	**33**	Rauch
14	Käse	**34**	Fichte
15	Zimt	**35**	Künstl. Weintraube
16	Benzin	**36**	Zitrone
17	Erdbeere	**37**	Seife
18	Zedernholz	**38**	Stadtgas
19	Schokolade	**39**	Rose
20	Apfel	**40**	Erdnuss

Geruchspräsentation

Für die Geruchspräsentation werden vier Testhefte verwendet, die je zehn Testaufgaben beinhalten. Auf jeder Seite des Testhefts befindet sich ein brauner Aufkleber, in dem in Mikrokapseln der Geruchsstoff eingeschlossen ist. Durch Kratzen mit einem der mitgelieferten Bleistifte auf diesem Aufkleber wird der Geruchsstoff freigesetzt. Die Teilnehmer können anschließend das Testheft unter die Nase führen und an dem Aufkleber riechen. Neben den vier Antwortalternativen, die auf jeder Seite eine Testaufgabe vorgegeben sind befinden sich Felder, auf denen die Antwort vom Teilnehmer angekreuzt werden kann. Auf Grund dessen,

dass sich in zuvor durchgeführten Testdurchläufen gezeigt hatte, dass die Testhefte nach einmaliger Benutzung noch ein zweites Mal verwendet werden können, wurden die Teilnehmer instruiert, ihre Antworten nicht anzukreuzen, sondern die Antwortalternative dem Experimentator zu nennen. Dieser notierte die Antwort dann auf einem separaten Testprotokoll. Da es keine Zeitvorgaben für dieses Testverfahren gibt, konnten die Teilnehmer bestimmen, wie viel Zeit sie für die Beantwortung jedes Testaufgaben benötigen.

8.2.2.2 Weiteres Versuchsmaterial

Neben den eingesetzten Testverfahren wurden ebenfalls Protokollbögen und Teilnehmerbögen für diese Studie verwendet.

8.2.2.2.1 Protokollbögen

Für jeden der im vorangehenden Abschnitt beschriebenen Geruchstests wurde ein eigener Protokollbogen verwendet.

Phenyl-Ethanol-Schwellentest

Das Testprotokoll erlaubt es, die gesamte Schwellenbestimmung auf einem DIN-A4-Bogen zu erfassen. Das Testprotokoll ist im Anhang A15 abgebildet. Jeder Wendepunkt wird spaltenweise bestimmt. Oberhalb jeder Spalte gibt jeweils ein Pfeil an, ob die Schwelle aufsteigend oder absteigend bestimmt werden muss. Ebenfalls oberhalb jeder Spalte befinden sich die Anweisungen, wie weiter verfahren werden muss, wenn ein Teilnehmer eine richtige oder eine falsche Antwort gibt. Pfeile zwischen den Spalten zeigen auf, mit welcher Konzentrationsstufe weiter verfahren werden muss, wenn ein Wendepunkt erreicht wurde. Auch die Sonderregelungen sind auf dem Testprotokoll erfasst.

Diskriminationstest

Für jede Testaufgabe war angegeben, in welcher Reihenfolge die drei Geruchsproben präsentiert werden mussten. Die Antwort des Teilnehmers konnte angekreuzt werden. Das Testprotokoll ist im Anhang A16 abgebildet.

Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks

Das Testprotokoll ist im Anhang A17 abgebildet. Für jede Testaufgabe war die Reihenfolge in der die Stifte präsentiert werden mussten entsprechend der farblichen Markierungen der Stifte vorgegeben. Die Antwort des Teilnehmers konnte auf dem Testprotokoll angekreuzt werden.

UPSIT-Identifikationstest

Auf dem Testprotokoll waren in vier Blöcken, entsprechend der Aufteilung der 40 Testaufgaben auf vier Testhefte, jeweils zehn Testaufgaben aufgelistet. Für jede Testaufgabe waren die vier Antwortalternativen angegeben. Die richtige Antwort war grau hinterlegt. Die Antwort des Teilnehmers konnte angekreuzt werden (Anhang A 18).

8.2.2.2.2 Teilnehmerbögen

Neben den zuvor beschriebenen Testprotokollen wurde auch ein Teilnehmerbogen verwendet, auf dem allgemeine Informationen zum Versuch, wie das Datum beider Testtage und die Uhrzeiten sowie die Raumtemperaturen für Testungsbeginn und –ende notiert werden konnten (Anhang A19). Bei weiblichen Teilnehmern konnte ebenfalls vermerkt werden, ob sie orale Kontrazeptiva einnehmen. Darüber hinaus beinhaltete jeder Teilnehmerbogen eine Übersicht über alle durchgeführten Testverfahren, in der die Gesamtpunktzahlen der Testverfahren, beziehungsweise die erreichte Schwelle für den Phenyl-Ethanol-Schwellentest sowie Auffälligkeiten während der Testung notiert werden konnten.

8.2.2.3 Design der Testvalidierung

8.2.2.3.1 Unabhängige Variablen

Phenyl-Ethanol-Schwellentest

Als unabhängige Variable im Schwellentest wurde für jeden Wendepunkt die Variable „Stimuluskonzentration" mit den 16 verschiedenen Konzentrationsstufen variiert.

Diskriminationstest

Da ebenfalls eine Analyse auf Ebene der Testaufgaben erfolgen sollte und nicht nur eine Beurteilung des Gesamtpunktwerts wurde für jede Testaufgabe die unabhängige Variable „Stimulus" mit den beiden Stufen „Standard" und „Abweichler" variiert, das heißt, ob den Teilnehmern in einer Aufgabe einer der beiden Standards oder der Abweichler präsentiert wird.

Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks

Auch in dem Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks sollte eine Analyse der Testaufgaben durchgeführt werden und nicht nur eine Analyse der Gesamtpunktzahl. Es wurde folglich für jede Testaufgabe die Variable „Geruchsstift" mit den beiden Stufen „Standard" oder „Abweichler" variiert, je nachdem ob den Teilnehmern einer der beiden Stifte mit dem Standardgeruch oder der Stift mit dem abweichenden Geruch präsentiert wurde.

UPSIT

Da auch für den UPSIT eine Analyse der Testaufgaben durchgeführt werden sollte, wurde die unabhängige Variable „Identifikation" mit den beiden Stufen „Distraktor" und „Zielstimulus" variiert in Bezug auf die Präsentation der drei Distraktoren und des Zielstimulus in den Testheften des Tests.

Reihenfolge der Testverfahren

Eine experimentelle Manipulation wurde in Bezug auf die Reihenfolge der Testverfahren durchgeführt. Als erstes Testverfahren wurde allen Teilnehmern der Schwellentest präsentiert. Dieses Testverfahren erfordert die höchste geruchliche Sensitivität. Würde der Schwellentest zu einem anderen Zeitpunkt im Studienablauf durchlaufen werden, könnten Ermüdungseffekte oder eine Abnahme der geruchlichen Sensitivität die interne Validität gefährden. Dieses Testverfahren benötigt scheint von allen hier durchgeführten Testverfahren das robusteste zu sein. Als letztes der vier Testverfahren wurde immer der UPSIT präsentiert. So sind alle Geruchsstoff deutlich überschwellig und folglich weniger anfällig für eine Abnahme der geruchlichen Sensitivität der Teilnehmer. An Position zwei und drei des Ablaufs der Studie wurden der Diskriminationstest und der Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks präsentiert. Da Transfereffekte zwischen beiden Testverfahren entstehen könnten wurde die unabhängige Variable „Reihenfolge der Testverfahren" mit den beiden Stufen „Diskriminationstest/Sniffin'Sticks" und „Sniffin'Sticks/Diskriminationstest variiert, je nachdem welches der beiden Testverfahren an zweiter oder dritter Position präsentiert wurde. Die Häufigkeiten, wie häufig beide Stufen auftreten wurde balanciert.

8.2.2.3.2 Abhängige Variablen

Phenyl-Ethanol-Schwellentest

Als abhängige Variable für den Phenyl-Ethanol-Schwellentest wurde die intervallskalierte Variable „Schwelle" für die resultierende Gesamtschwelle eines Teilnehmers bestimmt. Sie

konnte Werte zwischen „0“ und „16“ annehmen. Je niedriger der Wert eines Teilnehmers ist, desto niedriger ist auch die geruchliche Sensitivität und desto höher die Wahrnehmungsschwelle.

Diskriminationstest

Für den Diskriminationstest wurde für jede Testaufgabe erfasst, ob der Abweichler richtig erkannt wurde oder nicht. Die entsprechenden abhängigen Variablen wurden mit DT_x gekennzeichnet, wobei die Testaufgabenummer, die einen Wert zwischen 1 und 15 annehmen konnte im Index vermerkt wurde. Alle Variablen waren binär und besaßen die gleiche Skalierung. So wurden falsche Antworten mit „0“ und richtige Antworten mit der höherwertigen Kategorie „1“ gewertet.

Des Weiteren wurde die Variable DT_{gesamt} erfasst. Für diese Variable wurde die Gesamtpunktzahl im Diskriminationstest berechnet. Sie ist folglich intervallskaliert. Sie konnte Werte zwischen „0“ und „15“ annehmen. Höhere Werte kennzeichnen eine bessere Diskriminationsleistung.

Diskriminationsuntertest aus den Sniffin’Sticks

Für den Diskriminationsuntertest der Sniffin’Sticks wurde ebenfalls für jede Testaufgabe erfasst, ob diese richtig oder falsch beantwortet wurde. Die entsprechenden abhängigen Variablen erhielten analog zum Diskriminationstest die Bezeichnungen SSt_x. Da dieses Testverfahren 16 Testaufgaben umfasst konnte der Index entsprechend der Testaufgaben Werte zwischen 1 und 16 annehmen. Alle Variablen waren binär und besaßen die gleiche Skalierung. So wurden falsche Antworten mit „0“ und richtige Antworten mit der höherwertigen Kategorie „1“ gewertet.

Für die Gesamtpunktzahl wurde die intervallskalierte Variabel SSt_{gesamt} erfasst. Sie konnte Werte zwischen „0“ und „16“ annehmen. Je höher ein Wert in dieser Variable war, desto besser war die Diskriminationsleistung.

UPSIT

Bei dem UPSIT Identifikationstest wurde zum einen für jede Testaufgabe die gewählte Antwortalternative erfasst. Diese Variabeln sind folglich nominalskaliert. Darüber hinaus erfolgt eine Rekodierung der Variablen in binäre Variablen in Abhängigkeit dessen, ob die Testaufgaben richtig oder falsch gelöst wurden. Diese Variablen besaßen alle die gleiche Skalierung. So wurden falsche Antworten mit „0“ und richtige Antworten mit der höherwertigen Katego-

rie „1“ gewertet. Diese Variablen wurden mit $UPSIT_x$ gekennzeichnet. Der Index beschreibt jeweils die entsprechende Nummer der Testaufgabe.
Für die Gesamtpunktzahl im UPSIT wurde die intervallskalierte Variable $UPSIT_{gesamt}$ erfasst. Sie konnte Werte zwischen „0“ und „40“ annehmen. Höhere Werte bedeuteten dabei eine bessere Identifikationsleistung.

8.2.3 Re-Test-Reliabilität

Für die Bestimmung der Re-Test-Reliabilität wurde den Teilnehmern im Abstand von 5 Wochen der Diskriminationstest zwei Mal vorgegeben. Die erste Vorgabe war Teil der Datenerhebung für die Testvalidierung. Für die Zweittestung wurde eine eigene Sitzung fünf Wochen später durchgeführt.

8.2.3.1 Aufgabe und eingesetztes Testverfahren

Der Aufbau des Tests und die Durchführung wurden bereits im Abschnitt 8.2.2.1.2 beschrieben. Die Ersttestung im Rahmen der Testvalidierung und die Zweittestung wurden identisch durchgeführt. Der einzige Unterschied zwischen den beiden Sitzungen bestand darin, dass die Teilnehmer bei der Zweittestung keine zwei Probedurchgänge mehr durchliefen.

8.2.3.2 Weiteres Versuchsmaterial

Neben dem Diskriminationstest wurden für den Diskriminationstest auch zwei Testprotokolle verwendet. Da die Ersttestung zum Studienteil Testvalidierung gehörte, wurde das im Abschnitt 8.2.2.2.1 beschriebene Testprotokoll verwendet (Anhang A16). Für die Zweittestung wurde ein identisch aufgebautes Testprotokoll verwendet (Anhang A20).

8.2.3.3 Design der Re-Test-Bestimmung

Für die Re-Test-Bestimmung wurde keine unabhängige Variable variiert. Als abhängige Variable wurde zum einen die abhängige Variable DT_{gesamt} erfasst, die auch für die Testvalidierung erfasst wurde (vgl. Abschnitt 8.2.2.2.1). Des Weiteren wurde die Variable $DT\text{-}Retest_{gesamt}$ für die Gesamtpunktzahl bei der Zweittestung erfasst, die identisch skaliert wurde wie die Variable DT_{gesamt}.

8.2.4 Paralleltestentwicklung

Für die Paralleltestentwicklulng wurde den Teilnehmern zunächst der Diskriminationstest vorgegeben. Nach fünf Wochen wurde den Teilnehmern in einer zweiten Sitzung der Diskriminationstest mit den gespiegelten Testaufgaben vorgegeben (vgl. Abschnitt 7.2.3.2.2). Die Vorgabe des Diskriminationstests in seiner ursprünglichen Version war Teil der Datenerhebung für die Testvalidierung. Für die Zweittestung wurde eine eigene Sitzung fünf Wochen später durchgeführt.

8.2.4.1 Aufgabe und eingesetztes Testverfahren

Der Aufbau des Tests und die Durchführung des Diskriminationstests wurden bereits im Abschnitt 8.2.2.1.2 beschrieben. Als Ersttestung wurde die Durchführung im Rahmen der Testvalidierung verwendet. Für die Zweittestung wurden die gespiegelten Testaufgaben verwendet, wobei die Aufgabe und die Durchführung identisch waren. Wie bei der Re-Test-Bestimmung bestand der einzige Unterschied zwischen beiden Testungen darin, dass die Teilnehmer bei der Zweittestung keine zwei Probedurchgänge mehr durchliefen.

8.2.4.2 Weiteres Versuchsmaterial

Neben dem Diskriminationstest wurden für den Diskriminationstest auch zwei Testprotokolle verwendet. Da die Ersttestung zum Studienteil Testvalidierung gehörte, wurde das im Abschnitt 8.2.2.2.1 beschriebene Testprotokoll verwendet (Anhang A16). Für die Zweittestung wurde ein identisch aufgebautes Testprotokoll verwendet, bei dem lediglich eine Anpassung vorgenommen wurde, welche Geruchsproben in einer Testaufgabe entsprechend der gespiegelten Abfolge präsentiert werden müssen. (Anhang A21).

8.2.4.3 Design der Paralleltestentwicklung

Für die Re-Test-Bestimmung wurde ebenfalls keine unabhängige Variable variiert. Als abhängige Variable wurde zum einen die abhängige Variable DT_{gesamt} erfasst, die auch für die Testvalidierung erfasst wurde (vgl. Abschnitt 8.2.2.2.1). Des Weiteren wurde die Variable DT-$Paralleltest_{gesamt}$ erfasst, die identisch erfasst und skaliert wurde wie die Variable DT_{gesamt}.

8.2.5 Weitere Versuchsunterlagen

8.2.5.1 Allgemeine Informationen

Die Allgemeinen Informationen (Anhang A12) wurden den Interessenten ausgehändigt, damit sie die Möglichkeit hatten, sich vorab über Ziele und Hintergründe der Studie, den Ablauf der Studie und die Aufgabe, den Gesundheitsschutz, die Dauer und Vergütung, sowie die Freiwilligkeit der Teilnahme informieren zu können

8.2.5.2 Ausschlusskriterien

Die Teilnehmer erhielten eine Auflistung der für diese Studie definierten Ausschlusskriterien (Anhang A11). Sie mussten schriftlich versichern, dass keines der definierten Ausschlusskriterien zutreffend war.

8.2.5.3 Einverständniserklärung

Bevor die Studie begonnen werden konnte, mussten alle Teilnehmer die Einverständniserklärung unterschreiben (Anhang A13), in der sie schriftlich versicherten, dass sie die Allgemeinen Informationen gelesen haben, sich mit den Datenschutzbestimmungen einverstanden erklären und über die Freiwilligkeit der Teilnahme informiert wurden.

8.2.6 Übergeordnetes Design

Alle 104 Teilnehmer absolvierten alle vier Testverfahren im Rahmen der Testvalidierung. Es wurde jedoch die Variable „Zweittestung“ mit den beiden Stufen „Re-Test“ und „Paralleltest“ zwischen den Teilnehmern variiert. So wurden 52 der 104 Teilnehmer der Re-Test-Reliabilitätsbestimmung zugewiesen und erhielten zu der Zweittestung die ursprüngliche Version des Diskriminationstests ein zweites Mal präsentiert. Die anderen 52 Teilnehmer wurden der Paralleltestentwicklung zugewiesen und erhielten in der Zweittestung die Version des Diskriminationstests mit den gespiegelten Testaufgaben. Die Zuweisung erfolgte randomisiert. Zwischen den beiden Stufen der unabhängigen Variable Zweittestung unterschieden sich ebenfalls die Experimentatoren. Die Re-Test-Reliabilitätsbestimmung wurde von einem Expe-

rimentator durchgeführt. Für die Paralleltestentwicklung wurde von zwei anderen Experimentatoren durchgeführt, die 20 beziehungsweise 32 Teilnehmer untersuchten.

8.2.7 Studiendurchführung

Tabelle 8-1 zeigt schematisch den Ablauf einer Sitzung. Die Testung erfolgte in abteilungseigenen Laborraum. Die Temperatur wurde mit einer Klimaanlage kontrolliert. Diese lag für alle Teilnehmer bei 20C° ± 1C°.

Tabelle 8-1: *Schematischer Ablauf einer Sitzung.*

1.	**Einführung** (Begrüßung, Versuchsinformationen, Ausschlusskriterien, Einverständnis, Einführung in die Aufgabe)
2.	**Erster Sitzung: Testvalidierung** • Erster Test: Phenyl-Ethanol-Schwellentest • Zweiter und dritter Test: Diskriminationstest und Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks. Reihenfolge entsprechend des Studiendesigns (siehe 8.2.2.3.1) • Vierter Test: UPSIT
3.	**Zweite Sitzung: Re-Test-Bestimmung oder Paralleltestkonstruktion** • Erneute Vorlage des Diskriminationstests für die Teilnehmer, die der Bedingung Re-Test zugewiesen wurden. • Vorlage des Diskriminationstests mit den gespiegelten Testaufgaben für die Teilnehmer, die der Bedingung „Paralleltest" zugewiesen wurden.
4.	**Abschluss** (Abschließendes Gespräch mit Teilnehmern zur Klärung offener Fragen des Teilnehmers

Alle Teilnehmer durchliefen in der ersten Sitzung zunächst den Phenyl-Ethanol-Schwellentest. Die Testverfahren, die an der zweiten beziehungsweise dritten Position im Studienablauf präsentiert wurden waren der Diskriminationstest und der Diskriminations-Untertest aus den Sniffin'Sticks. Die Reihenfolge in der diese beiden Testverfahren durchlaufen wurden, wurde durch die Zuweisung der Teilnehmer entweder zu der Bedingung Diskriminationstest/Sniffin'Sticks oder der Bedingung Sniffin'Sticks/Diskriminationstest festgelegt. An vierter Position wurde allen Teilnehmern der UPSIT-Identifikationstest präsentiert. Die zweite Studie fand im Mittel nach rund fünf Wochen statt (M = 34,4, SD = 7,2). In der zweiten Sitzung wurde den Teilnehmern je nach Gruppenzugehörigkeit entweder der Diskriminationstest in seiner ursprünglichen Version oder in der Parallelversion präsentiert. Nach Abschluss der Studie wurde den Teilnehmern ausreichend die Möglichkeit gegeben, Fragen, die sich während der Testungen ergeben haben mit den Experimentatoren zu erörtern.

8.2.8 Hypothesen

Für die drei unterschiedlichen Fragestellungen wurden unterschiedliche Hypothesen generiert.

8.2.8.1 Testvalidierung

Da beide Diskriminationstests das Konstrukt der Geruchsdiskriminationsfähigkeit erfassen sollten, wurde erwartet, dass die Korrelation zwischen den Gesamtpunktwerten beider Testverfahren ($r_{Diskriminationstest/Sniffin'Sticks}$) einen positivem linearen Zusammenhang aufweist.

Nullhypothese: Die Korrelation zwischen dem Diskriminationstest und dem Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks ist kleiner oder gleich dem Wert Null.

$r_{Diskriminationstest/Sniffin'Sticks} \leq 0$

Alternativhypothese: Die Korrelation zwischen dem Diskriminationstest und dem Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks ist größer als der Wert Null.

$r_{Diskriminationstest/Sniffin'Sticks} > 0$

Für die Berechnung der Korrelationen wurde Pearsons Korrelationskoeffizient berechnet. Die Auswertung der Ergebnisse wurde mit dem Programm SPSS vorgenommen.

8.2.8.2 Re-Test-Reliabilität

Es wurde erwartet, dass der Diskriminationstest reliabel das Konstrukt der Geruchsdiskriminationsfähigkeit misst, so dass die Korrelation zwischen den Gesamtpunktwerten bei zweimaliger Vorgabe ($r_{Re\text{-}test}$) einen positivem linearen Zusammenhang aufweist.

Nullhypothese: Die Korrelation zwischen den Gesamtpunktwerten des Diskriminationstests bei zweimaliger Vorgabe ist kleiner oder gleich dem Wert Null.

$r_{Re\text{-}test} \leq 0$

Alternativhypothese: Die Korrelation zwischen den Gesamtpunktwerten des Diskriminationstests bei zweimaliger Vorgabe ist größer als der Wert Null.

$r_{Re\text{-}test} > 0$

Für die Berechnung der Re-Test-Reliabilität wurde Pearsons Korrelationskoeffizient berechnet. Die Auswertung erfolgt mit dem Programm SPSS 16.0.

8.2.8.3 Paralleltestentwicklung

Es wurde erwartet, dass auch die Version des Diskriminationstest mit den gespiegelten Testaufgaben das Konstrukt der Geruchsdiskriminationsfähigkeit misst, so dass die Korrelation zwischen den Gesamtpunktwerten des Diskriminationstest und der Version mit den gespiegelten Testaufgaben ($r_{Paralleltest}$) einen positivem linearen Zusammenhang aufweist.

Nullhypothese: Die Korrelation zwischen den Gesamtpunktwerten des Diskriminationstests und der Version mit den gespiegelten Testaufgaben ist kleiner oder gleich dem Wert Null.

$r_{Paralleltest} \leq 0$

Alternativhypothese: Die Korrelation zwischen den Gesamtpunktwerten des Diskriminationstests und der Version mit den gespiegelten Testaufgaben ist größer als der Wert Null.

$r_{Paralleltest} > 0$

Auch die Berechnung für den Zusammenhang zwischen dem Diskriminationstest in seiner normalen Version und dem Diskriminationstest mit den gespiegelten Testaufgaben wurde mit Pearsons Korrelationskoeffizienten bestimmt. Die Auswertung erfolgte ebenfalls mit dem Programm SPSS 16.0.

8.3 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt für die drei Fragestellungen, die Testvalidierung, die Bestimmung der Re-Test-Reliabilität und die Paralleltestentwicklung getrennt.

8.3.1 Ergebnisse der Testvalidierung

8.3.1.1 Hypothesengeleitete Auswertung

Tabelle 8-2 zeigt eine Übersicht über alle Korrelationen zwischen den vier verschiedenen Testverfahren. Die Berechnung erfolgte mit Pearsons Korrelationskoeffizient. Da vier Teilnehmer im Diskriminationstest fünf oder weniger Punkte erzielten, wurden diese von der ersten Auswertung ausgeschlossen. Die Auswertung erfolgte folglich mit 100 Teilnehmern.

Tabelle 8-2: *Interkorrelationen zwischen den Testverfahren (N = 100).*

	DT_{gesamt}	WP_{gesamt}	$UPSIT_{gesamt}$	SSt_{gesamt}
DT_{gesamt}				
WP_{gesamt}	$r_p = 0{,}20$ $p = 0{,}052$			
$UPSIT_{gesamt}$	$r_p = 0{,}19$ $p = 0{,}064$	$r_p = -0{,}04$ $p = 0{,}710$		
SSt_{gesamt}	$r_p = 0{,}12$ $p = 0{,}222$	$r_p = 0{,}13$ $p = 0{,}209$	$r_p = 0{,}25$ $p = 0{,}011$	

Anmerkungen. Es wurden vier Teilnehmer von der Analyse ausgeschlossen.

Es zeigte sich, dass der neu entwickelte Diskriminationstest tendenziell mit dem Phenyl-Ethanol-Schwellentest und dem UPSIT korreliert. Keine signifikante Korrelation und auch keine Tendenz zeigte sich jedoch mit dem Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks. Die Nullhypothese, dass beide Testverfahren das gleiche Konstrukt erfassen musste somit verworfen werden. Für das Lösen der Testaufgaben im Diskriminationstest sind somit Fähigkeiten erforderlich, die auch dem Phenyl-Ethanol-Schwellentest und dem UPSIT zu Grund liegen. Die Daten zeigen ebenfalls, dass der Phenyl-Ethanol-Schwellentest ein anderes Konstrukt erfasst als der UPSIT und der Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks. Es fällt

auf, dass der UPSIT und der Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks das gleiche oder ein sehr ähnliches Konstrukt zu messen scheinen. Tabelle 8-3 zeigt die Berechnung für alle 104 Teilnehmer.

Tabelle 8-3: *Interkorrelationen zwischen den Testverfahren (N = 104).*

	DT_{gesamt}	WP_{gesamt}	$UPSIT_{gesamt}$	SSt_{gesamt}
DT_{gesamt}				
WP_{gesamt}	$r_p = 0{,}13$ $p = 0{,}197$			
$UPSIT_{gesamt}$	$r_p = 0{,}19$ $p = 0{,}061$	$r_p = -0{,}06$ $p = 0{,}580$		
SSt_{gesamt}	$r_p = 0{,}11$ $p = 0{,}284$	$r_p = 0{,}10$ $p = 0{,}295$	$r_p = 0{,}25$ $p = 0{,}009$	

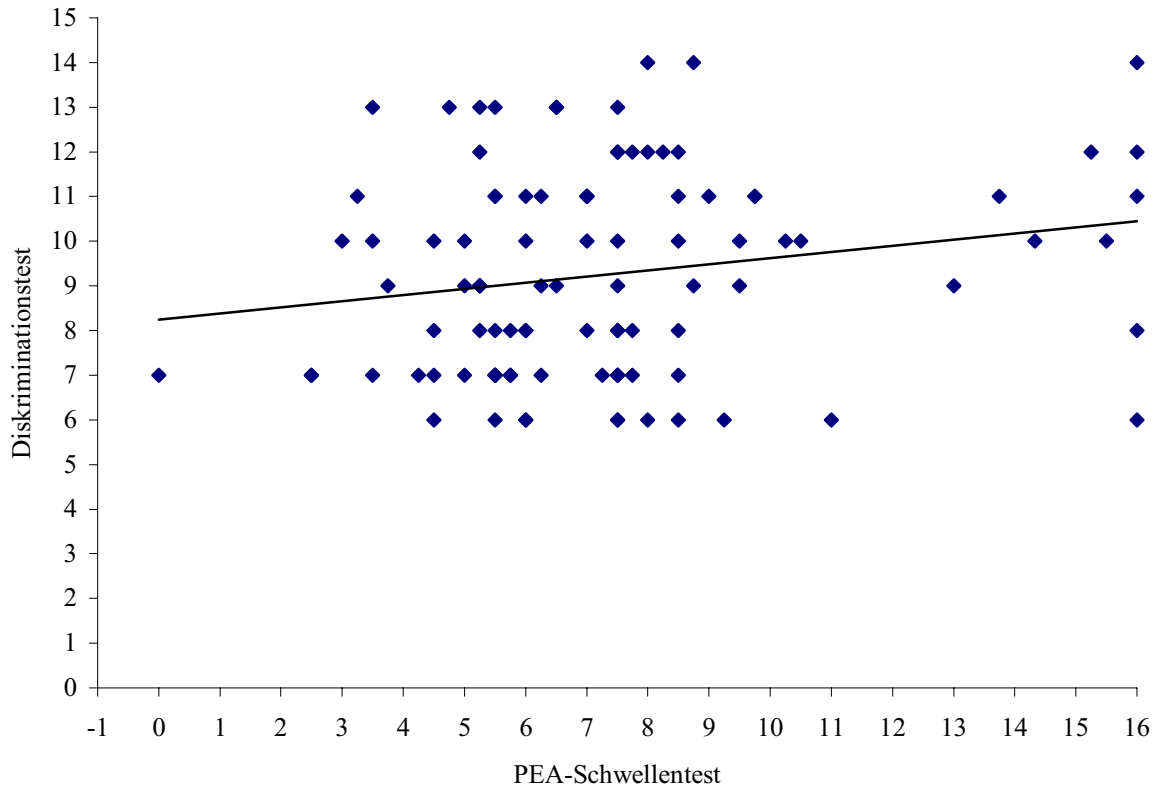


Abbildung 8-4: Bivariate Verteilung der Variablen DT_{gesamt} und WP_{gesamt}.

.

Um den linearen Zusammenhang zwischen dem Diskriminationstest und den anderen drei Testverfahren zu veranschaulichen wurden ebenfalls die entsprechenden Punktwolken gebildet. Abbildung 8-4 zeigt die bivariate Verteilung des Diskriminationstest mit dem Phenyl-Ethanol-Schwellentest, die Abbildung 8-5 die bivariate Verteilung mit dem UPSIT und die Abbildung 8-6 die bivariate Verteilung mit dem Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks.

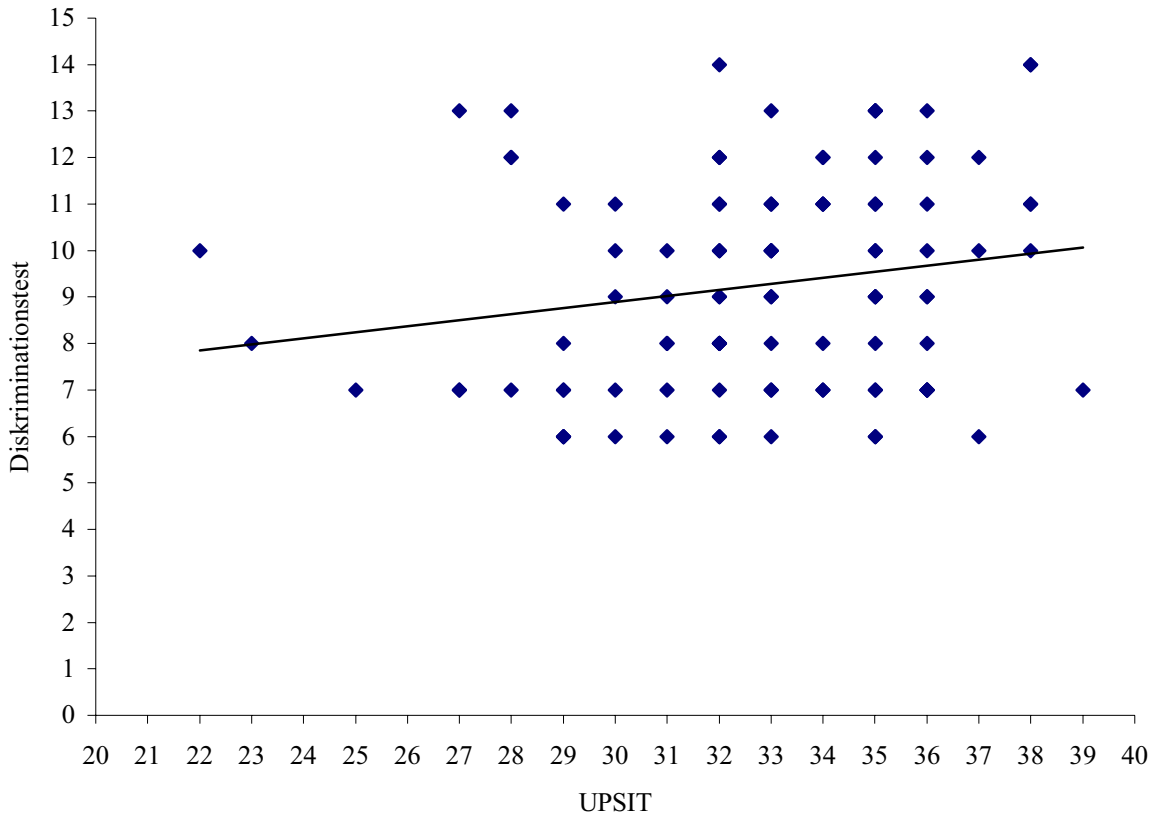


Abbildung 8-5: Bivariate Verteilung der Variablen DT_{gesamt} und $UPSIT_{gesamt}$.

.

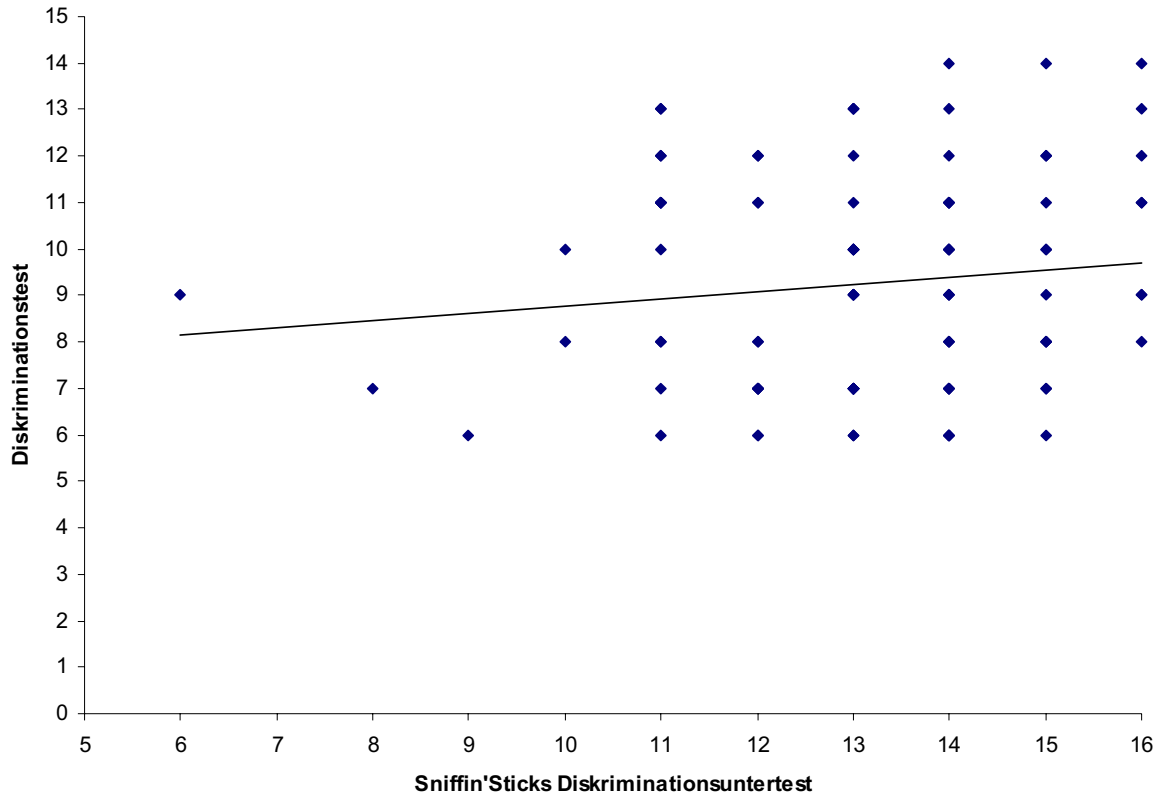


Abbildung 8-6: Bivariate Verteilung der Variablen DT_{gesamt} und SSt_{gesamt}.

.

8.3.1.2 Explorative Datenanalyse der Gesamtpunktzahlen

8.3.1.2.1 Gesamtpunktzahl im Diskriminationstest

Abbildung 8-7 zeigt die Verteilung der Gesamtpunktzahlen für die Variable DT_{gesamt}. Der Mittelwert lag bei 9,05 und die Standardabweichung bei 2,49. Es zeigte sich, dass keiner der Teilnehmer weniger als 3 Punkte erzielte. Die Höchstpunktzahl von 15 richtigen Antworten wurde jedoch auch kein Mal erzielt. 99 von 104 Teilnehmern liegen in dem Intervall von 7 bis 14 Punkten. Dies entspricht 95% aller Teilnehmer. Der Diskriminationstest ist damit dazu geeignet, in einen relativ breiten Punktebereich die geruchliche Diskriminationsfähigkeit der Teilnehmer zu differenzieren. Bei einer Ratewahrscheinlichkeit für eine richtige Antwort von 1/3 würde eine Gesamtpunktzahl auf Zufallsniveau bei 5 Punkten liegen. Gegen diesen festen Wert wurde für alle Teilnehmer ein Einstichproben t-Test gerechnet. Dieser Test ergab das Ergebnis, dass die Gesamtpunktzahl für alle Teilnehmer deutlich über Zufallsniveau lag

(t_{103}: 16,55, $p < 0{,}001$, $d = 1{,}62$). Deskriptiv betrachtet erzielten nur vier Teilnehmer eine Gesamtpunktzahl von 5 oder weniger Punkten.

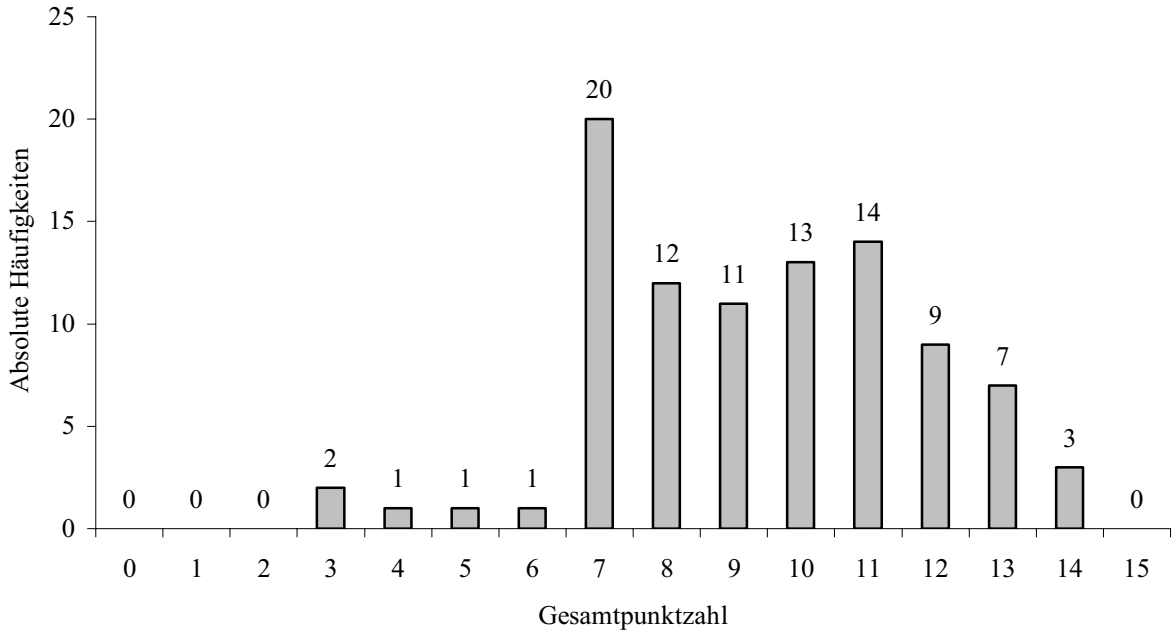


Abbildung 8-7: Verteilung der Variable $DT_{gesamt.}$ Dargestellt sind die absoluten Häufigkeiten, wie häufig die jeweiligen Gesamtpunktzahlen im Diskriminationstest erzielt wurden.

8.3.1.2.2 Gesamtpunktzahl im UPSIT

Auch für die Variable $UPSIT_{gesamt}$ wurde zunächst eine Übersicht erstellt, wie die Gesamtpunktzahlen für den UPSIT-Identifikationstest verteilt sind. Die absoluten Häufigkeiten, wie häufig die jeweiligen Gesamtpunktzahlen aufgetreten sind, sind in Abbildung 8-8 dargestellt. Die Gesamtpunktzahlen nahmen Werte zwischen 22 und 39 Punkten an. Keiner der Teilnehmer erzielte die Höchstpunktzahl von 40 Punkten. Der Mittelwert der Gesamtpunktzahl lag bei 32,75 Punkten, die Standardabweichung bei 3,23 Punkten. Der Median nahm den Wert 33 an. Damit haben 50% der Teilnehmer eine Gesamtpunktzahl von 33 oder weniger Punkten erzielt, was in Anbetracht der Normwerte eine geringe Mikrosmie bedeuten würde (vgl. Abschnitt 2.3.2.1). Auch für die Variable $UPSIT_{gesamt}$ wurde mit einem Einstichproben-t-Test überprüft, ob sich die erzielten Gesamtpunktzahlen vom Zufallsniveau unterscheiden. Würden

die Teilnehmer bei jeder Testaufgabe raten, würde die Gesamtpunktzahl auf Grund der Ratewahrscheinlichkeit von 0,25 den Wert 10 annehmen. Es zeigte sich ein deutlicher Effekt dahingehend, dass die Teilnehmer höhere Gesamtpunktzahlen erzielten als auf Ebene des Zufallsniveaus (t_{103}: 71,80, $p < 0{,}001$, $d = 7{,}04$).

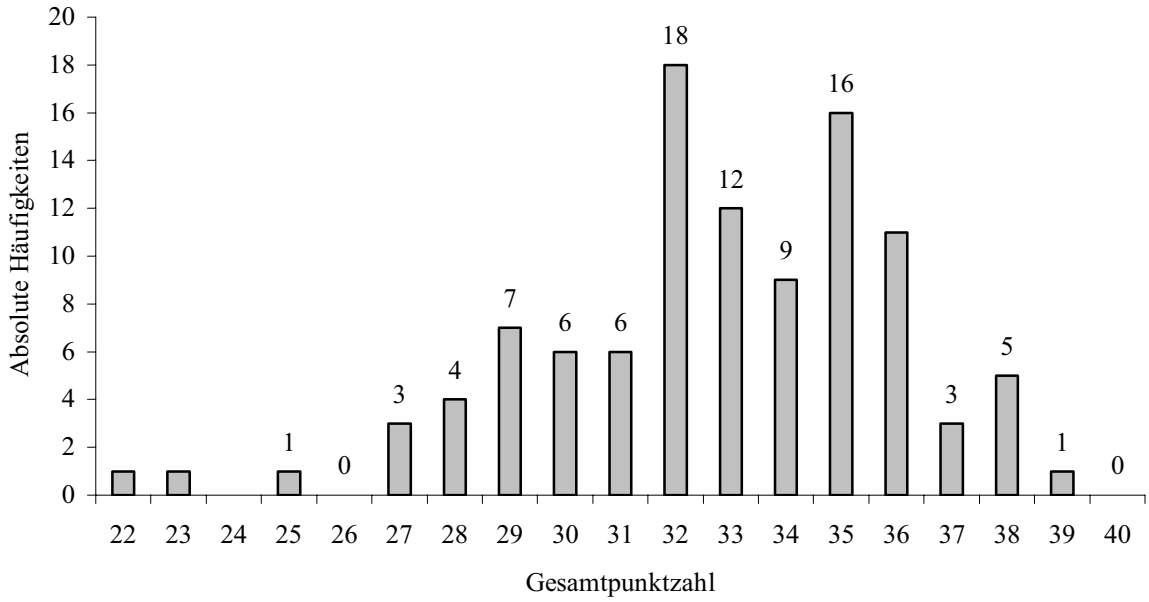


Abbildung 8-8: Verteilung der Variable $UPSIT_{gesamt.}$ Dargestellt sind die absoluten Häufigkeiten, wie häufig die jeweiligen Gesamtpunktzahlen im UPSIT-Identifikationstest erzielt wurden.

8.3.1.2.3 Gesamtpunktzahl im Diskriminationsuntertest der Sniffin'Sticks

Die Gesamtpunktzahl für den Diskriminationsuntertest der Sniffin'Sticks wurde mit der Variablen SSt_{gesamt} erfasst. Die Gesamtpunktzahl der Teilnehmer nahm Werte zwischen 6 und 16 Punkten an. Im Gegensatz zu den beiden zuvor beschriebenen Testverfahren wurde in diesem Testverfahren erstmals auch die Höchstpunktzahl von 16 Punkten erreicht. Der Median lag bei 13 Punkten. Der Mittelwert betrug 13,14 Punkte, bei einer Standardabweichung von 1,77 Punkten. Bei einer Ratewahrscheinlichkeit von 1/3 würde die Gesamtpunktzahl bei 16 Testaufgaben den Wert 5 1/3 für eine Gesamtpunktzahl auf Ebene des Zufallsniveaus annehmen. Es wurde ein Einstichproben t-Test gegen den Wert 5,33334 gerechnet, ob die Gesamtpunktzahl richtiger Antworten vom Zufallsniveau abweicht. Der Testwert wurde hierfür aufgerun-

det, was einer konservativeren Testung entspricht. Das Ergebnis zeigte auch für dieses Testverfahren, dass die Gesamtpunktzahl für alle Teilnehmer deutlich über dem Zufallsniveau lag (t_{103}: 44,99, $p < 0{,}001$, $d = 4{,}41$). In Abbildung 8-6 ist die Verteilung der absoluten Häufigkeiten für die erzielten Gesamtpunktzahlen dargestellt. Im Gegensatz zu der Verteilung der Antwort im Diskriminationstest verteilen sich die Antworten über einen viel kleiner Wertebereich. Zudem erreichen 8 von 104 Teilnehmern eine Gesamtpunktzahl von 16 Punkten.

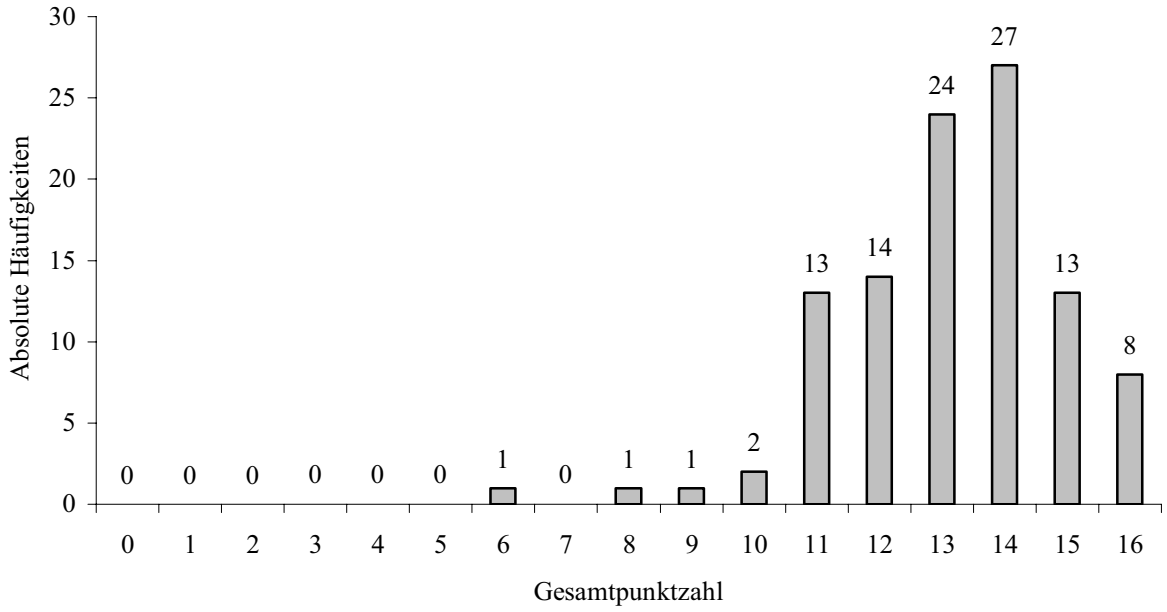


Abbildung 8-9: Verteilung der Variable $SSt_{gesamt.}$ Dargestellt sind die absoluten Häufigkeiten, wie häufig die jeweiligen Gesamtpunktzahlen im Diskriminationsuntertest der Sniffin'Sticks erzielt wurden.

8.3.1.2.4 Verteilung der Schwellen im Schwellentest

Für den Phenyl-Ethanol-Schwellentest wurde die Verteilung der Variable Schwelle bestimmt, die die resultierenden Schwellen der Teilnehmer aus den letzten vier Wendepunkten umfasst. Die resultierenden Schwellen nahmen Werte zwischen 0 und 16 an, wobei die Schwellenwerte nicht nur ganze Zahlen annehmen konnten. Der Mittelwerte lag bei 7,24, die Standardabweichung betrug 3,28. Der Median nahm den Wert 7 an. In Tabelle 8-10 sind die absoluten Häufigkeiten für die Werte, die die Variable Schwelle angenommen hatte dargestellt. Es muss hierbei beachtet werden, dass nur die Werte angegeben sind, die die Variable Schwelle in

dieser Studie angenommen hatte. Werte, die rechnerisch möglich sind, jedoch nicht aufgetreten sind werden nicht angegeben. Im Gegensatz zu den drei zuvor beschriebene Testverfahren verteilen sich die von den Teilnehmern erzielten Schwellenwerte über den gesamten Wertebereich.

Tabelle 8-10: *Ergebnisse im Phenyl-Ethanol-Schwellentest.*

Wert	Absolute Häufigkeit	Wert	Absolute Häufigkeit
0	1	**8**	3
2.5	2	**8.25**	1
3	1	**8.5**	6
3.25	1	**8.75**	2
3.5	3	**9**	1
3.75	1	**9.25**	1
4.25	1	**9.5**	2
4.5	4	**9.75**	2
4.75	1	**10.25**	1
5	3	**10.5**	1
5.25	7	**11**	1
5.5	9	**13**	1
5.75	3	**13.75**	1
6	6	**14.33**	1
6.25	3	**15.25**	1
6.5	3	**15.5**	2
7	5	**16**	5
7.25	5		
7.5	11		
7.75	4		

Anmerkungen. Dargestellt sind die absoluten Häufigkeiten, wie häufig die jeweiligen Schwellewerte erzielt wurden. Es sind dabei nicht alle rechnerisch möglichen Schwellen aufgelistet.

8.3.1.3 Explorative Analyse auf Ebene der Testaufgaben.

In diesem Abschnitt sollen vor allem vor allem die Testaufgaben der verschiedenen Testverfahren im Einzelnen untersucht werden. Diese Analyse soll dazu dienen, die Güte der ver-

wendeten Testverfahren vergleichen zu können um somit die Güte des neu entwickelten Diskriminationstests bewerten zu können.

8.3.1.3.1 Diskriminationstest

Aufgabenschwierigkeiten

Tabelle 8-11 *Aufgabenschwierigkeiten im Diskriminationstest.*

Variable	**M ± SD**	***p*-Wert**
DT_1	0,61 ± 0,49	<0,001
DT_2	0,55 ± 0,50	<0,001
DT_3	0,68 ± 0,47	<0,001
DT_4	0,62 ± 0,49	<0,001
DT_5	0,76 ± 0,43	<0,001
DT_6	0,54 ± 0,50	<0,001
DT_7	61 ± 0,49	<0,001
DT_8	0,59 ± 0,50	<0,001
DT_9	0,62 ± 0,49	<0,001
DT_{10}	0,64 ± 0,48	<0,001
DT_{11}	0,60 ± 0,49	<0,001
DT_{12}	0,52 ± 0,50	<0,001
DT_{13}	0,58 ± 0,50	<0,001
DT_{14}	0,48 ± 0,50	<0,001
DT_{15}	0,66 ± 0,48	<0,001

Anmerkungen. Dargestellt sind die Aufgabenschwierigkeiten an Hand der relativen Häufigkeiten richtiger Antworten (M ± SD). Für jede Testaufgabe wurde eine Binomialtest gerechnet, ob die Häufigkeiten richtiger Antworten vom Zufallsniveau abweichen (B(104, 0,333334).

Für die Variablen DT_1 bis DT_{15} wurden zunächst die Mittelwerte bestimmt. Diese entsprechen den Schwierigkeiten der 15 Testaufgaben. Zudem wurde für jede der 15 Variablen überprüft,

ob die Häufigkeit richtiger Antworten vom Zufallsniveau abweicht. Da bei jeder Testaufgabe die Ratewahrscheinlichkeit für eine richtige Antwort bei 1/3 liegt, wurde für jede Variable ein Binomialtest mit der Wahrscheinlichkeit von 0,333334 für eine richtige Antwort gerechnet. Die Wahrscheinlichkeit für eine richtige Antwort wurde dabei für die Berechnung aufgerundet. Das Aufrunden entspricht einer konservativeren Testung. Tabelle 7-11 zeigt eine Übersicht über die Mittelwerte und Standardabweichungen der Variablen DT_1 bis DT_{15} sowie die p-Werte der gerechneten Binomialtests. Es zeigt sich, dass in allen Testaufgaben der Abweichler überzufällig häufig erkannt wurde. Alle Testaufgaben verfügen über mittlere Schwierigkeiten

Homogenität

Für den Diskriminationstest wurde das Homogenitätsmaß Cronbach-Alpha bestimmt. Dieses nahm den Wert 0,46 an. Da die Homogenität in der Studie Testkonstruktion für Teilnehmer in den Altersklassen zwischen 20 und 80 Jahren bestimmt wurde, konnte nicht damit gerechnet werden einen höheren Wert zu erhalten. Dennoch erlaubt die Bestimmung des Homogenitätsmaßes für die hier verwendete Altersklasse von Teilnehmern zwischen 18 und 40 Jahren auch einen Vergleich der Homogenität zwischen den Testverfahren.

Faktorenanalytische Auswertung

Es wurde ebenfalls eine Hauptachsenanalyse durchgeführt, um die Faktorstruktur evaluieren zu können. Da die Faktorstruktur in der vorangehenden Studie unbefriedigend war ist somit ein Vergleich mit den anderen Testverfahren möglich, ob bei diesen mehr Varianz durch den stärksten Faktor aufgeklärt wird. Es bestätigte sich die unzureichende faktorenanalytische Validität aus der vorangehenden Studie. Tabelle 8-12 zeigt alle Faktoren mit einem Eigenwert >1 sowie deren Anteile an der aufgeklärten Varianz. Im Gegensatz zu der faktorenanalytischen Auswertung in der vorangehenden Studie führte die Berechnung zu der Extraktion von sechs statt sieben möglichen Faktoren.

Tabelle 8-12: *Faktorstruktur für den Diskriminationstest.*

Faktor	Eigenwert	Aufgeklärte Varianz	Kumulative Varianz
1	2,76	13,84	13,84
2	1,50	10,01	23,85
3	1,47	9,77	33,61
4	1,19	7,91	41,52
5	1,17	7,78	49,30
6	1,09	7,28	56,58

8.3.1.3.2. UPSIT-Identifikationstest

Tabelle 8-13 und Tabelle 8-14 zeigen eine Übersicht über die Aufgabenschwierigkeiten der Testaufgaben im UPSIT. Für jede Testaufgabe wurde ebenfalls ein Binomialtest gerechnet, ob sich die Häufigkeit richtiger Antworten vom Zufallsniveau unterscheidet. Die Ratewahrscheinlichkeit für eine richtige Antwort beträgt 0,25. Es zeigte sich, dass die Testaufgabe 2 von allen Teilnehmern richtig gelöst wurde. Im Gegensatz dazu wurde die Testaufgabe 14 tendenziell unterzufällig häufig gewählt. Dafür wurde in der Testaufgabe 14 ein Distraktor überzufällig häufig gewählt (B(104, 0,25) p: < 0,001). Die Teilnehmer gaben an, dass der vorgegebene Geruch nicht wir vorgesehen nach Käse riecht, sondern nach Lackverdünner. Im Vergleich zu dem Diskriminationstest wird deskriptiv betrachtet ein Großteil der Testaufgaben von fast allen Teilnehmern richtig gelöst. Bei anderen Testaufgaben, wie insbesondere der Testaufgabe 14 oder der Testaufgabe 12 werden nicht so häufig richtig Antworten gewählt. Möglicherweise sind diese Testaufgaben für die Testung der in dieser Studie untersuchten Population mit dem entsprechenden kulturellen Hintergrund nicht geeignet, da die verwendeten Geruchsqualitäten weniger bekannt sind.

Tabelle 8-13: *Aufgabenschwierigkeiten im UPSIT für die Testaufgaben 1 - 20.*

Variable	**M ± SD**	***p*-Wert**
$UPSIT_1$	0,90 ± 0,30	< 0,001
$UPSIT_2$	1,00 ± 0,00	< 0,001
$UPSIT_3$	0,85 ± 0,36	< 0,001
$UPSIT_4$	0,93 ± 0,25	< 0,001
$UPSIT_5$	0,97 ± 0,17	< 0,001
$UPSIT_6$	0,99 ± 0,10	< 0,001
$UPSIT_7$	0,73 ± 0,45	< 0,001
$UPSIT_8$	0,90 ± 0,30	< 0,001
$UPSIT_9$	0,98 ± 0,14	< 0,001
$UPSIT_{10}$	0,92 ± 0,27	< 0,001
$UPSIT_{11}$	0,98 ± 0,14	< 0,001
$UPSIT_{12}$	0,37 ± 0,48	0,006
$UPSIT_{13}$	0,96 ± 0,19	< 0,001
$UPSIT_{14}$	0,18 ± 0,39	-
$UPSIT_{15}$	0,90 ± 0,30	< 0,001
$UPSIT_{16}$	0,88 ± 0,32	< 0,001
$UPSIT_{17}$	0,94 ± 0,23	< 0,001
$UPSIT_{18}$	0,80 ± 0,40	< 0,001
$UPSIT_{19}$	0,69 ± 0,46	< 0,001
$UPSIT_{20}$	0,90 ± 0,30	< 0,001

Tabelle 8-14: *Aufgabenschwierigkeiten im UPSIT für die Testaufgaben 21 - 40.*

Variable	**M ± SD**	***p*-Wert**
$UPSIT_{21}$	0,86 ± 0,35	< 0,001
$UPSIT_{22}$	0,59 ± 0,49	< 0,001
$UPSIT_{23}$	0,91 ± 0,28	< 0,001
$UPSIT_{24}$	0,82 ± 0,39	< 0,001
$UPSIT_{25}$	0,79 ± 0,41	< 0,001
$UPSIT_{26}$	0,96 ± 0,19	< 0,001
$UPSIT_{27}$	0,92 ± 0,27	< 0,001
$UPSIT_{28}$	0,99 ± 0,10	< 0,001
$UPSIT_{29}$	0,64 ± 0,48	< 0,001
$UPSIT_{30}$	0,95 ± 0,21	< 0,001
$UPSIT_{31}$	0,97 ± 0,17	< 0,001
$UPSIT_{32}$	0,64 ± 0,48	< 0,001
$UPSIT_{33}$	0,76 ± 0,43	< 0,001
$UPSIT_{34}$	0,74 ± 0,44	< 0,001
$UPSIT_{35}$	0,73 ± 0,44	< 0,001
$UPSIT_{36}$	0,60 ± 0,49	< 0,001
$UPSIT_{37}$	0,54 ± 0,50	< 0,001
$UPSIT_{38}$	0,69 ± 0,46	< 0,001
$UPSIT_{39}$	0,88 ± 0,33	< 0,001
$UPSIT_{40}$	0,97 ± 0,17	< 0,001

Homogenität

Die Berechnung der Homogenität mit dem Schätzer Cronbach-Alpha führte zu einem Wert von 0,56. Wie bereits in der vorangehenden Studie diskutiert wurde, muss für den Vergleich der Homogenitätsschätzung im Diskriminationstest und der Homogenitätsschätzung im

UPSIT bedacht werden, dass die Ratewahrscheinlichkeit für eine richtige Antwort im Diskriminationstest 1/3 und im UPSIT 0,25 beträgt. Für die Bewertung der Homogenität des Diskriminationstests kann daraus geschlossen werden, dass sich diese mit der des UPSIT messen lassen kann.

Faktorenanalytische Auswertung

Tabelle 8-15: *Faktorstruktur für den UPSIT.*

Faktor	Eigenwert	Aufgeklärte Varianz	Kumulative Varianz
1	3,99	10,22	10,22
2	2,57	6,58	16,80
3	2,20	5,65	22,45
4	2,09	5,35	27,79
5	1,93	4,94	32,73
6	1,74	4,46	37,20
7	1,62	4,14	41,34
8	1,55	3,98	45,32
9	1,45	3,71	49,02
10	1,39	3,56	52,58
11	1,34	3,47	56,02
12	1,31	3,35	59,36
13	1,21	3,11	62,47
14	1,13	2,90	65,37
15	1,09	2,79	68,16
16	1,06	2,73	70,89

Die Berechnung einer Hauptachsenanalyse für den UPSIT führte zu einer Extraktion von 16 Faktoren mit einem Eigenwert >1 (Tabelle 8-15). Auch im UPSIT liegt folglich keine Einfachstruktur vor, so dass die faktorenanalytische Auswertung nicht für die Erfassung der Konstruktvalidität hinzugezogen werden kann. Dieses Ergebnis legt nahe, dass die unzureichende Faktorstruktur zur Bestimmung der Konstruktvalidität im Diskriminationstest nicht auf eine fehlende Testgüte zurückgeführt werden muss, da am Beispiel dieses etablierten Testverfahrens zu sehen ist, dass auch andere Geruchstests keine zufrieden stellende Faktorstruktur liefern müssen und dennoch erfolgreich eingesetzt werden können.

8.3.1.3.3 Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks

Aufgabenschwierigkeiten

Tabelle 8-16: *Aufgabenschwierigkeiten.*

Variable	**M ± SD**	***p*-Wert**
SST_1	0,85 ± 0,36	< 0,001
SST_2	0,93 ± 0,25	< 0,001
SST_3	0,92 ± 0,27	< 0,001
SST_4	0,86 ± 0,35	< 0,001
SST_5	0,86 ± 0,35	< 0,001
SST_6	0,96 ± 0,19	< 0,001
SST_7	0,66 ± 0,48	< 0,001
SST_8	0,59 ± 0,50	< 0,001
SST_9	0,92 ± 0,27	< 0,001
SST_{10}	0,69 ± 0,46	< 0,001
SST_{11}	0,86 ± 0,35	< 0,001
SST_{12}	0,95 ± 0,22	< 0,001
SST_{13}	0,66 ± 0,48	< 0,001
SST_{14}	0,90 ± 0,30	< 0,001
SST_{15}	0,77 ± 0,42	< 0,001
SST_{16}	0,76 ± 0,43	< 0,001

Anmerkungen. Dargestellt sind die Aufgabenschwierigkeiten an Hand der relativen Häufigkeiten richtiger Antworten (M ± SD). Für jede Testaufgabe wurde eine Binomialtest gerechnet, ob die Häufigkeiten richtiger Antworten vom Zufallsniveau abweichen (B(104, 0,333334).

Eine Übersicht über die Aufgabenschwierigkeiten zeigt Tabelle 8-16. Im Vergleich zu dem Diskriminationstest wurden auch auf Ebene der Testaufgaben häufiger richtige Antworten gegeben. Die Auswertung zeigt, dass gesunde Teilnehmer nicht nur im UPSIT sondern auch im Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks mit einer höheren Wahrscheinlichkeit Testaufgaben richtig lösen.

Homogenität

Die Schätzung der Homogenität in den Sniffin'Sticks führte auch für diese Auswertung zum schlechtesten Ergebnis im Vergleich der in dieser Studie eingesetzten Testverfahren. Der Schätzer Cronbach Alpha ergab den Wert 0,332.

Faktorenanalytische Auswertung

Wie auch bei den anderen beiden Testverfahren, dem Diskriminationstest und dem UPSIT, ist die Bestimmung der faktorenanalytischen Validität zur Schätzung der Konstruktvalidität für den Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks ungeeignet. Es konnten sieben Faktoren mit einem Eigenwert >1 extrahiert werden (Tabelle 8-17).

Tabelle 8-17: *Faktorstruktur für den Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks.*

Faktor	Eigenwert	Aufgeklärte Varianz	Kumulative Varianz
1	1,80	11,27	11,27
2	1,54	9,62	20,89
3	1,47	9,20	30,09
4	1,35	8,46	38,55
5	1,27	7,95	46,50
6	1,13	7,08	53,57
7	1,07	6,69	60,27

8.3.1.4 Einfluss des Geschlechts

Für alle vier Testverfahren wurde der Einfluss des Faktors Geschlecht mit einem t-Test für unabhängige Stichproben untersucht (Tabelle 8-18) Für keinen Test zeigte sich ein Unterschied in der Testleistung zwischen weiblichen und männlichen Teilnehmern.

Tabelle 8-18: *Einfluss des Faktors Geschlecht auf die Testleistung in den vier Testverfahren.*

	Geschlecht					
	weiblich	**männlich**				
Testverfahren	**(M ± SD)**	**(M ± SD)**	**t**	**df**	***p***	***d***
Diskriminationstest (DT_{gesamt})	9,1 ± 2.8	9,0 ± 2,2	0.35	103	.728	0.04
Schwellentest (WP_{gesamt})	8.0 ± 2.2	6.9 ± 3.4	1.55	103	.124	0.38
UPSIT ($UPSIT_{gesamt}$)	32.9 ± 2.8	33.0 ± 3.1	0,03	103	.934	0.03
Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks (SSt_{gesamt})	13.3 ± 1.6	13.0 ± 1.9	0,72	103	.370	0.17

Anmerkungen. Dargestellt sind die Mittelwerte und Standardabweichungen.

8.3.1.5 Einfluss der Reihenfolge der Testverfahren

Auch für den Einfluss des Faktors Reihenfolge wurde für den Diskriminationstest und den Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks ein t-Test für unabhängige Stichproben gerechnet. Es zeigt sich bei keinem Testverfahren ein Einfluss, ob der Diskriminationstest oder der Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks im Studienablauf zuerst durchgeführt wurde (Tabelle 8-19).

Tabelle 8-19: *Einfluss der Reihenfolge auf die Testleistung in den beiden Testverfahren.*

	Position 2	**Position 3**				
Testverfahren	**(M ± SD)**	**(M ± SD)**	**t**	**Df**	***p***	***d***
Diskriminationstest (DT_{gesamt})	9.3 ± 2.4	8.8 ± 2.7	0,98	103	.327	0,22
Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks (SSt_{gesamt})	13.3 ± 1.7	13.1 ± 1.8	0,34	103	.736	0,11

Anmerkungen. Dargestellt sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der Testwerte in Abhängigkeit dessen, ob der Diskriminationstest vor dem Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks (Position 2) oder danach (Position 3) präsentiert wurde.

8.3.2 Re-Test-Reliabilität

Mit den 52 Teilnehmern in der Bedingung „Re-Test“ wurde die Re-Test-Reliabilität ausgewertet. Pearsons Korrelationskoeffizient zwischen den Summenwerten in den Abhängigen Variablen DT_{gesamt} und $DT\text{-}Retest_{gesamt}$ betrug 0,66 (p = < 0,001). Damit liegt die Re-Test-Reliabilität für den Diskriminationstest augescheinlich höher als die Schätzung der Homogenität an Hand von Cronbachs Alpha in der vorangehenden Studie Testkonstruktion. Damit konnte die Nullhypothese verworfen werden, dass die Korrelation bei mehrmaliger Vorgabe des Tests zwischen den Testergebnissen nicht größer als 0 ist. Dennoch liegt die Re-Test-Reliabilität nicht über der der Sniffin'Sticks (X^2 = 1,17; p = 0,279). In der Bedingung Re-Test betrug das Intervall zwischen den beiden Sitzungen 18 und 56 Tagen (M: 36.4, SD: 8.1). Zwischen der Länge des Intervalls und den Testwerten in der zweiten Sitzung gab es keinen statistisch bedeutsamen korrelativen Zusammenhang (r_p = 0,12, p = 0,404).

8.3.3 Paralleltestentwicklung

Mit den anderen 52 Teilnehmern in der Bedingung „Paralleltest“ wurde die Paralleltest-Reliabilität mit den gespiegelten Testaufgaben analysiert. Hierfür wurde Pearsons Korrelationskoeffizient für die beiden Variablen DT_{gesamt} und $DT\text{-}Parallel_{gesamt}$ bestimmt. Es zeigte sich im Vergleich mit der zuvor ermittelten Re-Test-Reliabilität eine vergleichsweise niedrige Korrelation (r_p = 0,39, p = 0,004; Vergleich von Re-Test und Paralleltestreliabiltät: (X^2 = 3,56; p = 0,059). Auch für die Paralleltestentwicklung konnte damit die Nullhypothese abgelehnt werden. In der Bedingung Paralleltest lag das Intervall zwischen den beiden Sitzungen zwischen 26 und 46 Tagen (M: 32.4, SD: 5.5). Die Länge des Intervalls hatte keinen Einfluss auf den Gesamtpunktwert. Hierfür wurde Pearsons Korrelationskoeffizient für den Zusammenhang zwischen den Tagen und dem Gesamtpunktwert bestimmt (r_p = 0,08, p = 0,581).

8.3.4 Einfluss der Bedingung

Der Einfluss der Zuweisung zu einer der beiden Bedingungen, der Bestimmung der Re-Test-Reliabilität oder der Paralleltestentwicklung ist aus dem Grund von großer Bedeutung, da die Bedingung „Re-Test“ von ein und demselben Experimentator durchgeführt wurde und die Bedingung „Paralleltest“ von zwei anderen Experimentatoren durchgeführt wurde. Unterschiede in den Testwerten wären ein Hinweis auf mangelnde Objektivität eines Tests. Eine Übersicht über die Mittelwerte und die Teststatistik der für den Vergleich gerechneten t-Tests

für unabhängige Stichproben zeigt Tabelle 8-20 Auch in dieser Auswertung waren die Testwerte zwischen den Bedingungen stabil.

Tabelle 8-20: *Einfluss der Bedingung auf die Testleistung in den vier Testverfahren.*

	Bedingung				
Testverfahren	**Re-Test (M ± SD)**	**Paralleltest (M ± SD)**	**t**	***p***	***d***
Diskriminationstest (DT_{gesamt})	9,4 ± 2,4	8,7 ± 2,6	1,47	0,146	0,28
Schwellentest (WP_{gesamt})	7,5 ± 3,3	7,4 ± 3,3	0,19	0,851	0,03
UPSIT ($UPSIT_{gesamt}$)	33,3 ± 3,1	32,6 ± 2,8	1,19	0,237	0,24
Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks (SSt_{gesamt})	13,2 ± 1,8	13,2 ± 1,7	0,23	0,822	0,00

Anmerkungen. Dargestellt sind die Mittelwerte und Standardabweichungen.

8.4 Diskussion

In diesem Anschnitt werden zunächst die Ergebnisse der drei verschiedenen Fragestellungen diskutiert. Abschließend folgt eine Diskussion, in der eine Gesamtbeurteilung der Testentwicklung vorgenommen wird.

8.4.1 Diskussion der Ergebnisse der Testvalidierung

Ein Testverfahren sollte mit den Testverfahren oder Außenkriterien hoch korrelieren, die das gleiche oder ein ähnliches Konstrukt erfassen. Der Summenwert im Diskriminationstest zeigte tendenziell einen linearen Zusammenhang mit dem Summenwert im UPSIT und der Wahrnehmungsschwelle im Phenyl-Ethanol-Schwellentest. Unter der Prämisse, dass diese beiden Testverfahren valide das messen, was sie vorgeben zu messen, ist für die Lösung der Testaufgaben im Diskriminationstest sowohl eine entsprechende geruchliche Sensitivität notwendig, um die Unterschiede zwischen den Mischgerüchen detektieren zu können als auch die Fähigkeit, Gerüche zu erkennen. Letzterer Aspekt scheint dafür notwendig zu sein, um die Entscheidung treffen zu können, welche Mischgerüche identisch sind und welcher Mischgeruch abweicht.

Dass der Diskriminationstest keinen bedeutsamen linearen Zusammenhang zu dem Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks besitzt scheint auf die angestellte Vermutung zurückzuführen zu sein, dass beide Tests unterschiedliche Formen der Diskriminationsfähigkeit erfassen (vgl. Abschnitt 2.6.1). Während für die in dem Diskriminationstest verwendeten Mischgerüche keine sprach- und bildungsbedingten Lösungsvorteile vorliegen, ist die Lösung der Testaufgaben in dem Diskriminationsuntertest in den Sniffin'Sticks, durch die Verwendung von distinkten Alltagsgerüchen gerade an den Lösungsvorteil der semantischen Verankerung gebunden.

8.4.1.1 Bewertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass der Diskriminationstest mit anderen etablierten Testverfahren wie dem Phenyl-Ethanol-Schwellentest und dem UPSIT korreliert. Wenn beide Testverfahren valide das messen was sie vorgeben zu messen, passt das Ergebnis dieser Studie dazu, dass verschiedenen Geruchstests gleiche Fähigkeiten zu Grunde liegen (Doty et al., 1994). Auch wenn für den Diskriminationstest keine zufrieden stellende faktorenanalytische Validität be-

stimmt wurde, legen diese Ergebnisse nahe, dass der Diskriminationstest valide ein eigenständiges Konstrukt misst.

8.4.1.2 Bedeutung der explorativen Datenanalyse

Die explorative Datenanalyse konnte zeigen, dass bei keinem der übrigen verwendeten Tests eine deutlichere Faktorstruktur im Sinne der Eindimensionalität zu finden war, als in dem Diskriminationstest. Es kann vermutet werden, dass dieses Ergebnis zeigt, dass die Geruchswahrnehmung sehr hohe interindividuelle Unterschiede besitzt. So muss die Beantwortung einer Testaufgabe nicht hoch mit der Beantwortung einer anderen Testaufgabe korreliert sein, auch wenn an Hand des Summenwerts einer Person eine Einordnung in Relation zur Norm möglich ist. Unterstrichen wird dieses Ergebnis dadurch, dass bei allen Testverfahren auch die Homogenität geringer ausfiel als die für diese Testverfahren berichteten Re-Test-Reliabilitäten. Die in der vorangehenden Studie durchgeführte Faktorenanalyse ließ Zweifel an der Validität des Diskriminationstests aufkommen, da keine Eindimensionalität gefunden werden konnte. Die explorative Datenanalyse in dieser Studie konnte jedoch zeigen, dass für die Beurteilung der Validität eines Geruchstests andere Maße eine höhere Bedeutung zu besitzen scheinen. Aus diesem Grund wäre es sinnvoll, die Validität dieses Tests mit der Testung klinischer Stichproben weiter zu überprüfen.

Die Analyse der Schwierigkeiten hatte ergeben, dass in dem Diskriminationstest weniger häufig richtige Antworten gegeben wurden, als in den Testverfahren UPSIT und dem Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks. Auch die Verteilung der Gesamtpunktzahl in den Sniffin'Sticks verdeutlichte, dass in diesem Test bei gesunden Teilnehmern ein Deckeneffekt zu erwarten ist. Es kann somit vermutet werden, dass Defizite in der Geruchswahrnehmung bei dem neu entwickelten Diskriminationstest schneller zu unterdurchschnittlichen Leistungen führen. In wie weit diese Eigenschaft in der Diagnostik effizient genutzt werden kann müssen Folgestudien zeigen.

8.4.2 Diskussion der Re-Test-Reliabilität

Wie in der Diskussion der vorangehenden Studie bereits diskutiert wurde, muss in Bezug auf die Einordnung der Reliabilitätsschätzung an Hand der Homogenität berücksichtigt werden, dass die Ratewahrscheinlichkeit für eine richtige Antwort von 1/3 deutlich ins Gewicht fällt. Die Re-Test-Reliabilität, die in dieser Studie ermittelt wurde liefert Evidenz dafür, dass die Reliabiltät weitaus höher eingeschätzt werden kann. So lag die Schätzung der Re-Test-

Reliabilität an Hand von Pearsons Korrelationskoeffizient bei 0,66. Insbesondere das Ergebnis, dass es keinen Einfluss des Intervalls zwischen den beiden Testungen auf die Testleistung gab zeigt auf, dass der Diskriminationstest robuste Daten liefert. Die ermittelte Re-Test-Reliabilität liegt über der der Sniffin'Sticks von 0,54 (Hummel et al., 1997). Im Vergleich mit dem UPSIT, dessen Re-Test-Reliabilität den Wert 0,92 annimmt (Doty et al., 1984) ist die Re-Test-Reliabilität niedriger. Auch der Identifikationstest SOIT (Nordin et al., 1998) besitzt eine höhere Re-Test-Reliabilität (0,79). Gleiches gilt auch für die WOTB (Lehrne & Deecke, 2000), deren Re-Test-Reliabilität 0,75 beträgt. Bei den zuletzt genannten Identifikationstests werden jedoch immer vier Antwortkategorien angegeben, so dass die Ratewahrscheinlichkeit für eine richtige Antwort niedriger ist.

8.4.3 Diskussion der Ergebnisse für die Paralleltestentwicklung

Die Korrelation zwischen den Summenwerten in der ursprünglichen Version aus der ersten Sitzung mit den Summenwerten der Parallelversion mit den gespiegelten Testaufgaben wurde zwar einerseits statistisch bedeutsam, jedoch ist die Korrelation von 0,39 im Vergleich mit der Re-Test-Reliabilität nicht ausreichend hoch genug, um mit den gespiegelten Aufgaben eine Parallelversion konstruieren zu können. Trotz dessen, dass zwei Aufgaben die zueinander gespiegelt sind den Anschein erwecken, dass sie auch parallel sein könnten, konnte diese Überlegung nicht bestätigt werden. Der Vergleich der Korrelation mit der deutlich höheren Re-Test-Korrelation der beiden identischen Testversionen aus der Bedingung Re-Test verdeutlicht auch, dass dieses Ergebnis nicht mit der hohen Ratewahrscheinlichkeit relativiert werden kann. Der Versuch eine Paralleltestversion mit den gespiegelten Testaufgaben konstruieren zu können ist damit fehlgeschlagen.

8.4.4 Ausblick

Da sowohl die Bestimmung der Reliabiltät als auch der Validität im besten Fall auf verschiedene Weise erfolgen sollte (Lienert & Raatz, 1998), ist auch die Frage nach der Testgüte des Diskriminationstests noch nicht gänzlich beantwortet. Die bisher erzielten Ergebnisse decken jedoch die wichtigsten Schätzungen ab. In weiteren Studien gilt es nun, die klinische Anwendbarkeit sowie die Objektivität des Tests zu bestimmen. Darüber hinaus verdeutlicht diese letzte Studie, dass die gewählte Präsentationsform der Geruchsstoffe in Weithalsflaschen nicht optimal ist, da einerseits das Risiko besteht, dass die Flaschen während der Durchführung umgekippt werden und auslaufen und andererseits der Diskriminationstest im Vergleich

zum UPSIT und Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks optisch weniger professionell wirkte. Aus diesem Grund wird ebenfalls in weiteren Studien der Einsatz von Deorollern, in denen die Geruchsstoffe eingeschlossen sind, als Präsentationsform untersucht.

8.4.5 Abschließende Diskussion der Testentwicklung

Das Ziel der Testentwicklung bestand darin, einen geruchlichen Diskriminationstest zu entwickeln der eine Quantifizierung der Fähigkeit Gerüche zu unterscheiden erlaubt. An dem einzigen bisher etablierten existierende Diskriminationstest aus den Sniffin'Sticks können zwei entscheidende Kritikpunkte geäußert werden. Zum einen werden für diesen Test keine Angaben zu gängigen Testgütekriterien gemacht. Zum anderen wird die Ähnlichkeit zwischen den Geruchsstoffen darüber variiert, dass qualitativ vollständig verschiedene Geruchsstoffe verwendet werden. Damit treffen die von Köster (Köster, 2002) hervorgebrachten Kritikpunkte in Bezug auf die Güte von Identifikationstest auch für diesen Test zu. So wird die Fähigkeit der Teilnehmer die Aufgaben zu lösen in hohem Maße durch deren Fähigkeiten mitbeeinflusst, die Geruchsstoffe semantisch zu verankern. Damit ist auch dieser Test sprach- und bildungsabhängig. Zum anderen kann die Ähnlichkeit zwischen den verschiedenen Geruchsstoffen nicht objektiv beurteilt werden. Eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Kulturen oder verschiedenen Spezies wäre somit ebenfalls nicht gegeben. Wie in dieser Studie gezeigt werden konnte, unterscheiden sich zudem die Konstrukte, die der Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks und der UPSIT Identifikationstest erfassen nicht. Alle aufgezählten Schwierigkeiten und Kritikpunkt wurden im Zuge der in dieser Arbeit durchgeführten Testentwicklung berücksichtigt und durch ein systematisches Konzept umgangen.

8.4.5.1 Sprach-, Bildungs- und Kulturunabhängigkeit

Durch das bisher in keinem anderen Geruchstest verwendete Konzept Mischgerüche einzusetzen, bei denen durch Veränderungen der Mischungsverhältnisse die Ähnlichkeit objektiv variiert und quantifiziert werden kann, ist die Vorerfahrung mit bestimmten Geruchsstoffen nicht mehr bedeutsam für die Wahrscheinlichkeit eine Testaufgabe richtig zu lösen. Insbesondere aus dem Grund, dass die Mischgerüche vollständig neue Geruchsqualitäten erzeugen, kann der Test als bildungs- und kulturunabhängig eingestuft werden. Dadurch, dass die Veränderung des Mischungsverhältnisses objektiv quantifiziert werden kann, ist auch der Vergleich zwischen verschiedenen Spezies möglich.

8.4.5.2 Verwendung olfaktorischer Geruchsstoffe

Insbesondere bei den neurodegenerativen Erkrankungen Alzheimer-Demenz (Berg, 2008) und Parkinson-Erkrankung (Hawkes, 2004) treten Geruchsstörungen im Frühverlauf der Erkrankung auf. Diese sind auf pathologische Veränderungen des olfaktorischen Systems zurückzuführen. Ein Testverfahren zur Erfassung der geruchlichen Leistungsfähigkeit, das in der klinischen Routinediagnostik eingesetzt werden soll, muss sich auch der Frage stellen, ob die verwendeten Geruchsstoffe olfaktorische oder trigeminale Eigenschaften besitzen. Auch wenn im Rahmen dieser Testentwicklung nicht abschließend geklärt werden konnte, ob die verwendeten Geruchsstoffe als primär olfaktorisch eingestuft werden können, erfolgte die Auswahl der Geruchsstoffe dennoch in Anlehnung daran, solche Geruchsstoffe zu verwenden, die in Bezug auf den aktuellen Stand der Forschung als primär olfaktorisch eingestuft werden können. So gibt es bisher keine neueren Studien, die widerlegen, dass es sich bei dem von Doty und Mitarbeitern als primär olfaktorisch beschriebene Geruchsstoffen (Doty et al., 1978) nicht um primär olfaktorische Geruchsstoffe handelt. Dieser Aspekt wurde bisher ebenfalls bei keinem anderen der etablierten Geruchstests berücksichtigt

8.4.5.3 Berücksichtigung von Testgütekriterien

Bei den überwiegenden Geruchstests wird ausschließlich die Re-Test-Reliabilität angegeben. Lediglich für den UPSIT wird in Bezug auf die Reliabiltät auch ein Homogenitätsmaß berichtet (Doty et al., 1984). Die Validität wird bei bestehenden Geruchstests jedoch meist nur implizit berücksichtigt. Der hier entwickelte Geruchstest macht Aussagen zu allen gängigen Gütekriterien. Dabei ist die Phase der Evaluation der Testgüte noch nicht abgeschlossen. Auch weitere Studien sollen dazu genutzt werden, die Testgüte auf der gesamten Bandbreite einschätzen zu können.

8.4.5.4 Verbreitete Anwendbarkeit

Dadurch, dass die Testentwicklung systematisch erfolgte kann jeder Schritt der Testentwicklung von jedem Interessierten nachvollzogen werden. Es besteht damit für jeden Interessierten in der Forschung oder der klinischen Anwendung die Möglichkeit, den Diskriminationstest selbstständig herzustellen.

8.4.8.5 Fazit

Abschließend kann der Schluss gezogen werden, dass die gesteckten Ziele dieser Testentwicklung in vollem Umfang erfüllt wurden. Auch wenn für die Testgütekriterien nicht so hohe Werte erzielt wurden wie in Testverfahren anderer Modalitäten, müssen auch die hohen interindividuellen Unterschiede in Bezug auf die Geruchswahrnehmung berücksichtigt werden, die allein schon auf sensorischer Ebene bestehen. Auch der Vergleich mit der Testgüte andere Geruchstests zeigt, dass die Testgüte dieses Tests als sehr zufrieden stellend eingestuft werden kann. Weitere Studien werden Aufschluss darüber liefern, ob der entwickelte Test auch in der klinischen Routine eingesetzt werden kann.

9. Zusammenfassung

Geruchsstörungen treten bei einer Vielzahl von Erkrankungen auf und können bei neurologischen Erkrankungen wie der Alzheimer-Demenz oder der Parkinson-Erkrankung den Kardinalsymptomen vorangehen. Der Einsatz von Geruchstests in der klinischen Routine-Diagnostik liefert nicht nur viel versprechende Ergebnisse in der Differentialdiagnostik sonder ist ebenfalls für die Früherkennung besonders geeignet. Auch in der olfaktorischen Grundlagenforschung ist die Erfassung der Fähigkeit Gerüche zu unterscheiden essentiell.

Das Ziel dieser Arbeit bestand in der Entwicklung eines Testverfahrens, das die Fähigkeit misst, wie gut Gerüche unterschieden werden können. In jeder Testaufgabe werden zwei gleiche und ein abweichender Mischgeruch präsentiert. Die Aufgabe besteht darin den Abweichler zu detektieren. Mischgerüche wurden verwendet, damit die Ähnlichkeit zwischen zwei Geruchsproben quantifiziert werden kann. Für den Testaufbau wurden die olfaktorischen Geruchsstoffe Kumarin, Geraniol, Dekansäure, Vanillin, Eugenol und Phenyl-Ethanol als Basis der Mischgerüche verwendet.

In den beiden ersten durchgeführten Studien wurden zunächst die Intensitäten der sechs Komponenten auf einander abgestimmt. relevante Eigenschaften der verwendeten Geruchsstoffe untersucht. In der dritten Studie wurde untersucht, ob die sechs Geruchsstoffe in den ermittelten Konzentrationen auch einen trigeminalen Anteil besitzen. Diese Frage konnte nicht abschließend geklärt werden. Die vierte Studie diente als Grundlage für die Generierung der abweichenden Mischgerüche in den Testaufgaben, da in dieser Studie Grenzwerte ermittelt wurden, wie stark die Anteile der Komponente in den Mischgerüche verändert werden können. Die letzten beiden Studien umfassten einerseits die eigentliche Testkonstruktion und andererseits die Evaluierung der Testgüte und die Eignung einer parallelen Testversion. Der hier entwickelte Diskriminationstest weist eine Homogenität von 0,61 (Cronbach-Alpha) und eine Re-Test-Reliabilität von 0,66 auf. Zum Lösen der Testaufgaben ist sowohl eine entsprechende geruchliche Sensitivität (Korrelation mit dem Phenyl-Ethanol-Schwellentest) als auch eine entsprechende Fähigkeit Gerüche zu identifizieren (Korrelation mit dem UPSIT) notwendig. Dennoch erfasst der Test ein eigenständiges Konstrukt.

Diese Arbeit hat einen neuen Diskriminationstest hervorgebracht. Er wurde systematisch entwickelt und orientiert sich an anerkannten Gütekriterien für Testverfahren. Seine Reliabiltät ist höher als die des Diskriminationsuntertest aus den Sniffin'Sticks. Seinem Einsatz in der klinischen Diagnostik kann gespannt entgegengesehen werden.

10. Abstract

Smell disturbances are common features in a variety of pathologies and might precede cardinal symptoms as seen in neurodegenerative diseases such as Alzheimer's dementia and Parkinson's disease. The use of smelling tests in clinical practice does not only produce promising results in differential diagnostics but are a valuable tool in early detection of an illness. Assessment of odor discrimination ability is essential to the fundamental research of olfaction too.

The aim of this study was to develop a testing method to assess odor discrimination, producing quantifiable data of the degree of odor discrimination ability. The test comprises fifteen trials presenting two identical and one divergent odors per trial. The task is to detect the divergent odor. Odor compounds were used to quantify the similarity between two odor samples. Olfactory substances coumarin, geraniol, decanoic acid, vanillin, eugenol and phenylethanol were used as odor foundations.

Intensities of single constituents to be used in odor compounds were synchronized in the first two studies. The third study examined whether compounds possessed the trigeminal amount in determined concentrations. However, this question could not be answered conclusively. The fourth study was designed as a baseline for the generation of deviating odor compounds used in the trials, since boundary values concerning the degree of variation in concentration for the deviating odor compound were determined in this study. The last two studies involved test construction, evaluation of test quality and suitability of a parallel test version. The developed discrimination test has a homogeneity of 0.61 (Cronbach-Alpha) and a retest reliability of 0.66. Sensitivity to olfactory cues (correlation with phenylethanol threshold test) and the ability to identify odors (correlation with University of Pennsylvania Smell Identifcation Test) are necessary. Nonetheless, this test measures a discrete construct.

This study produced a new test for the assessment of odor discrimination ability. It was developed systematically and orients itself to accredited quality criteria for test procedures. Its reliability is higher than the discrimination subtests of the Sniffin'Sticks. Its application in clinical diagnostics and olfaction research can be awaited with anticipation.

Literaturverzeichnis

Airado, C., Gomez, C., Recio, J. S., Baltanas, F. C., Weruaga, E., & Alonso, J. R. (2008). Zincergic innervation from the anterior olfactory nucleus to the olfactory bulb displays plastic responses after mitral cell loss. *J Chem Neuroanat, 36*(3-4), 197-208.

Albrecht, J., & Wiesmann, M. (2006). [The human olfactory system. Anatomy and physiology]. *Nervenarzt, 77*(8), 931-939.

Albrecht, J., Kopietz, R., Linn, J., Sakar, V., Anzinger, A., Schreder, T., et al. (2008). Activation of olfactory and trigeminal cortical areas following stimulation of the nasal mucosa with low concentrations of S(-)-nicotine vapor-An fMRI study on chemosensory perception. *Hum Brain Mapp*.

Allison, A.C. (1953). The morphology of the olfactory system in the vertebrates. *Biological Reviews;* 28(2): 195-244).

Amoore, J. E., & Ollman, B. G. (1983). Practical test kits for quantitatively evaluating the sense of smell. *Rhinology, 21*(1), 49-54.

Anderson, A. K., Christoff, K., Stappen, I., Panitz, D., Ghahremani, D. G., Glover, G., et al. (2003). Dissociated neural representations of intensity and valence in human olfaction. *Nat Neurosci, 6*(2), 196-202.

Anderson, A. K., & Sobel, N. (2003). Dissociating intensity from valence as sensory inputs to emotion. *Neuron, 39*(4), 581-583.

Anton, F., & Peppel, P. (1991). Central projections of trigeminal primary afferents innervating the nasal mucosa: a horseradish peroxidase study in the rat. *Neuroscience, 41*(2-3), 617-628.

Arenkiel, B. R., Peca, J., Davison, I. G., Feliciano, C., Deisseroth, K., Augustine, G. J., et al. (2007). In vivo light-induced activation of neural circuitry in transgenic mice expressing channelrhodopsin-2. *Neuron, 54*(2), 205-218.

Aschenbrenner, K., Scholze, N., Joraschky, P., & Hummel, T. (2008). Gustatory and olfactory sensitivity in patients with anorexia and bulimia in the course of treatment. *J Psychiatr Res*.

Atanasova, B., Graux, J., El Hage, W., Hommet, C., Camus, V., & Belzung, C. (2008). Olfaction: A potential cognitive marker of psychiatric disorders. *Neurosci Biobehav Rev, 32*(7), 1315-1325.

Baddeley, A. (1986). Working memory. Oxford: Clarendon.

Barbas, H. (2007). Specialized elements of orbitofrontal cortex in primates. *Ann N Y Acad Sci, 1121*, 10-32.

Barkai, E., Bergman, R. E., Horwitz, G., & Hasselmo, M. E. (1994). Modulation of associative memory function in a biophysical simulation of rat piriform cortex. *J Neurophysiol, 72*(2), 659-677.

Barnett, E. M., Evans, G. D., Sun, N., Perlman, S., & Cassell, M. D. (1995). Anterograde tracing of trigeminal afferent pathways from the murine tooth pulp to cortex using herpes simplex virus type 1. *J Neurosci, 15*(4), 2972-2984.

Barrios, F. A., Gonzalez, L., Favila, R., Alonso, M. E., Salgado, P. M., Diaz, R., et al. (2007). Olfaction and neurodegeneration in HD. *Neuroreport, 18*(1), 73-76.

Bell, G. A., Laing, D. G., & Panhuber, H. (1987). Odour mixture suppression: evidence for a peripheral mechanism in human and rat. *Brain Res, 426*(1), 8-18.

Bennetto, L., Kuschner, E. S., & Hyman, S. L. (2007). Olfaction and taste processing in autism. *Biol Psychiatry, 62*(9), 1015-1021.

Bensafi, M., Iannilli, E., Gerber, J., & Hummel, T. (2008). Neural coding of stimulus concentration in the human olfactory and intranasal trigeminal systems. *Neuroscience, 154*(2), 832-838.

Berg, D. (2008). Biomarkers for the early detection of Parkinson's and Alzheimer's disease. *Neurodegener Dis, 5*(3-4), 133-136.

Berglund, B., Berglund, U., Ekman G. & Engen., T. (1971). Individual psychophysical functions for 28 odorants. Percept. Psychophys. 9: 379-384.

Berglund, B., & Olsson, M. J. (1993a). Odor-intensity interaction in binary mixtures. *J Exp Psychol Hum Percept Perform, 19*(2), 302-314.

Berglund, B., & Olsson, M. J. (1993b). Odor-intensity interaction in binary and ternary mixtures. *Percept Psychophys, 53*(5), 475-482.

Betchen, S. A., & Doty, R. L. (1998). Bilateral detection thresholds in dextrals and sinistrals reflect the more sensitive side of the nose, which is not lateralized. *Chem Senses, 23*(4), 453-457.

Boesveldt, S., de Muinck Keizer, R. J., Knol, D. L., Wolters, E. C., & Berendse, H. W. (2008). Extended testing across, not within, tasks raises diagnostic accuracy of smell testing in Parkinson's disease. *Mov Disord*.

Boesveldt, S., Verbaan, D., Knol, D. L., Visser, M., van Rooden, S. M., van Hilten, J. J., et al. (2008). A comparative study of odor identification and odor discrimination deficits in Parkinson's disease. *Mov Disord, 23*(14), 1984-1990.

Bohnen, N. I., Gedela, S., Kuwabara, H., Constantine, G. M., Mathis, C. A., Studenski, S. A., et al. (2007). Selective hyposmia and nigrostriatal dopaminergic denervation in Parkinson's disease. *J Neurol, 254*(1), 84-90.

Bohnen, N. I., Gedela, S., Herath, P., Constantine, G. M., & Moore, R. Y. (2008). Selective hyposmia in Parkinson disease: Association with hippocampal dopamine activity. *Neurosci Lett, 447*(1), 12-16.

Bortz, J. (1999). Statistik für Sozialwissenschaftler. Springer, Berlin.

Bouvet, J., Delaleu, J.C., Holley, A. (1987): Does trigeminal nerve control the activity of olfactory receptor cells? *Ann NY Acad Sci*; 510:187–189.

Boyle, J. A., Heinke, M., Gerber, J., Frasnelli, J., & Hummel, T. (2007). Cerebral activation to intranasal chemosensory trigeminal stimulation. *Chem Senses, 32*(4), 343-353.

Bramerson, A., Nordin, S., & Bende, M. (2007). Clinical experience with patients with olfactory complaints, and their quality of life. *Acta Otolaryngol, 127*(2), 167-174.

Brand, G. (2006). Olfactory/trigeminal interactions in nasal chemoreception. *Neurosci Biobehav Rev, 30*(7), 908-917.

Breer, H., Fleischer, J., & Strotmann, J. (2006). The sense of smell: multiple olfactory subsystems. *Cell Mol Life Sci, 63*(13), 1465-1475.

Bromley, S.M. % Doty, R.L. (1995). Odor recognition memory is better under bilateral than unilateral test conditions. *Cortex;* 31(1): 25-40.

Brown, W. (1910). Some experimental results in the correlation of mental abilities. *British Journal of Psychology;* 3: 296-322.

Buck, L. B. (2004). Olfactory receptors and odor coding in mammals. *Nutr Rev, 62*(11 Pt 2), S184-188; discussion S224-141.

Buck, L. & Axel, R. (1991). A Novel Multigene Family May Encode Odorant Receptors: A Molecular Basis for Odor Recognition. *Cell,* 65; 175-187.

Bühner, M. (2004). Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion. Pearson Studium: München.

Cain, W. S., Gent, J., Catalanotto, F. A., & Goodspeed, R. B. (1983). Clinical evaluation of olfaction. *Am J Otolaryngol, 4*(4), 252-256.

Cain, W. S., Gent, J. F., Goodspeed, R. B., & Leonard, G. (1988). Evaluation of olfactory dysfunction in the Connecticut Chemosensory Clinical Research Center. *Laryngoscope, 98*(1), 83-88.

Callendar, J.C. & Osburn, H.G. (1977). A Method for Maximizing Split-Half Reliability Coefficients. *Educational and Psychological Measurement;* 37(4): 819-825.

Calza, L., Forrest, D., Vennstrom, B., & Hokfelt, T. (2000). Expression of peptides and other neurochemical markers in hypothalamus and olfactory bulb of mice devoid of all known thyroid hormone receptors. *Neuroscience, 101*(4), 1001-1012.

Campbell, J. P. Psychometric theory. (1976). In Dunnette, M. D. (Ed.) Handbook of industrial and organizational psychology. Chicago: Rand McNally.

Carroll, B., Richardson, J. T., & Thompson, P. (1993). Olfactory information processing and temporal lobe epilepsy. *Brain Cogn, 22*(2), 230-243.

Cascella, N. G., Takaki, M., Lin, S., & Sawa, A. (2007). Neurodevelopmental involvement in schizophrenia: the olfactory epithelium as an alternative model for research. *J Neurochem, 102*(3), 587-594.

Cashion, L., Livermore, A., & Hummel, T. (2006). Odour suppression in binary mixtures. *Biol Psychol, 73*(3), 288-297.

Caterina, M. J., Leffler, A., Malmberg, A. B., Martin, W. J., Trafton, J., Petersen-Zeitz, K. R., et al. (2000). Impaired nociception and pain sensation in mice lacking the capsaicin receptor. *Science, 288*(5464), 306-313.

Chakour, M. C., Gibson, S. J., Bradbeer, M., & Helme, R. D. (1996). The effect of age on A delta- and C-fibre thermal pain perception. *Pain, 64*(1), 143-152.

Chesselet, M. F. (2008). In vivo alpha-synuclein overexpression in rodents: a useful model of Parkinson's disease? *Exp Neurol, 209*(1), 22-27.

Christensen, T. A., Pawlowski, V. M., Lei, H., & Hildebrand, J. G. (2000). Multi-unit recordings reveal context-dependent modulation of synchrony in odor-specific neural ensembles. *Nat Neurosci, 3*(9), 927-931.

Ciumas, C., Lindstrom, P., Aoun, B., & Savic, I. (2008). Imaging of odor perception delineates functional disintegration of the limbic circuits in mesial temporal lobe epilepsy. *Neuroimage, 39*(2), 578-592.

Cleland, T. A., & Narla, V. A. (2003). Intensity modulation of olfactory acuity. *Behav Neurosci, 117*(6), 1434-1440.

Cohen, J. Statistical power analysis for the behavioural sciences. Hillsdale, NJ.

Cometto-Muniz, J.E. & Cain, W.S. (1984). Temporal integration of pungency. *Chemical Senses;* 8:315.327.

Cometto-Muniz, J. E., & Noriega, G. (1985). Gender differences in the perception of pungency. *Physiol Behav, 34*(3), 385-389.

Cometto-Muniz, J. E., & Cain, W. S. (1998). Trigeminal and olfactory sensitivity: comparison of modalities and methods of measurement. *Int Arch Occup Environ Health, 71*(2), 105-110.

Cometto-Muniz, J. E., Cain, W. S., Abraham, M. H., & Kumarsingh, R. (1998). Trigeminal and olfactory chemosensory impact of selected terpenes. *Pharmacol Biochem Behav, 60*(3), 765-770.

Cometto-Muniz, J. E., Cain, W. S., Abraham, M. H., & Gola, J. M. (1999). Chemosensory detectability of 1-butanol and 2-heptanone singly and in binary mixtures. *Physiol Behav, 67*(2), 269-276.

Cometto-Muniz, J. E., Cain, W. S., & Abraham, M. H. (2005). Determinants for nasal trigeminal detection of volatile organic compounds. *Chem Senses, 30*(8), 627-642.

Compton, M.T., McKenzie Mack, L., Esterberg, M.L., Bercu, Z., Kryda, A.D., Quintero, L., Weiss, P.S. & Walker, E.F. (2006). Associations between olfactory identification and verbal memory in patients with schizophrenia, first-degree relatives, and non-psychiatric controls. *Schizophrenia Research;* 86 (1-3): 164-166.

Corwin, H. L., Sprague, S. M., DeLaria, G. A., & Norusis, M. J. (1989). Acute renal failure associated with cardiac operations. A case-control study. *J Thorac Cardiovasc Surg, 98*(6), 1107-1112.

Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika;*, 16, 297-334.

Cronbach, L.J. & Meehl, P.E. (1955). Construct Validity in psychological Tests. *Psychological Bulletin,* 52: 281-302.

Cryan, J. F., & Mombereau, C. (2004). In search of a depressed mouse: utility of models for studying depression-related behavior in genetically modified mice. *Mol Psychiatry, 9*(4), 326-357.

Dade, L.A., Zatorre, R.J., Evans, A.C. & Jones-Gotman, M. (2001). Working Memory in Another Dimension: Functional Imaging of Human Olfactory Working Memory. *NeuroImage;* 14(3): 650-660.

Dalton, P. (1996). Odor perception and beliefs about risk. *Chemical senses;* 21: 447-458.

Dalton, P., Doolittle, N., Nagata, H., & Breslin, P. A. (2000). The merging of the senses: integration of subthreshold taste and smell. *Nat Neurosci, 3*(5), 431-432.

De Araujo, I.E.T., Rolls, E.T., Kringelbach, M.L., McGlone, F. & Phillips, N. (2003). Taste-olfactory convergence, and the representation of the pleasantness of flavour, in the human brain. *European Journal of Neuroscience,* 18(7), 2059-2068.

Delplanque, S., Grandjean, D., Chrea, C., Aymard, L., Cayeux, I., Le Calve, B., et al. (2008). Emotional processing of odors: evidence for a nonlinear relation between pleasantness and familiarity evaluations. *Chem Senses, 33*(5), 469-479.

Devanand, D. P., Tabert, M. H., Cuasay, K., Manly, J. J., Schupf, N., Brickman, A. M., et al. (2008). Olfactory identification deficits and MCI in a multi-ethnic elderly community sample. *Neurobiol Aging*.

Devanand, D. P., Liu, X., Tabert, M. H., Pradhaban, G., Cuasay, K., Bell, K., et al. (2008). Combining early markers strongly predicts conversion from mild cognitive impairment to Alzheimer's disease. *Biol Psychiatry, 64*(10), 871-879.

Distel, H., Ayabe-Kanamura, S., Martínez-Gómez, M., Schicker, I., Kobayakawa, T., Saito, S. & Hudson, R. (1999). Perception of Everyday Odors—Correlation between Intensity, Familiarity and Strength of Hedonic Judgement. *Chemical Senses;* 24: 191-199.

Distel, H., & Hudson, R. (2001). Judgement of odor intensity is influenced by subjects' knowledge of the odor source. *Chem Senses, 26*(3), 247-251.

Dittman, A. H., Quinn, T. P., Nevitt, G. A., Hacker, B., & Storm, D. R. (1997). Sensitization of olfactory guanylyl cyclase to a specific imprinted odorant in coho salmon. *Neuron, 19*(2), 381-389.

Djaldetti, R., Nageris, B. I., Lorberboym, M., Treves, T. A., Melamed, E., & Yaniv, E. (2008). [(123)I]-FP-CIT SPECT and olfaction test in patients with combined postural and rest tremor. *J Neural Transm, 115*(3), 469-472.

Dolan, R. J. (2007). The human amygdala and orbital prefrontal cortex in behavioural regulation. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 362*(1481), 787-799.

Doop, M. L., & Park, S. (2006). On knowing and judging smells: identification and hedonic judgment of odors in schizophrenia. *Schizophr Res, 81*(2-3), 317-319.

Doty, R. L. (1975). Intranasal trigeminal detection of chemical vapors by humans. *Physiol Behav, 14*(6), 855-859.

Doty, R. L., Brugger, W. E., Jurs, P. C., Orndorff, M. A., Snyder, P. J., & Lowry, L. D. (1978). Intranasal trigeminal stimulation from odorous volatiles: psychometric responses from anosmic and normal humans. *Physiol Behav, 20*(2), 175-185.

Doty, R. L. (2003a). Introduction and Historical Persepctives. In Doty, R.L. (Ed.), Handbook of olfaction & Gustation, 2nd edition (203-249). New York: Marcel Decker.

Doty, R. L. (2003b). Odor Perception in Neurodegenerative Diseases. In Doty, R.L. (Ed.), Handbook of olfaction & Gustation, 2nd edition (497-502). New York: Marcel Decker.

Doty, R. L., Snyder, P. J., Huggins, G. R., & Lowry, L. D. (1981). Endocrine, cardiovascular, and psychological correlated of olfactory sensitivity changes during the human menstrual cycle. *J Comp Physiol Psychol, 95*(1), 45-60.

Doty, R. L., Shaman, P., & Dann, M. (1984). Development of the University of Pennsylvania Smell Identification Test: a standardized microencapsulated test of olfactory function. *Physiol Behav, 32*(3), 489-502.

Doty, R. L., Deems, D. A., & Stellar, S. (1988). Olfactory dysfunction in parkinsonism: a general deficit unrelated to neurologic signs, disease stage, or disease duration. *Neurology, 38*(8), 1237-1244.

Doty, R. L., Frye, R. E., & Agrawal, U. (1989). Internal consistency reliability of the fractionated and whole University of Pennsylvania Smell Identification Test. *Percept Psychophys, 45*(5), 381-384.

Doty, R. L., Smith, R., McKeown, D. A., & Raj, J. (1994). Tests of human olfactory function: principal components analysis suggests that most measure a common source of variance. *Percept Psychophys, 56*(6), 701-707.

Doty, R. L., McKeown, D. A., Lee, W. W., & Shaman, P. (1995). A study of the test-Re-Test reliability of ten olfactory tests. *Chem Senses, 20*(6), 645-656.

Doty, R. L., Marcus, A., & Lee, W. W. (1996). Development of the 12-aufgabe Cross-

Cultural Smell Identification Test (CC-SIT). *Laryngoscope, 106*(3 Pt 1), 353-356.

Doty, R. L., Li, C., Mannon, L. J., & Yousem, D. M. (1998). Olfactory dysfunction in multiple sclerosis. Relation to plaque load in inferior frontal and temporal lobes. *Ann N Y Acad Sci, 855*, 781-786.

Doty, R.L., Reyes, P.F. & Gregor, T. (1987). Presence of both odor identification and detection deficits in Alzheimer's disease. *Brain Res Bull;* 18(5): 597-600.

Doty, R. L., Li, C., Mannon, L. J., & Yousem, D. M. (1999). Olfactory dysfunction in multiple sclerosis: relation to longitudinal changes in plaque numbers in central olfactory structures. *Neurology, 53*(4), 880-882.

Doty, R. L., Diez, J. M., Turnacioglu, S., McKeown, D. A., Gledhill, J., Armstrong, K., et al. (2003). Influences of feedback and ascending and descending trial presentations on perithreshold odor detection performance. *Chem Senses, 28*(6), 523-526.

Doty, R. L. & Cometto-Muniz, J.E. (2003). Trigeminal Chemosensation. In Doty, R.L. (Ed.), Handbook of olfaction & Gustation, 2nd edition (203-249). New York: Marcel Decker.

Doty, R. L. & Laing, D. G. (2003). Psychophysiological measurement of human olfactory function, including odorant mixture assessement. In Doty, R.L. (Ed.), Handbook of olfaction & Gustation, 2nd edition (203-249). New York: Marcel Decker.

Doty, R. L. (2008). The olfactory vector hypothesis of neurodegenerative disease: is it viable? *Ann Neurol, 63*(1), 7-15.

Dravnieks A, Masurat T. & Lamm R.A. (1984). Hedonies of odors and odor descriptors. *J Air Poll Control Assoc* 34: 752-755.

Duchamp-Viret, P., Chaput, M. A., & Duchamp, A. (1999). Odor response properties of rat olfactory receptor neurons. *Science, 284*(5423), 2171-2174.

Duchamp-Viret, P., Duchamp, A., & Chaput, M. A. (2003). Single olfactory sensory neurons simultaneously integrate the components of an odour mixture. *Eur J Neurosci, 18*(10), 2690-2696.

Duda, J. E., Shah, U., Arnold, S. E., Lee, V. M., & Trojanowski, J. Q. (1999). The expression of alpha-, beta-, and gamma-synucleins in olfactory mucosa from patients with and without neurodegenerative diseases. *Exp Neurol, 160*(2), 515-522.

Dulac, C., & Wagner, S. (2006). Genetic analysis of brain circuits underlying pheromone signaling. *Annu Rev Genet, 40*, 449-467.

Engen, T., Kuisma, J.E. & Dimas, P.D. (1973). Short-term memory of odors. *Journal of Experimental Psychology,* 99(2), 222-225.

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39, 175-191.

Fernagut, P. O., Hutson, C. B., Fleming, S. M., Tetreaut, N. A., Salcedo, J., Masliah, E., et al. (2007). Behavioral and histopathological consequences of paraquat intoxication in mice: effects of alpha-synuclein over-expression. *Synapse, 61*(12), 991-1001.

Finger, T. E., St Jeor, V. L., Kinnamon, J. C., & Silver, W. L. (1990). Ultrastructure of substance P- and CGRP-immunoreactive nerve fibers in the nasal epithelium of rodents. *J Comp Neurol, 294*(2), 293-305.

Finger, T. E., & Bottger, B. (1993). Peripheral peptidergic fibers of the trigeminal nerve in the olfactory bulb of the rat. *J Comp Neurol, 334*(1), 117-124.

Firestein, S. (2001). How the olfactory system makes sense of scents. *Nature,* 413: 211-218.

Firestein, S., & Werblin, F. (1989). Odor-induced membrane currents in vertebrate-olfactory receptor neurons. *Science, 244*(4900), 79-82.

Fleming, S. M., Tetreault, N. A., Mulligan, C. K., Hutson, C. B., Masliah, E., & Chesselet, M. F. (2008). Olfactory deficits in mice overexpressing human wildtype alpha-synuclein. *Eur J Neurosci, 28*(2), 247-256.

Fox, A. N., Pitts, R. J., Robertson, H. M., Carlson, J. R., & Zwiebel, L. J. (2001). Candidate odorant receptors from the malaria vector mosquito Anopheles gambiae and evidence of down-regulation in response to blood feeding. *Proc Natl Acad Sci U S A, 98*(25), 14693-14697.

Frank, R. A., Dulay, M. F., & Gesteland, R. C. (2003). Assessment of the Sniff Magnitude Test as a clinical test of olfactory function. *Physiol Behav, 78*(2), 195-204.

Franks, K. M., & Isaacson, J. S. (2006). Strong single-fiber sensory inputs to olfactory cortex: implications for olfactory coding. *Neuron, 49*(3), 357-363.

Frasnelli, J., & Hummel, T. (2003). Age-related decline of intranasal trigeminal sensitivity: is it a peripheral event? *Brain Res, 987*(2), 201-206.

Frasnelli, J., Heilmann, S., & Hummel, T. (2004). Responsiveness of human nasal mucosa to trigeminal stimuli depends on the site of stimulation. *Neurosci Lett, 362*(1), 65-69.

Frasnelli, J., & Hummel, T. (2005). Olfactory dysfunction and daily life. *Eur Arch Otorhinolaryngol, 262*(3), 231-235.

Frasnelli, J., Wohlgemuth, C., & Hummel, T. (2006). The influence of stimulus duration on odor perception. *Int J Psychophysiol, 62*(1), 24-29.

Frasnelli, J., Schuster, B., Zahnert, T., & Hummel, T. (2006). Chemosensory specific reduction of trigeminal sensitivity in subjects with olfactory dysfunction. *Neuroscience, 142*(2), 541-546.

Frasnelli, J., Charbonneau, G., Collignon, O., & Lepore, F. (2008). Odor Localization and Sniffing. *Chem Senses*.

Frasnelli J., Charbonneau, G., Collignon, O. & Lepore, F. (2009). Lodor Localization and Sniffing. *Chem Senses,* 34, 139-144.

Frijters, J.E.R., Kooistra, A. & Vereijken, P.F.G. (1980). Tables of d' for the triangular method and the 3-AFC signal detection procedure. *Perception & Psychophysics;* 27(2): 176-178.

Frings, S. (2001). Chemoelectrical signal transduction in olfactory sensory neurons of air-breathing vertebrates. *Cell Mol Life Sci, 58*(4), 510-519.

Frye, R. E., Schwartz, B. S., & Doty, R. L. (1990). Dose-related effects of cigarette smoking on olfactory function. *Jama, 263*(9), 1233-1236.

Fujishiro, H., Tsuboi, Y., Lin, W. L., Uchikado, H., & Dickson, D. W. (2008). Co-localization of tau and alpha-synuclein in the olfactory bulb in Alzheimer's disease with amygdala Lewy bodies. *Acta Neuropathol, 116*(1), 17-24.

Furudono, Y. Sone, Y., Takizawa, K. Hirono, J. & Sato, T. (2009). Relationship between Peripheral Receptor Code and perceived odor quality. *Chem Senses,* 34, 151-158.

Fujiwara, E., Schwartz, M. L., Gao, F., Black, S. E., & Levine, B. (2008). Ventral frontal cortex functions and quantified MRI in traumatic brain injury. *Neuropsychologia, 46*(2), 461-474.

Garcia Medina, M. R., & Cain, W. S. (1982). Bilateral integration in the common chemical sense. *Physiol Behav, 29*(2), 349-353.

Geddes, J., Huws, R. & Pratt, P. (1991). Olfactory acuity in the positive and negative syndromes in schizophrenia. *Biol Psychiatry,* 29, 774-778.

Gilbert, C. D., Sigman, M., & Crist, R. E. (2001). The neural basis of perceptual learning. *Neuron, 31*(5), 681-697.

Godfrey, P.A., Malnic, B. & Buck, L. (2004). The mouse olfactory receptor gene familiy. *PNAS,* 101(7): 2156-2161.

Goldstein, D. S., Holmes, C., Bentho, O., Sato, T., Moak, J., Sharabi, Y., et al. (2008). Biomarkers to detect central dopamine deficiency and distinguish Parkinson disease from multiple system atrophy. *Parkinsonism Relat Disord, 14*(8), 600-607.

Good, K. P., Whitehorn, D., Rui, Q., Milliken, H., & Kopala, L. C. (2006). Olfactory identification deficits in first-episode psychosis may predict patients at risk for persistent negative and disorganized or cognitive symptoms. *Am J Psychiatry, 163*(5), 932-933.

Gottfried, J. A., O'Doherty, J., & Dolan, R. J. (2003). Encoding predictive reward value in human amygdala and orbitofrontal cortex. *Science, 301*(5636), 1104-1107.

Gottfried, J. A., & Zald, D. H. (2005). On the scent of human olfactory orbitofrontal cortex: meta-analysis and comparison to non-human primates. *Brain Res Brain Res Rev, 50*(2), 287-304.

Grabenhorst, F., Rolls, E.T., Margot, C., da Silva, M.A.A.P. & Velazco, M.I. (2007). How Pleasant and Unpleasant Stimuli Combine in Different Brain Regions: Odor Mixtures. *The Journal of Neuroscience;* 27(49): 13532-13540.

Gray, A.J., Staples, V., Murren, K., Dhariwal, A & Bentham, P. (2001). Olfactory identification is impaired in clinic-based patients with vascular dementia and senile dementia of Alzheimer type. Int J Geriatr Psychiatry;16(5):513-517.

Gross-Isseroff, R. & Lancet, D. (1988). Concentration-dependent changes of perceived odor quality. *Chemical Senses, 13*(2), 191-204.

Gudziol, H., Schubert, M., & Hummel, T. (2001). Decreased trigeminal sensitivity in anosmia. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec, 63*(2), 72-75.

Gulliksen, H. (1950). Theory of mental tests. New York: Wiley.

Guttman, L. (1945). A basis for analyzing test-;Re-Test reliability. *Psychometrika*, 10, 255-282.

Haberly, L. B. (2001). Parallel-distributed processing in olfactory cortex: new insights from morphological and physiological analysis of neuronal circuitry. *Chem Senses, 26*(5), 551-576.

Hari, R., Portin, K., Kettenmann, B., Jousmaki, V., & Kobal, G. (1997). Right-hemisphere preponderance of responses to painful Kohlendioxid stimulation of the human nasal mucosa. *Pain, 72*(1-2), 145-151.

Harrison, T. A., & Scott, J. W. (1986). Olfactory bulb responses to odor stimulation: analysis of response pattern and intensity relationships. *J Neurophysiol, 56*(6), 1571-1589.

Hasselmo, M.E., Schnell, E. & Barkai, E. (1995). Dynamics of Learning and Recall at Excitatory Recurrent Synapses and Cholinergic Modulation in Rat Hippocampal Region CA3. *The Journal of Neuroscience;* 15(4): 5249-5262.

Hawkes, C. H., & Shephard, B. C. (1998). Olfactory evoked responses and identification tests in neurological disease. *Ann N Y Acad Sci, 855*, 608-615.

Hawkes, C. (2004). Olfactory testing in parkinsonism. *Lancet Neurol, 3*(7), 393-394.

Heilmann, S., Strehle, G., Rosenheim, K., Damm, M., & Hummel, T. (2002). Clinical assessment of retronasal olfactory function. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg, 128*(4), 414-418.

Henion, K. E. (1971). Odor pleasantness and intensity: a single dimension? *J Exp Psychol, 90*(2), 275-279.

Henning, H. (1924). Der Geruch. Ein Handbuch. Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig.

Herting, B., Bietenbeck, S., Scholz, K., Hähner, A., Hummel, T. & Reichmann, H. (2008). Riechstörungen bei Morbus Parkinson. *Der Nervenarzt;* 79(2): 175-184.

Herting, B., Schulze, S., Reichmann, H., Haehner, A., & Hummel, T. (2008). A longitudinal study of olfactory function in patients with idiopathic Parkinson's disease. *J Neurol, 255*(3), 367-370.

Herting, B., Schulze, S., Reichmann, H., Haehner, A., & Hummel, T. (2008). A longitudinal study of olfactory function in patients with idiopathic Parkinson's disease. *J Neurol, 255*(3), 367-370.

Hock, C., Golombowski, S., Muller-Spahn, F., Peschel, O., Riederer, A., Probst, A., et al. (1998). Histological markers in nasal mucosa of patients with Alzheimer's disease. *Eur Neurol, 40*(1), 31-36.

Hornung, D. E., Chin, C., Kurtz, D. B., Kent, P. F., & Mozell, M. M. (1997). Effect of nasal dilators on perceived odor intensity. *Chem Senses, 22*(2), 177-180.

Hulshoff Pol, H. E., Hijman, R., Tulleken, C. A., Heeren, T. J., Schneider, N., & van Ree, J. M. (2002). Odor discrimination in patients with frontal lobe damage and Korsakoff's syndrome. *Neuropsychologia, 40*(7), 888-891.

Hummel, T., Livermore, A., Hummel, C., & Kobal, G. (1992). Chemosensory event-related potentials in man: relation to olfactory and painful sensations elicited by nicotine. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 84*(2), 192-195.

Hummel, T., Barz, S., Lotsch, J., Roscher, S., Kettenmann, B., & Kobal, G. (1996). Loss of olfactory function leads to a decrease of trigeminal sensitivity. *Chem Senses, 21*(1), 75-79.

Hummel, T., Sekinger, B., Wolf, S. R., Pauli, E., & Kobal, G. (1997). 'Sniffin' sticks': olfactory performance assessed by the combined testing of odor identification, odor discrimination and olfactory threshold. *Chem Senses, 22*(1), 39-52.

Hummel, T. (2000). Assessment of intranasal trigeminal function. *Int J Psychophysiol, 36*(2), 147-155.

Hummel, T., & Livermore, A. (2002). Intranasal chemosensory function of the trigeminal nerve and aspects of its relation to olfaction. *Int Arch Occup Environ Health, 75*(5), 305-313.

Hummel, T., Futschik, T., Frasnelli, J., & Huttenbrink, K. B. (2003). Effects of olfactory function, age, and gender on trigeminally mediated sensations: a study based on the lateralization of chemosensory stimuli. *Toxicol Lett, 140-141*, 273-280.

Hummel, T., Guel, H., & Delank, W. (2004). Olfactory sensitivity of subjects working in odorous environments. *Chem Senses, 29*(6), 533-536.

Hummel, T., Doty, R. L., & Yousem, D. M. (2005). Functional MRI of intranasal chemosensory trigeminal activation. *Chem Senses, 30 Suppl 1*, i205-206.

Hummel, T., Kobal, G., Gudziol, H., & Mackay-Sim, A. (2007). Normative data for the "Sniffin' Sticks" including tests of odor identification, odor discrimination, and olfactory thresholds: an upgrade based on a group of more than 3,000 subjects. *Eur Arch Otorhinolaryngol, 264*(3), 237-243.

Husner, A., Frasnelli, J., Welge-Lussen, A., Reiss, G., Zahnert, T., & Hummel, T. (2006). Loss of trigeminal sensitivity reduces olfactory function. *Laryngoscope, 116*(8), 1520-1522.

Iannilli, E., Gerber, J., Frasnelli, J., & Hummel, T. (2007). Intranasal trigeminal function in subjects with and without an intact sense of smell. *Brain Res, 1139*, 235-244.

Ikemoto, S. (2007). Dopamine reward circuitry: two projection systems from the ventral midbrain to the nucleus accumbens-olfactory tubercle complex. *Brain Res Rev, 56*(1), 27-78.

Illig, K. R., & Eudy, J. D. (2009). Contralateral projections of the rat anterior olfactory nucleus. *J Comp Neurol, 512*(1), 115-123.

Inokuchi, A., Kimmelman, C. P., & Snow, J. B., Jr. (1993). Convergence of olfactory and nasotrigeminal inputs and possible trigeminal contributions to olfactory responses in the rat thalamus. *Eur Arch Otorhinolaryngol, 249*(8), 473-477.

Ishimaru, T., Scheibe, M., Gudziol, V., & Negoias, S. (2008). Recordings of the optical intrinsic signal from the middle turbinate in response to olfactory and trigeminal stimulation: a pilot study. *Eur Arch Otorhinolaryngol, 265*(7), 781-785.

Jackman, A. H., & Doty, R. L. (2005). Utility of a three-aufgabe smell identification test in detecting olfactory dysfunction. *Laryngoscope, 115*(12), 2209-2212.

Jacquot, L. , Monnin, J. & Brand, G. (2004). Unconscious odor detection could not be due to odor itself. *Brain Research;* 1002 (1-2): 51-54.

Jarosik, J., Legutko, B., Unsicker, K., & von Bohlen Und Halbach, O. (2007). Antidepressant-mediated reversal of abnormal behavior and neurodegeneration in mice following olfactory bulbectomy. *Exp Neurol, 204*(1), 20-28.

Jehl, C., Royet, J.P. & Holley, A. (1994). Very short term recognition memory for odors. *Perception & Psychophysics,* 56(6), 658-668.

Jehl, C., Royet, J.P. & Holley, A. (1997). Role of verbal encoding in short- and long term odor recognition. *Perception & Psychophysics,* 59(1), 100-110.

Jellinger, K. A. (2008). Neuropathological aspects of Alzheimer disease, Parkinson disease and frontotemporal dementia. *Neurodegener Dis, 5*(3-4), 118-121.

Jinks, A., & Laing, D. G. (2001). The analysis of odor mixtures by humans: evidence for a configurational process. *Physiol Behav, 72*(1-2), 51-63.

Johnson, D. M., Illig, K. R., Behan, M., & Haberly, L. B. (2000). New features of connectivity in piriform cortex visualized by intracellular injection of pyramidal cells suggest that "primary" olfactory cortex functions like "association" cortex in other sensory systems. *J Neurosci, 20*(18), 6974-6982.

Johnson, B. A., & Leon, M. (2000). Modular representations of odorants in the glomerular layer of the rat olfactory bulb and the effects of stimulus concentration. *J Comp Neurol, 422*(4), 496-509.

Jones, N. & Reed, S. (1989). GOLF: An olfactory neuron specific G-protein involved in odorant signal transduction. *Science,* 224(4906): 790-795.

Jones, N. G., Slater, R., Cadiou, H., McNaughton, P., & McMahon, S. B. (2004). Acid-induced pain and its modulation in humans. *J Neurosci, 24*(48), 10974-10979.

Kamami, Y. V., Pandraud, L., & Bougara, A. (2000). Laser-assisted outpatient septoplasty: results in 703 patients. *Otolaryngol Head Neck Surg, 122*(3), 445-449.

Kamath, V., & Bedwell, J. S. (2008). Olfactory identification performance in individuals with psychometrically-defined schizotypy. *Schizophr Res, 100*(1-3), 212-215.

Kaneda, H., Maeshima, K., Goto, N., Kobayakawa, T., Ayabe-Kanamura, S., & Saito, S. (2000). Decline in taste and odor discrimination abilities with age, and relationship between gustation and olfaction. *Chem Senses, 25*(3), 331-337.

Kanter, E. D., & Haberly, L. B. (1990). NMDA-dependent induction of long-term potentiation in afferent and association fiber systems of piriform cortex in vitro. *Brain Res, 525*(1), 175-179.

Kashiwadani, H., Sasaki, Y. F., Uchida, N., & Mori, K. (1999). Synchronized oscillatory discharges of mitral/tufted cells with different molecular receptive ranges in the rabbit olfactory bulb. *J Neurophysiol, 82*(4), 1786-1792.

Kay, L. M., & Sherman, S. M. (2007). An argument for an olfactory thalamus. *Trends Neurosci, 30*(2), 47-53.

Keller, A., Zhuang, H., Chi, Q., Vosshall, L. B., & Matsunami, H. (2007). Genetic variation in a human odorant receptor alters odour perception. *Nature, 449*(7161), 468-472.

Kettenmann, B., Jousmaki, V., Portin, K., Salmelin, R., Kobal, G., & Hari, R. (1996). Odorants activate the human superior temporal sulcus. *Neurosci Lett, 203*(2), 143-145.

Khan, A. G., Thattai, M., & Bhalla, U. S. (2008). Odor representations in the rat olfactory bulb change smoothly with morphing stimuli. *Neuron, 57*(4), 571-585.

Kikuta, S., Kashiwadani, H., & Mori, K. (2008). Compensatory rapid switching of binasal inputs in the olfactory cortex. *J Neurosci, 28*(46), 11989-11997.

Kim, J. Y., Lee, W. Y., Chung, E. J., & Dhong, H. J. (2007). Analysis of olfactory function and the depth of olfactory sulcus in patients with Parkinson's disease. *Mov Disord, 22*(11), 1563-1566.

Kobal, G., & Hummel, C. (1988). Cerebral chemosensory evoked potentials elicited by chemical stimulation of the human olfactory and respiratory nasal mucosa. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 71*(4), 241-250.

Kobal, G., Van Toller, S. & Hummel, T. (1989). Is there directional smelling? *Cellular and Molecular Life Sciences;* 45(2): 130-132.

Kobayashi, T., Sakai, N., Kobayakawa, T., Akiyama, S., Toda, H., & Saito, S. (2008). Effects of cognitive factors on perceived odor intensity in adaptation/habituation processes: from 2 different odor presentation methods. *Chem Senses, 33*(2), 163-171.

Köster, E. P. (2002). The specific characteristics of the sense of smell. In C. Rouby, B. Schaal, D. Dubois, R. Gervais & A. Holley (Hrsg.), Olfaction, Taste, and Cognition (27-43). New York: Cambridge University Press.

Kohler, C. G., Moberg, P. J., Gur, R. E., O'Connor, M. J., Sperling, M. R., & Doty, R. L. (2001). Olfactory dysfunction in schizophrenia and temporal lobe epilepsy. *Neuropsychiatry Neuropsychol Behav Neurol, 14*(2), 83-88.

Kohler, C. G., Barrett, F. S., Gur, R. C., Turetsky, B. I., & Moberg, P. J. (2007). Association between facial emotion recognition and odor identification in schizophrenia. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci, 19*(2), 128-131.

Koman, A., Harayama, S., & Hazelbauer, G. L. (1979). Relation of chemotactic response to the amount of receptor: evidence for different efficiencies of signal transduction. *J Bacteriol, 138*(3), 739-747.

Kratskin, I. L. & Belluzzi, O. (2003). Anatomy and neurochemistry of the olfactory bulb. In Doty, R.L. (Ed.), Handbook of olfaction & Gustation, 2nd edition (139-164). New York: Marcel Decker.

Krauth, J. (1995). Testkonstruktion und Testtheorie. Weinheim: Beltz PVU.

Kreher, S. A., Mathew, D., Kim, J., & Carlson, J. R. (2008). Translation of sensory input into behavioral output via an olfactory system. *Neuron, 59*(1), 110-124.

Krishtal, O. A., & Pidoplichko, V. I. (1981). A receptor for protons in the membrane of sensory neurons may participate in nociception. *Neuroscience, 6*(12), 2599-2601.

Krüger, S., Haehner, A. Thiem, C. & Hummel, T. (2008). Neuroleptic-induced parkinsonism is associated with olfactory dysfunction. *Journal of Neurology;* 255(10): 1574-1579.

Kuder, G.F. & Richardson, M.W. (1937). The theory of the estimation of test reliability. *Psychometrika,* 2(3): 151-160.

Laing, D.G. (1983). Natural sniffing gives optimum odour perception for humans. *Perception,* 12, 99-117.

Laing, D. G. (1985). Optimum perception of odor intensity by humans. *Physiol Behav, 34*(4), 569-574.

Laing, D.G. (1986). Identification of single dissimilar odors is achieved by humans with a single sniff. *Physiology & Behavior,* 37, 163-170.

Laing, D.G. & Willcox, M.E. (1983). Perception of components in binary odour mixtures. *Chemical Senses;* 7(3-4): 249-264

Laing, D. G., Panhuber, H., Willcox, M. E., & Pittman, E. A. (1984). Quality and intensity of binary odor mixtures. *Physiol Behav, 33*(2), 309-319.

.Laing, D. G., & Francis, G. W. (1989). The capacity of humans to identify odors in mixtures. *Physiol Behav, 46*(5), 809-814.

Laing, D. G., & Glemarec, A. (1992). Selective attention and the perceptual analysis of odor mixtures. *Physiol Behav, 52*(6), 1047-1053.

Landis, B.N., Hummel, T., Hugentobler, M., Giger, R. & Lacroix, J.S. (2003). Ratings of overall olfactory function. *Chemical Senses;* 28: 691-694.

Landis, B. N., & Burkhard, P. R. (2008). Phantosmias and Parkinson disease. *Arch Neurol, 65*(9), 1237-1239.

Lang, P. M., Burgstahler, R., Sippel, W., Irnich, D., Schlotter-Weigel, B., & Grafe, P. (2003). Characterization of neuronal nicotinic acetylcholine receptors in the membrane of unmyelinated human C-fiber axons by in vitro studies. *J Neurophysiol, 90*(5), 3295-3303.

Lansky, P., & Rospars, J. P. (1993). Coding of odor intensity. *Biosystems, 31*(1), 15-38.

Laska, M., Distel, H., & Hudson, R. (1997). Trigeminal perception of odorant quality in congenitally anosmic subjects. *Chem Senses, 22*(4), 447-456.

Laudien, J. H., Wencker, S., Ferstl, R., & Pause, B. M. (2008). Context effects on odor processing: an event-related potential study. *Neuroimage, 41*(4), 1426-1436.

Laurent, G., Stopfer, M., Friedrich, R.W., Rabinovich, M.I., Volkovskii, A. & Abarbanel, H.D.I. (2001). Odor encoding as an active, dynamical process: Experiments, Computaion and theory. *Annu. Rev. Neuosci,*24: 263-297..

Lazic, S. E., Goodman, A. O., Grote, H. E., Blakemore, C., Morton, A. J., Hannan, A. J., et al. (2007). Olfactory abnormalities in Huntington's disease: decreased plasticity in the primary olfactory cortex of R6/1 transgenic mice and reduced olfactory discrimination in patients. *Brain Res, 1151*, 219-226.

Lehrner, J. & Deecke, L. (2000). Die Wiener Olfaktorische Testbatterie (WOBT). *Akt Neuol;* 27:170-177.

Lindvall, T., & Svensson, L. T. (1973). A quantitative principle of perceived intensity summation in odor mixtures. *J Exp Psychol, 100*(1), 29-38.

Litaudon, P., Mouly, A. M., Sullivan, R., Gervais, R., & Cattarelli, M. (1997). Learning-induced changes in rat piriform cortex activity mapped using multisite recording with voltage sensitive dye. *Eur J Neurosci, 9*(8), 1593-1602.

Lienert, G. & Raatz, U. (1994). Testaufbau und Testanalyse. 6. Überarbeitete Auflage, Psychologie Verlags Union, Weinheim.

Livermore, A., Hummel, T., & Kobal, G. (1992). Chemosensory event-related potentials in the investigation of interactions between the olfactory and the somatosensory (trigeminal) systems. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 83*(3), 201-210.

Livermore, A., & Laing, D. G. (1996). Influence of training and experience on the perception of multicomponent odor mixtures. *J Exp Psychol Hum Percept Perform, 22*(2), 267-277.

Livermore, A., & Laing, D. G. (1998). The influence of chemical complexity on the perception of multicomponent odor mixtures. *Percept Psychophys, 60*(4), 650-661.

Livermore, A., & Hummel, T. (2004). The influence of training on chemosensory event-related potentials and interactions between the olfactory and trigeminal systems. *Chem Senses, 29*(1), 41-51.

Lomion-Pouthier, S., Vandel, P., Nezelof, S., Haffen, E., & Millot, J. L. (2006). Odor perception in patients with mood disorders. *J Affect Disord, 90*(2-3), 187-191.

London, B., Nabet, B., Fisher, A. R., White, B., Sammel, M. D., & Doty, R. L. (2008). Predictors of prognosis in patients with olfactory disturbance. *Ann Neurol, 63*(2), 159-166.

Lotsch, J., Reichmann, H., & Hummel, T. (2008). Different odor tests contribute differently to the evaluation of olfactory loss. *Chem Senses, 33*(1), 17-21.

Loucks, C. A., & Doty, R. L. (2004). Effects of stimulation duration on electrogustometric thresholds. *Physiol Behav, 81*(1), 1-4.

Louis, E. D., Marder, K., Tabert, M. H., & Devanand, D. P. (2008). Mild Parkinsonian signs are associated with lower olfactory test scores in the community-dwelling elderly. *Mov Disord, 23*(4), 524-530.

Lundstrom, J. N., Frasnelli, J., Larsson, M., & Hummel, T. (2005). Sex differentiated responses to intranasal trigeminal stimuli. *Int J Psychophysiol, 57*(3), 181-186.

Lundstrom, J. N., & Hummel, T. (2006). Sex-specific hemispheric differences in cortical activation to a bimodal odor. *Behav Brain Res, 166*(2), 197-203.

Ma, M. (2007). Encoding olfactory signals via multiple chemosensory systems. *Crit Rev Biochem Mol Biol, 42*(6), 463-480.

Mackay-Sim, A. (2003). Neurogenesis in the adult olfactory neuroepithelium. In Doty, R. L. (Ed.), Handbook of olfaction & Gustation, 2nd edition (93-113). New York: Marcel Decker.

Mair, R. G., Doty, R. L., Kelly, K. M., Wilson, C. S., Langlais, P. J., McEntee, W. J., et al. (1986). Multimodal sensory discrimination deficits in Korsakoff's psychosis. *Neuropsychologia, 24*(6), 831-839.

Mak, Y. E., Simmons, K. B., Gitelman, D. R., & Small, D. M. (2005). Taste and olfactory intensity perception changes following left insular stroke. *Behav Neurosci, 119*(6), 1693-1700.

Malnic, B., Hirono, J., Sato, T., & Buck, L. B. (1999). Combinatorial receptor codes for odors. *Cell, 96*(5), 713-723.

Malnic, B., Godfrey, P.A. & Buck, L. (2004). The human olfactory receptor gene familiy. *PNAS,* 101(8): 2584-2598.

Marras, C., Goldman, S., Smith, A., Barney, P., Aston, D., Comyns, K., et al. (2005). Smell identification ability in twin pairs discordant for Parkinson's disease. *Mov Disord, 20*(6), 687-693.

McLaughlin, N. C., & Westervelt, H. J. (2008). Odor identification deficits in frontotemporal dementia: a preliminary study. *Arch Clin Neuropsychol, 23*(1), 119-123.

McLean, D., Feron, F., Mackay-Sim, A., McCurdy, R., Hirning, M., Chant, D., et al. (2004). Paradoxical association between smoking and olfactory identification in psychosis versus controls. *Aust N Z J Psychiatry, 38*(1-2), 81-83.

Meisami, E., & Safari, L. (1981). A quantitative study of the effects of early unilateral olfactory deprivation on the number and distribution of mitral and tufted cells and of glomeruli in the rat olfactory bulb. *Brain Res, 221*(1), 81-107.

Meisami, E., Mikhail, L., Baim, D., & Bhatnagar, K. P. (1998). Human olfactory bulb: aging of glomeruli and mitral cells and a search for the accessory olfactory bulb. *Ann N Y Acad Sci, 855*, 708-715.

Melcher, J.M. & Schooler, J.W. (1996). The Misremembrance of Wines Past: Verbal and Perceptual Expertise Differentially Mediate Verbal Overshadowing of Taste Memory. *Journal of memory and Language;* 35(2): 231-245.

Menco, B. P. (1992). Lectins bind differentially to cilia and microvilli of major and minor cell populations in olfactory and nasal respiratory epithelia. *Microsc Res Tech, 23*(2), 181-199.

Meredith, M. (1986). Patterned response to odor in mammalian olfactory bulb: the influence of intensity. *J Neurophysiol, 56*(3), 572-597.

Meredith, M. (1998). Vomeronasal, olfactory, hormonal convergence in the brain. Cooperation or coincidence? *Ann N Y Acad Sci, 855*, 349-361.

Mesholam, R. I., Moberg, P. J., Mahr, R. N., & Doty, R. L. (1998). Olfaction in neurodegenerative disease: a meta-analysis of olfactory functioning in Alzheimer's and Parkinson's diseases. *Arch Neurol, 55*(1), 84-90.

Moberg, P. J., Arnold, S. E., Doty, R. L., Gur, R. E., Balderston, C. C., Roalf, D. R., et al. (2006). Olfactory functioning in schizophrenia: relationship to clinical, neuropsychological, and volumetric MRI measures. *J Clin Exp Neuropsychol, 28*(8), 1444-1461.

Mombaertz, P. (2004). Genes and ligands for odorant, vomeronasal and taste perception. *Natur Reviews. Neuroscience,* 5 (4); 263-278.

Moosbrugger, H. & Kelava, A. (2007). Qualitätsanforderungen an einen psychologischen Test. In Moosbrugger, H. & Kelava, A. (Ed.). Testtheorie und Fragebogenkonstruktion (8-26). Springer: Heidelberg.

Moran, D. T., Rowley, J. C., 3rd, Jafek, B. W., & Lovell, M. A. (1982). The fine structure of the olfactory mucosa in man. *J Neurocytol, 11*(5), 721-746.

Mori, K., & Yoshihara, Y. (1995). Molecular recognition and olfactory processing in the mammalian olfactory system. *Prog Neurobiol, 45*(6), 585-619.

Mueller, C., Temmel, A. F., Quint, C., Rieger, A., & Hummel, T. (2002). Olfactory function in HIV-positive subjects. *Acta Otolaryngol, 122*(1), 67-71.

Muller, A., Mungersdorf, M., Reichmann, H., Strehle, G., & Hummel, T. (2002). Olfactory function in Parkinsonian syndromes. *J Clin Neurosci, 9*(5), 521-524.

Murphy, C., Doty, R.L. & Duncan, H.J. (2003). Clinical Disorders in olfaction. In Doty, R.L. (Ed.), Handbook of olfaction & Gustation, 2nd edition (461-478). New York: Marcel Decker.

Nachnani, S., Majerus, G., Lenton, P., Hodges, J., & Magallanes, E. (2005). Effects of training on odor judges scoring intensity. *Oral Dis, 11 Suppl 1*, 40-44.

Najbauer, J. & Leon, M. (1995). Olfactory experience modulates apoptosis in the developing olfactory bulb. *Brain research,*674: 245-251.

Navarrete-Palacios, E., Hudson, R., Reyes-Guerrero, G., & Guevara-Guzman, R. (2003). Lower olfactory threshold during the ovulatory phase of the menstrual cycle. *Biol Psychol, 63*(3), 269-279.

Nevitt, G. A., Dittman, A. H., Quinn, T. P., & Moody, W. J., Jr. (1994). Evidence for a peripheral olfactory memory in imprinted salmon. *Proc Natl Acad Sci U S A, 91*(10), 4288-4292.

Nieuwenhuys, R. (2008). The human central nervous system. Springer, Berlin.

Nordin, S., Monsch, A. U., & Murphy, C. (1995). Unawareness of smell loss in normal aging and Alzheimer's disease: discrepancy between self-reported and diagnosed smell sensitivity. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci, 50*(4), P187-192.

Nordin, S., Bramerson, A., Liden, E., & Bende, M. (1998). The Scandinavian Odor-Identification Test: development, reliability, validity and normative data. *Acta Otolaryngol, 118*(2), 226-234.

Oka, Y., Nakamura, A., Watanabe, H., & Touhara, K. (2004). An odorant derivative as an antagonist for an olfactory receptor. *Chem Senses, 29*(9), 815-822.

Oka, Y., Katada, S., Omura, M., Suwa, M., Yoshihara, Y., & Touhara, K. (2006). Odorant receptor map in the mouse olfactory bulb: in vivo sensitivity and specificity of receptor-defined glomeruli. *Neuron, 52*(5), 857-869.

Oka, Y., Omura, M., Kataoka, H. & Touhara, K. (2004). Olfactory receptor antagonism between odorants. *The EMBO Journal;* 23: 120-126.

Olsson, M. J. (1994). An interaction model for odor quality and intensity. *Percept Psychophys, 55*(4), 363-372.

Olsson, M. J. (1998). An integrated model of intensity and quality of odor mixtures. *Ann N Y Acad Sci, 855*, 837-840.

Öngür, D. & Price, J.L.(2000). The Organization of Networks within the orbital and medial prefrontal Cortex of Rats, Monkeys and Humans. *Cerebral Cortex;* 10: 206-219.

Overbosch, P., & De Jong, S. (1989). A theoretical model for perceived intensity in human taste and smell. II. Temporal integration and reaction times. *Physiol Behav, 45*(3), 607-613.

Patterson, M.Q., Stevens, J.C., Cain, W.S. & Cometto-Muniz, J.E. (1993). Detection thresholds for an olfactory mixture and its three constituent compounds. *Chemicel Senses;* 18: 723-734.

Pause, B. M. (2004). Über den Zusammenhang von Geruch und Emotion und deren Bedeutung für klinisch-psychologiche Störungen des Affektes. Papst Sciense Publisher, Lengerich.

Pause, B. M., & Krauel, K. (2000). Chemosensory event-related potentials (CSERP) as a key to the psychology of odors. *Int J Psychophysiol, 36*(2), 105-122.

Pause, B. M., Sojka, B., & Ferstl, R. (1997). Central processing of odor concentration is a temporal phenomenon as revealed by chemosensory event-related potentials (CSERP). *Chem Senses, 22*(1), 9-26.

Pause, B. M., Miranda, A., Goder, R., Aldenhoff, J. B., & Ferstl, R. (2001). Reduced olfactory performance in patients with major depression. *J Psychiatr Res, 35*(5), 271-277.

Pause, B.M., Lembcke, J., Reese, I., Hinze-Selch, D., Aldenhoff, J.B. & Ferstl., R. (2005). Reduzierte geruchliche Sensitivität bei Psychopharmaka-freinen Patienten mit Major-Depression. *Zeitschrift für Klinische Psychologie und Psychotherapie,* 34(2), 79-85.

Pause, B. M., Hellmann, G., Goder, R., Aldenhoff, J. B., & Ferstl, R. (2008). Increased processing speed for emotionally negative odors in schizophrenia. *Int J Psychophysiol, 70*(1), 16-22.

Pedersen, P. E., & Benson, T. E. (1986). Projection of septal organ receptor neurons to the main olfactory bulb in rats. *J Comp Neurol, 252*(4), 555-562.

Petreanu, L., & Alvarez-Buylla, A. (2002). Maturation and death of adult-born olfactory bulb granule neurons: role of olfaction. *J Neurosci, 22*(14), 6106-6113.

Petrulis, A. & Eichenbaum, H. (2003). Olfactory memory. In Doty, R.L. (Ed.), Handbook of olfaction & Gustation, 2nd edition (409-438). New York: Marcel Decker.

Pikänen, A., Pikkarainen, M., Nurminen, N. & Ylinen, A. (2000). Reciprocal Connections between the Amygdala and the Hippocampal Formation, Perirhinal Cortex, and Postrhinal Cortex in Rat. *Annals New York Academy of Sciences*; 911: 396-391.

Philpott, C. M., Bennett, A., & Murty, G. E. (2008). A brief history of olfaction and olfactometry. *J Laryngol Otol, 122*(7), 657-662.

Pollatos, O., Albrecht, J., Kopietz, R., Linn, J., Schoepf, V., Kleemann, A. M., et al. (2007). Reduced olfactory sensitivity in subjects with depressive symptoms. *J Affect Disord, 102*(1-3), 101-108.

Pollatos, O., Kopietz, R., Linn, J., Albrecht, J., Sakar, V., Anzinger, A., et al. (2007). Emotional stimulation alters olfactory sensitivity and odor judgment. *Chem Senses, 32*(6), 583-589.

Porter, J., Anand, T., Johnson, B., Khan, R. M., & Sobel, N. (2005). Brain mechanisms for extracting spatial information from smell. *Neuron, 47*(4), 581-592.

Postolache, T.T., Wehr, T.A., Doty, R.L., Sher, L., Turner, E.H., Bartko, J.J. & Rosenthal, N.E. (2002). Patients with seasonal affective disorder have lower odor detection thresholds than control subjects. *Arch Gen Psychiatry;* 59(12): 1119-1122.

Postolache, T. T., Doty, R. L., Wehr, T. A., Jimma, L. A., Han, L., Turner, E. H., et al. (1999). Monorhinal odor identification and depression scores in patients with seasonal affective disorder. *J Affect Disord, 56*(1), 27-35.

Potter, H. & Chorover, S.L. (1976). Response plasticity in hamster olfactory bulb; Peripheral and central processes. *Brain Res,* 116, 417-429.

Price, J.L. (1985). Beyond the primary olfactory cortex: olfactory-related areas in the neocortex, thalamus and hypothalamus. *Chemical Senses;* 10: 239-258.

Rabin, M. D., & Cain, W. S. (1984). Odor recognition: familiarity, identifiability, and encoding consistency. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn, 10*(2), 316-325.

Rabin, M. D. (1988). Experience facilitates olfactory quality discrimination. *Percept Psychophys, 44*(6), 532-540.

Radil, T., & Wysocki, C. J. (1998). Spatiotemporal masking in pure olfaction. *Ann N Y Acad Sci, 855*, 641-644.

Reiss, M., & Reiss, G. (2000). [The problem of anosmia]. *Z Arztl Fortbild Qualitatssich, 94*(2), 149-153.

Ressler, K. J., Sullivan, S. L., & Buck, L. B. (1994). Information coding in the olfactory system: evidence for a stereotyped and highly organized epitope map in the olfactory bulb. *Cell, 79*(7), 1245-1255.

Rochefort, C., Gheusi, G., Vincent, J. D., & Lledo, P. M. (2002). Enriched odor exposure increases the number of newborn neurons in the adult olfactory bulb and improves odor memory. *J Neurosci, 22*(7), 2679-2689.

Rockenstein, E., Mallory, M., Hashimoto, M., Song, D., Shults, C. W., Lang, I., et al. (2002). Differential neuropathological alterations in transgenic mice expressing alpha-synuclein from the platelet-derived growth factor and Thy-1 promoters. *J Neurosci Res, 68*(5), 568-578.

Rolls, E. T. (2000). Functions of the primate temporal lobe cortical visual areas in invariant visual object and face recognition. *Neuron, 27*(2), 205-218.

Rombaux, P., Mouraux, A., Bertrand, B., Nicolas, G., Duprez, T., & Hummel, T. (2006). Olfactory function and olfactory bulb volume in patients with postinfectious olfactory loss. *Laryngoscope, 116*(3), 436-439.

Rospars, J. P., Lansky, P., Tuckwell, H. C., & Vermeulen, A. (1996). Coding of odor intensity in a steady-state deterministic model of an olfactory receptor neuron. *J Comput Neurosci,* 3(1), 51-72.

Rospars, J. P., Lansky, P., Chaput, M., & Duchamp-Viret, P. (2008). Competitive and non-competitive odorant interactions in the early neural coding of odorant mixtures. *J Neurosci, 28*(10), 2659-2666.

Ross, G. W., Petrovitch, H., Abbott, R. D., Tanner, C. M., Popper, J., Masaki, K., et al. (2008). Association of olfactory dysfunction with risk for future Parkinson's disease. *Ann Neurol, 63*(2), 167-173.

Rost, J. (1999). Was ist aus dem Rasch-Modell geworden? *Psychologische Rundschau;* 50(3): 140-156.

Royet, J. P., Zald, D., Versace, R., Costes, N., Lavenne, F., Koenig, O., et al. (2000). Emotional responses to pleasant and unpleasant olfactory, visual, and auditory stimuli: a positron emission tomography study. *J Neurosci, 20*(20), 7752-7759.

Rupp, C. I., Kurz, M., Kemmler, G., Mair, D., Hausmann, A., Hinterhuber, H., et al. (2003). Reduced olfactory sensitivity, discrimination, and identification in patients with alcohol dependence. *Alcohol Clin Exp Res, 27*(3), 432-439.

Rupp, C.I., Kemmler, G., Oberbauer, H., Scholtz, A.W., Wanko, C. & Hinterhuber, H. (2005). Various Bilateral Olfactory Deficits in Male Patients With Schizophrenia. *Schizophrenia Bulletin*; 31(1): 155-165.

Rupp, C. I., Fleischhacker, W. W., Kemmler, G., Kremser, C., Bilder, R. M., Mechtcheriakov, S., et al. (2005). Olfactory functions and volumetric measures of orbitofrontal and limbic regions in schizophrenia. *Schizophr Res, 74*(2-3), 149-161.

Samanen, D. W., & Forbes, W. B. (1984). Replication and differentiation of olfactory receptor neurons following axotomy in the adult hamster: a morphometric analysis of postnatal neurogenesis. *J Comp Neurol, 225*(2), 201-211.

Savic, I., Gulyas, B., Larsson, M., & Roland, P. (2000). Olfactory functions are mediated by parallel and hierarchical processing. *Neuron, 26*(3), 735-745.

Savic, I., Berglund, H., Gulyas, B., & Roland, P. (2001). Smelling of odorous sex hormone-like compounds causes sex-differentiated hypothalamic activations in humans. *Neuron, 31*(4), 661-668.

Savic, I., Gulyas, B., & Berglund, H. (2002). Odorant differentiated pattern of cerebral activation: comparison of acetone and vanillin. *Hum Brain Mapp, 17*(1), 17-27.

Schaefer, M. L., Finger, T. E., & Restrepo, D. (2001). Variability of position of the P2 glomerulus within a map of the mouse olfactory bulb. *J Comp Neurol, 436*(3), 351-362.

Schaefer, M. L., Bottger, B., Silver, W. L., & Finger, T. E. (2002). Trigeminal collaterals in the nasal epithelium and olfactory bulb: a potential route for direct modulation of olfactory information by trigeminal stimuli. *J Comp Neurol, 444*(3), 221-226.

Schermelleh-Engel, K. & Werner, C. (2007). Methoden der Reliabilitätsbestimmung. In Moosbrugger, H. & Kelava, A. (Ed.). Testtheorie und Fragebogenkonstruktion (8-26). Springer: Heidelberg.

Schneider, R.A. & Schmidt, C.E. (1967). Dependency of olfactory localization on non-olfactory cues. *Physiology & Behavior;* 28§): 305-309.

Scinska, A., Wrobel, E., Korkosz, A., Zatorski, P., Sienkiewicz-Jarosz, H., Lojkowska, W., et al. (2008). Depressive symptoms and olfactory function in older adults. *Psychiatry Clin Neurosci, 62*(4), 450-456.

Serizawa, S., Miyamichi, K. & Sakano, H. (2004). One neuron–one receptor rule in the mouse olfactory system . *Trends in Genetics*; 20(12): 648-653.

Shah, M., Findley, L., Muhammed, N. & Hawkes, C. (2007). Olfaction is normal in essential tremor and can be used to distinguish it from parkinson disease.*Clinical Neurophysiology;* 118(5): 173-175.

Shear, P. K., Butters, N., Jernigan, T. L., DiTraglia, G. M., Irwin, M., Schuckit, M. A., et al. (1992). Olfactory loss in alcoholics: correlations with cortical and subcortical MRI indices. *Alcohol, 9*(3), 247-255.

Shepherd, G. M. (1994). Discrimination of molecular signals by the olfactory receptor neuron. *Neuron, 13*(4), 771-790.

Shephard, G.M. (2005). Perception without a Thalamus How Does Olfaction Do It? *Neuron;* 46(2): 166-167.

Shusterman, D., Murphy, M. A., & Balmes, J. (2003). Differences in nasal irritant sensitivity by age, gender, and allergic rhinitis status. *Int Arch Occup Environ Health, 76*(8), 577-583.

Siderowf, A., Jennings, D., Connolly, J., Doty, R. L., Marek, K., & Stern, M. B. (2007). Risk factors for Parkinson's disease and impaired olfaction in relatives of patients with Parkinson's disease. *Mov Disord, 22*(15), 2249-2255.

Silveira-Moriyama, L., Guedes, L. C., Kingsbury, A., Ayling, H., Shaw, K., Barbosa, E. R., et al. (2008). Hyposmia in G2019S LRRK2-related parkinsonism: clinical and pathologic data. *Neurology, 71*(13), 1021-1026.

Silver, W. L., Mason, J. R., Marshall, D. A., & Maruniak, J. A. (1985). Rat trigeminal, olfactory and taste responses after capsaicin desensitization. *Brain Res, 333*(1), 45-54.

Silver, W. L., Arzt, A. H., & Mason, J. R. (1988). A comparison of the discriminatory ability and sensitivity of the trigeminal and olfactory systems to chemical stimuli in the tiger salamander. *J Comp Physiol [A], 164*(1), 55-66.

Silver, W.L. & Maruniak, J.A., Trigeminal chemoreception in the nasal and oral cavities. *Chemical senses;* 6:295-305.

Simmen, D., Briner, H. R., & Hess, K. (1999). [Screening of olfaction with smell diskettes]. *Laryngorhinootologie, 78*(3), 125-130.

Siqueira, S. R., Nobrega, J. C., Teixeira, M. J., & Siqueira, J. T. (2006). Olfactory threshold increase in trigeminal neuralgia after balloon compression. *Clin Neurol Neurosurg, 108*(8), 721-725.

Sirota, P., Davidson, B., Mosheva, T., Benhatov, R., Zohar, J., & Gross-Isseroff, R. (1999). Increased olfactory sensitivity in first episode psychosis and the effect of neuroleptic treatment on olfactory sensitivity in schizophrenia. *Psychiatry Res, 86*(2), 143-153.

Slotnick, B. M., & Ptak, J. E. (1977). Olfactory intensity-difference thresholds in rats and humans. *Physiol Behav, 19*(6), 795-802.

Smith, R. S., Doty, R. L., Burlingame, G. K., & McKeown, D. A. (1993). Smell and taste function in the visually impaired. *Percept Psychophys, 54*(5), 649-655.

Sobel, N., Thomason, M.E., Stappen, I., Tanner, C.M., Tetrud, J.W., Bower, J.M., Sullivan, E.V. & Gabrieli, J.D.E. (2001). An impairement in sniffing contributes to the olfactory impairement in Parkinson's disease. *PNAS,* 98(7), 4154-4159.

Sobel, N., Johnson, B. N., Mainland, J. & Yousem, D. M. (2003). Functional neuroimaging of human olfaction. In Doty, R.L. (Ed.), Handbook of olfaction & Gustation, 2nd edition (251-273). New York: Marcel Decker.

Song, C. & Leonard, BE (2005). The olfactory bulbectomised rat as a model of depression. *Neurosci Biobehav Rev;* 29(4-5): 627-647.

Spearman, C. (1910). Correlation calculated with faulty data. *British Journal of Psychology;* 3: 271-295.

Spehr, J., Spehr, M., Hatt, H., & Wetzel, C. H. (2004). Subunit-specific P2X-receptor expression defines chemosensory properties of trigeminal neurons. *Eur J Neurosci, 19*(9), 2497-2510.

Spors, H., & Grinvald, A. (2002). Spatio-temporal dynamics of odor representations in the

mammalian olfactory bulb. *Neuron, 34*(2), 301-315.
Steinbach, S., Hundt, W., & Zahnert, T. (2008). [The sense of smell in daily life]. *Laryngorhinootologie, 87*(9), 657-668; quiz 669-672.

Steinbrecht, R. A. (1998). Odorant-binding proteins: expression and function. *Ann N Y Acad Sci, 855*, 323-332.

Stephenson, D. & Halpern B.C. (2009). No Oral-Cavity-Only discrimination of Purely Olfactory odorants. *Chem Senses,* 34, 121-126.

Stevens, J. C., & Cain, W. S. (1987). Old-age deficits in the sense of smell as gauged by thresholds, magnitude matching, and odor identification. *Psychol Aging, 2*(1), 36-42.

Stevens, J.C., Cain, W.S. & Burke, R.J. (1988). Variability of olfactory thresholds. *Chemical senses;* 13(4): 643-653.

Stevens, D.A. & O´Connell, R.J. (1991). Individual differences in thresholds and quality reports of human subjects to various odors. *Chemical Senses, 16*(1), 57-67.
Stevenson, R. J., & Boakes, R. A. (2003). A mnemonic theory of odor perception. *Psychol Rev, 110*(2), 340-364.

Stone, H. (1963). Determination of Odor Difference Limens for Three Compounds. *J Exp Psychol, 66*, 466-473.

Stone, H., Ough C. S., & Pangborn, R.M. (1962). Determination of odor difference thresholds. *J. Food Sci;* 27: 197-202.

Stone, H., & Bosley, J. J. (1965). Olfactory Discrimination and Weber's Law. *Percept Mot Skills, 20*, 657-665.

Stuck, B. A., Frey, S., Freiburg, C., Hormann, K., Zahnert, T., & Hummel, T. (2006). Chemosensory event-related potentials in relation to side of stimulation, age, sex, and stimulus concentration. *Clin Neurophysiol, 117*(6), 1367-1375.

Sundermann, E. E., Gilbert, P. E., & Murphy, C. (2008). The effect of hormone therapy on olfactory sensitivity is dependent on apolipoprotein E genotype. *Horm Behav, 54*(4), 528-533.

Takagi, S.F. (1989). Human Olfaction. University of Tokyo Press, Tokyo.

Talamo, B. R., Rudel, R., Kosik, K. S., Lee, V. M., Neff, S., Adelman, L., et al. (1989). Pathological changes in olfactory neurons in patients with Alzheimer's disease. *Nature, 337*(6209), 736-739.

Tateyama, T., Hummel, T., Roscher, S., Post, H., & Kobal, G. (1998). Relation of olfactory event-related potentials to changes in stimulus concentration. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 108*(5), 449-455.

Thuerauf, N., Kaegler, M., Dietz, R., Barocka, A., & Kobal, G. (1999). Dose-dependent stereoselective activation of the trigeminal sensory system by nicotine in man. *Psychopharmacology (Berl), 142*(3), 236-243.

Thuerauf, N., Markovic, K., Braun, G., Bleich, S., Reulbach, U., Kornhuber, J., et al. (2006). The influence of mecamylamine on trigeminal and olfactory chemoreception of nicotine. *Neuropsychopharmacology, 31*(2), 450-461.

Theurauf, N., Gossler, A., Lunkenheimer, J., Lunkenheimer, B., Maihöfner, C., Bleich, S., Kornhuber, J., Markovic, K. & Reulbach, U. (2008). Olfactory lateralization: Odor intensity but not the hedonic estimation is lateralized. *Neuroscience Letters;*438(2): 228-232.

Tomaru, A., & Kurahashi, T. (2005). Mechanisms determining the dynamic range of the bull-frog olfactory receptor cell. *J Neurophysiol, 93*(4), 1880-1888.

Tovee, M. J., Rolls, E. T., & Ramachandran, V. S. (1996). Rapid visual learning in neurones of the primate temporal visual cortex. *Neuroreport, 7*(15-17), 2757-2760.

Tucker, L.R. (1946). Maximum validity of a test with equivalent aufgabes. *Psychometrika,* 11(1): 1-13.

Turetsky, B. I., Moberg, P. J., Arnold, S. E., Doty, R. L., & Gur, R. E. (2003). Low olfactory bulb volume in first-degree relatives of patients with schizophrenia. *Am J Psychiatry, 160*(4), 703-708.

Turetsky, B. I., Kohler, C. G., Gur, R. E., & Moberg, P. J. (2008). Olfactory physiological impairment in first-degree relatives of schizophrenia patients. *Schizophr Res, 102*(1-3), 220-229.

Uchida, N., Takahashi, Y. K., Tanifuji, M., & Mori, K. (2000). Odor maps in the mammalian olfactory bulb: domain organization and odorant structural features. *Nat Neurosci, 3*(10), 1035-1043.

Uddman, R., Malm, L., & Sundler, F. (1983). Substance-P-containing nerve fibers in the nasal mucosa. *Arch Otorhinolaryngol, 238*(1), 9-16.

van der Borght, K., & Brundin, P. (2007). Reduced expression of PSA-NCAM in the hippo-campus and piriform cortex of the R6/1 and R6/2 mouse models of Huntington's disease. *Exp Neurol, 204*(1), 473-478.

Vanderwolf, C.H. (2001). The hippocampus as an olfacto-motor mechanism: were the classical anatomists right after all? *Behavioural Brain Research*; 127: 25–47.

Von Skramlik E (1925) Uber die Lokalisation der Empfindungen bei den niederen Sinnen. *Z Sinnesphysiol*; 56:69–140

Wachowiak, M., & Cohen, L. B. (2001). Representation of odorants by receptor neuron input to the mouse olfactory bulb. *Neuron, 32*(4), 723-735.

Wang, J., Eslinger, P. J., Smith, M. B., & Yang, Q. X. (2005). Functional magnetic resonance imaging study of human olfaction and normal aging. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 60*(4), 510-514.

Weinstock, R. S., Wright, H. N., & Smith, D. U. (1993). Olfactory dysfunction in diabetes

mellitus. *Physiol Behav, 53*(1), 17-21.
Welge-Luessen, A., Hummel, T., Stojan, T. & Wolfensberger, M. (2005). What Is the Correlation between Ratings and Measures of Olfactory Function in Patients with Olfactory Loss? *American Journal of Rhinology;* 19(6): 567-571.

Wenzel, B. M. (1949). Differential sensitivity in olfaction. *J Exp Psychol, 39*(2), 129-143.

Westervelt, H. J., McCaffrey, R. J., Cousins, J. P., Wagle, W. A., & Haase, R. F. (1997). Longitudinal analysis of olfactory deficits in HIV infection. *Arch Clin Neuropsychol, 12*(6), 557-565.

Wetter, S., & Murphy, C. (1999). Individuals with Down's syndrome demonstrate abnormal olfactory event-related potentials. *Clin Neurophysiol, 110*(9), 1563-1569.

Wilson, D. A. (2003). Rapid, experience-induced enhancement in odorant discrimination by anterior piriform cortex neurons. *J Neurophysiol, 90*(1), 65-72.

Wilson, D. A., & Stevenson, R. J. (2003). The fundamental role of memory in olfactory perception. *Trends Neurosci, 26*(5), 243-247.

Wilson, D. A. (2003). Rapid, experience-induced enhancement in odorant discrimination by anterior piriform cortex neurons. *J Neurophysiol, 90*(1), 65-72.

Wilson, D. A., & Stevenson, R. J. (2003). Olfactory perceptual learning: the critical role of memory in odor discrimination. *Neurosci Biobehav Rev, 27*(4), 307-328.

Winston, J. S., Gottfried, J. A., Kilner, J. M., & Dolan, R. J. (2005). Integrated neural representations of odor intensity and affective valence in human amygdala. *J Neurosci, 25*(39), 8903-8907.

Wise, P. M., Olsson, M. J., & Cain, W. S. (2000). Quantification of odor quality. *Chem Senses, 25*(4), 429-443.

Wysocki, C. J., Cowart, B. J., & Radil, T. (2003). Nasal trigeminal chemosensitivity across the adult life span. *Percept Psychophys, 65*(1), 115-122.

Yamagishi, M., Getchell, M. L., Takami, S., & Getchell, T. V. (1998). Increased density of olfactory receptor neurons immunoreactive for apolipoprotein E in patients with Alzheimer's disease. *Ann Otol Rhinol Laryngol, 107*(5 Pt 1), 421-426.

Yan, Z., Tan, J., Qin, C., Lu, Y., Ding, C., & Luo, M. (2008). Precise circuitry links bilaterally symmetric olfactory maps. *Neuron, 58*(4), 613-624.

Youngentob, S. L., Stern, N. M., Mozell, M. M., Leopold, D. A., & Hornung, D. E. (1986). Effect of airway resistance on perceived odor intensity. *Am J Otolaryngol, 7*(3), 187-193.

Yousem, D. M., Geckle, R. J., Bilker, W., McKeown, D. A., & Doty, R. L. (1996). MR evaluation of patients with congenital hyposmia or anosmia. *AJR Am J Roentgenol, 166*(2), 439-443.

Zald, D. H., & Pardo, J. V. (2000). Functional neuroimaging of the olfactory system in hu-

mans. *Int J Psychophysiol, 36*(2), 165-181.
Zatorre, R. J., Jones-Gotman, M., Evans, A. C., & Meyer, E. (1992). Functional localization and lateralization of human olfactory cortex. *Nature, 360*(6402), 339-340.

Zatorre, R. J., Jones-Gotman, M., & Rouby, C. (2000). Neural mechanisms involved in odor pleasantness and intensity judgments. *Neuroreport, 11*(12), 2711-2716.

Zelano, C., Bensafi, M., Porter, J., Mainland, J., Johnson, B., Bremner, E., et al. (2005). Attentional modulation in human primary olfactory cortex. *Nat Neurosci, 8*(1), 114-120.

Zelano, C., Montag, J., Johnson, B., Khan, R., & Sobel, N. (2007). Dissociated representations of irritation and valence in human primary olfactory cortex. *J Neurophysiol, 97*(3), 1969-1976.

Zhao, H., Ivic, L., Otaki, J. M., Hashimoto, M., Mikoshiba, K., & Firestein, S. (1998). Functional expression of a mammalian odorant receptor. *Science, 279*(5348), 237-242.

Zou, Z., Horowitz, L. F., Montmayeur, J. P., Snapper, S., & Buck, L. B. (2001). Genetic tracing reveals a stereotyped sensory map in the olfactory cortex. *Nature, 414*(6860), 173-179.

Anhang

Anhang A1: Teilnehmerbogen Studie Intensitätsmatching
Anhang A2: Teilnehmerbogen Studie Intensitätenordnen
Anhang A3: Teilnehmerbogen Studie Lateralisierung
Anhang A4: Ratingbogen für die Teilnehmer Studie Lateralisierung
Anhang A5: Teilnehmerbogen Studie Intensitätsunterscheidung
Anhang A6: Ausschlusskriterien Studie Testkonstruktion
Anhang A7: Allgemeine Informationen Studie Testkonstruktion
Anhang A8: Einverständniserklärung Studie Testkonstruktion
Anhang A9: Teilnehmerbogen Studie Testkonstruktion
Anhang A10: Mini Mental Status Test (MMST)
Anhang A11: Ausschlusskriterien Studie Testvalidierung, Re-Test-Reliabilät und Paralleltestentwicklung
Anhang A12: Allgemeine Informationen Studie Testvalidierung, Re-Test-Reliabilät und Paralleltestentwicklung
Anhang A13: Einverständniserklärung Studie Testvalidierung, Re-Test-Reliabilät und Paralleltestentwicklung
Anhang A14: Protokoll: Ansetzen des Diskriminationstests
Anhang A15: Testprotokoll Phenyl-Ethanol-Schwellentest
Anhang A16: Testprotokoll Diskriminationstest
Anhang A17: Testprotokoll Diskirminationsuntertest Sniffin'Sticks
Anhang A18: Testprotokoll UPSIT
Anhang A19: Teilnehmerbogen Studie Testvalidierung, Re-Test-Reliabilät und Paralleltestentwicklung
Anhang A20: Testprotokoll Re-Test Diskriminationstest
Anhang A21: Testprotokoll Paralleltest Diskriminationstest

Gruppe: Intensitätsmatching **VP-Nummer:** 1

Datum: .....

Uhrzeit: .....

Alter: .....

Geschlecht: □ **männlich** □ **weiblich**

Ausschlusskriterien:

□ Raucher → wenn ja, Anzahl Zigaretten/Tag ……

□ Erkrankungen/Deviationen der Nase ……

□ Akute o. chron. Erkrankungen ……

Stimuli:

1) Kumarin **Konzentration: 1 - 2 - 3** **gewählt:** ……..

2) Geraniol **Konzentration: 3 - 1 - 2** **gewählt:** ……..

3) PEA **Konzentration: 1 - 3 - 2** **gewählt:** ……..

4) Eugenol **Konzentration: 2 - 3 - 1** **gewählt:** ……..

5) Dekansäure **Konzentration: 1 - 3 - 2** **gewählt:** ……..

Gruppe: Intensitätenordnen **VP-Nummer:** 1

Datum: .....

Uhrzeit: .....

Alter: .....

Geschlecht: □ **männlich** □ **weiblich**

Ausschlusskriterien:

□ Raucher → wenn ja, Anzahl Zigaretten/Tag ……

□ Erkrankungen/Deviationen der Nase ……

□ Akute o. chron. Erkrankungen ……

Stimuli:		**Antwortfolge:**
1) Kumarin	**Konzentration: 1 - 2 - 3**	**.....**
2) Geraniol	**Konzentration: 3 - 1 - 2**	**.....**
3) PEA	**Konzentration: 1 - 3 - 2**	**.....**
4) Eugenol	**Konzentration: 2 - 3 - 1**	**.....**
5) Dekansäure	**Konzentration: 1 - 3 - 2**	**.....**

Studie „Lateralisierung“

Versuchsleiterbögen

VL: 1 Nr.: 1

Datum: _____ Uhrzeit: _____

Geschlecht: m ☐ w ☐

Alter: _____

Dekansäure

	L	R	R	L	L	R	L	R	R	L
Antwort	__	__	__	__	__	__	__	__	__	__

Geraniol

	R	L	L	R	L	R	R	L	L	R
Antwort	__	__	__	__	__	__	__	__	__	__

Vanillin

	R	L	L	R	R	L	L	R	R	L
Antwort	__	__	__	__	__	__	__	__	__	__

PEA

	L	R	R	L	R	R	R	L	L	L
Antwort:	__	__	__	__	__	__	__	__	__	__

Kumarin

	L	L	L	R	R	R	L	R	R	L
Antwort	__	__	__	__	__	__	__	__	__	__

Eugenol

	R	R	L	R	R	L	R	L	L	L
Antwort	__	__	__	__	__	__	__	__	__	__

Versuchspersonenbogen

Studie Lateralisierung

VL: **Nr.:**

Geruch 1

Extrem unangenehm ——— Extrem angenehm

Extrem unangenehm ——— Extrem angenehm

Geruch 2

Extrem unangenehm ——— Extrem angenehm

Extrem unangenehm ——— Extrem angenehm

Geruch 3

Extrem unangenehm ——— Extrem angenehm

Extrem unangenehm ——— Extrem angenehm

Geruch 4

Extrem unangenehm ——— Extrem angenehm

Extrem unangenehm ——— Extrem angenehm

Geruch 5

Extrem unangenehm ——— Extrem angenehm

Extrem unangenehm ——— Extrem angenehm

Geruch 6

Extrem unangenehm ——— Extrem angenehm

Extrem unangenehm ——— Extrem angenehm

Probandenbögen

Studie Intensitätsunterscheidung

Nr.: 1 **Gezogen:**

Alter:

Geschlecht: **w** □ **m** □

Vanillin

60 - 60 - 55	60 - 60 - 20	20 - 20 - 22,5	20 - 20 - 60	+ / -

Eugenol

20 - 20 - 22,5	20 - 20 - 60	60 - 60 - 55	60 - 60 - 20	+ / -

Geraniol

60 - 60 - 20	60 - 60 - 55	20 - 20 - 60	20 - 20 - 22,5	+ / -

Kumarin

20 - 20 - 60	20 - 20 - 22,5	60 - 60 - 20	60 - 60 - 55	+ / -

Dekan

20 - 20 - 22,5	20 - 20 - 60	60 - 60 - 20	60 - 60 - 55	+ / -

PEA

20 - 20 - 60	20 - 20 - 22,5	60 - 60 - 55	60 - 60 - 20	+ / -

HEINRICH HEINE
UNIVERSITÄT
DÜSSELDORF

Institut für Experimentelle Psychologie
Abteilung für Biologische Psychologie und Sozialpsychologie

Prof. Dr. Bettina M. Pause Dipl.-Psych. Roland Weierstall

Heinrich-Heine-Universität, Universitätsstr. 1, Gebäude 23.02, 40225 Düsseldorf
Tel.: +49-211-81-15621
Fax : +49-211-81-12019
Roland.Weierstall@uni-duesseldorf.de

Ausschlussbedingungen
für die Studie „Geruchsdiskrimination“

✓ Ausschlusskriterien

Ich versichere nach bestem Wissen und Gewissen, dass keine der in der folgenden Liste aufgeführten Ausschlusskriterien auf mich zutreffen:

- Neurologische Erkrankungen (Erkrankungen des Nervensystems), sowie neurochirurgische Eingriffe (z.B. Eingriffe am Gehirn)
- Psychiatrische Erkrankungen (Depression, Schizophrenie, Essstörungen, u.a.)
- Riechstörungen (Fehlende oder eingeschränkte Riechfähigkeit)
- Erkrankungen der Nase und des oberen Respirationstrakts (z.B. Nasennebenhöhlenentzündung)
- Chirurgische Eingriffe im Bereich der Nase (z.B. nach Nasenbeinbruch)
- Hormonelle Störungen (z.B. Schilddrüsenerkrankung)
- Stoffwechselerkrankungen (z.B. Diabetes)
- Erkrankungen des Immunsystems (z.B. HIV)
- Regelmäßige Medikamenteneinnahme
- Regelmäßiger Alkoholkonsum
- Drogenkonsum
- Grippale Erkrankungen (z.B. Erkältung)

✓ Testung

Ich erkläre hiermit ausdrücklich, dass ich mich am heutigen Tag körperlich gesund fühle und an keinen chronischen Erkrankungen leide, welche die Teilnahme beeinträchtigen könnten, und bin daher uneingeschränkt in der Lage, an der Studie teilzunehmen. Ich versichere, die Aufgaben nach besten Wissen und Gewissen zu bearbeiten.

Name (Vorname, Name)

Datum, Unterschrift

HEINRICH HEINE UNIVERSITÄT DÜSSELDORF

Institut für Experimentelle Psychologie
Abteilung für Biologische Psychologie und Sozialpsychologie

Prof. Dr. Bettina M. Pause Dipl.-Psych. Roland Weierstall

Heinrich-Heine-Universität, Universitätsstr. 1, Gebäude 23.02, 40225 Düsseldorf Tel.: +49-211-81-15621
Fax : +49-211-81-12019
Roland.Weierstall@uni-duesseldorf.de

Allgemeine Informationen für Versuchsteilnehmer für die Studie „Geruchsdiskrimination“

LiebeR VersuchsteilnehmerIn,

wir möchten uns bei Ihnen zunächst ganz herzlich für Ihre Bereitschaft bedanken, unsere Studie mit Ihrem Einsatz und Ihrer Zeit zu unterstützen. Im Folgenden finden Sie einen kurzen Überblick, der Ihnen die Studie und ihren Nutzen näher bringen soll und Ihnen Ihre Aufgabe beschreibt.

✓ Ziel und Hintergrund der Studie

Das Ziel dieser Studie besteht in der Entwicklung eines Testverfahrens, mit dem die Fähigkeit zur Unterscheidung von Gerüchen untersucht werden kann. Ein geeignetes Verfahren hierfür wurde bisher noch nicht entwickelt und soll zukünftig in der Psychologie und Medizin eingesetzt werden. Mit Ihrer Teilnahme leisten Sie daher einen wertvollen Beitrag an einem neuen Element der Forschung und der klinischen Diagnostik und helfen aktiv, diese voran zu treiben.

✓ Dauer und Vergütung

Die Gesamtdauer des Versuchs wird 75 Minuten betragen. Als Vergütung und Dankeschön für Ihre Teilnahme erhalten Sie 12 Euro.

✓ Der Ablauf der Studie und Ihre Aufgabe

Sie erhalten in der folgenden Studie 45 verschiedene Aufgaben, in denen Ihnen jeweils drei Gerüche pro Aufgabe präsentiert werden. Zwei dieser Gerüche sind identisch, während einer der Gerüche unterschiedlich ist. Ihre Aufgabe wird darin bestehen, den Geruch auszuwählen, der abweicht.

✓ Freiwillige Teilnahme

Ihre Teilnahme an der Studie „Geruchsdiskriminationstest“ ist freiwillig. Sie können daher jederzeit und ohne Angabe von Gründen Ihre Zusage zur Teilnahme an der Studie zurückziehen ohne dass sich daraus negative persönliche Folgen für Sie ergeben.

✓ Speicherung von personenbezogenen Daten

Alle personenbezogenen Daten, die wir für diese Studie von Ihnen erfassen, werden unmittelbar nach Abschluss der Studie gelöscht. Bis Abschluss der Studie haben Sie Anspruch auf Rücknahem ihres Einverständnisses der Teilnahme und auf Löschung Ihrer Daten. Die voll anonymisierten Daten dürfen zu den angegebenen Forschungszwecken zeitlich unbegrenzt weiter verwendet werden.

✓ Gesundheitsschutz

Alle verwendeten Geruchsstoffe besitzen einen natürlichen Ursprung. Entsprechend des aktuellen Stands der Wissenschaft entsteht für Sie keine Gesundheitsgefährdung. Sollten Sie wider Erwarten ein Unwohlsein verspüren, bitten wir Sie darum, uns dieses umgehend mitzuteilen.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß bei der Teilnahme.

HEINRICH HEINE
UNIVERSITÄT
DÜSSELDORF

Institut für Experimentelle Psychologie
Abteilung für Biologische Psychologie und Sozialpsychologie

Prof. Dr. Bettina M. Pause Dipl. Psych. Roland Weierstall

Heinrich-Heine-Universität, Universitätsstr. 1, Gebäude 23.02, 40225 Düsseldorf Tel.: +49-211-81-15621
Fax : +49-211-81-12019
Roland.Weierstall@uni-duesseldorf.de

Einverständniserklärung für die Teilnahme an der Studie „Geruchsdiskrimination“

✓ Information zu der Studie

Ich habe die schriftlichen Informationen „Allgemeine Informationen für Versuchsteilnehmer“ erhalten, gelesen und verstanden und ich bin in ausreichender Form über die Ziele und Methoden dieser Studie informiert wurden. Ich hatte ausreichend Gelegenheit dazu, meine Fragen und Bedenken dem Versuchsleiter gegenüber zu äußern und habe umfassende und zufrieden stellende Antworten erhalten.

✓ Datenschutz

Alle personenbezogenen Daten (wie beispielsweise Alter, Geschlecht, Rauchverhalten und Angaben über Erkrankungen etc.) unterliegen dem Datenschutz und werden streng vertraulich behandelt. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine persönlichen Daten, sowie meine Testdaten aufgezeichnet werden und anonymisiert (das heißt ohne Namensnennung) für die wissenschaftliche Auswertung im Rahmen der Fragestellung dieser Studie verwendet werden. Einer möglichen Veröffentlichung der anonymisierten Daten dieser Studie stimme ich mit meiner Teilnahme zu. Ich habe jederzeit das Recht, die Aufzeichnung und Speicherung meiner personenbezogenen Daten zu widerrufen.

✓ Freiwillige Teilnahme

Meine Teilnahme an der Studie „Geruchsdiskrimination“ ist freiwillig. Ich kann daher jederzeit und ohne Angabe von Gründen meine Zusage zur Teilnahme an der Studie zurückziehen ohne dass sich daraus negative Folgen für mich ergeben.

Bitte in Blockbuchstaben ausfüllen:

Name (Vorname, Name)

Adresse

E-Mail-Adresse (freiwillig)

Telefon (freiwillig)

Ort, Datum und Unterschrift des/der VersuchsteilnehmersIn

Unterschrift des Psychologen

Versuchsprotokoll

Untersuchung „Geruchsdiskrimination“

VP.-Nr.: «Nr» **Datum: _____**

Uhrzeit: Beginn: ___ : ___ h Ende: ___ : ___ h

Alter: _____ **Geschlecht:** m ☐ w ☐

Temperatur: Beginn: _____ C° Ende_____ C°

Raucher: nein ☐ ja ☐ , Anzahl Zigaretten: _____ St. / Tag

Ausschlusskriterien: ☐
Versuchsinformationen: ☐
Einverständniserklärung: ☐
2 Probedurchgänge ☐

Block 1

Item	A	Q/I	Sh	Bemerkungen
40 0 - 1 - 0				
12 1 - 1 - 0				
11 1 - 1 - 0				
24 0 - 0 - 1				
20 0 - 1 - 0				
23 1 - 0 - 0				
39 0 - 1 - 0				
37 0 - 1 - 1				
42 0 - 1 - 0				
30 1 - 0 - 0				

Block 2

Item	A	Q/I	Sh	Bemerkungen
43 0 - 0 - 1				
3 0 - 0 - 1				
4 0 - 1 - 1				
27 1 - 0 - 0				
34 0 - 0 - 1				
16 0 - 0 - 1				
6 0 - 1 - 0				
41 0 - 1 - 1				
15 0 - 1 - 1				
38 1 - 1 - 0				

Block 3

Item	A	Q/I	Sh	Bemerkungen
31 0 - 1 - 1				
10 0 - 0 - 1				
28 1 - 0 - 0				
17 0 - 1 - 0				
44 1 - 1 - 0				
26 1 - 0 - 1				
33 0 - 1 - 1				
36 1 - 0 - 1				
7 1 - 1 - 0				
21 1 - 1 - 0				

Block 4

Item	A	Q/I	Sh	Bemerkungen
1 0 - 0 - 1				
29 0 - 1 - 0				
35 1 - 0 - 1				
5 0 - 1 - 1				
9 1 - 0 - 1				
18 0 - 1 - 0				
2 1 - 1 - 0				
19 1 - 0 - 1				
14 1 - 1 - 0				
8 1 - 0 - 0				

Block 5

Item	A	Q/I	Sh	Bemerkungen
13 0 - 1 - 0				
25 1 - 0 - 0				
32 0 - 1 - 1				
22 1 - 0 - 0				
45 1 - 0 - 1				

Kodierung:
A: 0 = falsch, 1 = richtig
Sh: 1 – 6

Bemerkungen: _____

_____

_____

Anmerkungenen VP: _____

_____

_____

Mini-Mental Status-Test (MMST)

....

Name und Vorname des Patienten *Datum*

1. Orientierung

In welchem Jahr leben wir? ☐

Welche Jahreszeit ist jetzt? ☐

Welches Datum haben wir heute? ☐

Welchen Monat haben wir? ☐

In welchem Bundesland sind wir hier? ☐

In welchem Land? ☐

In welcher Ortschaft? ☐

Wo sind wir (in welcher Praxis / Altenheim)? ☐

Auf welchen Stockwerk? ☐

2. Merkfähigkeit

Fragen Sie den Patienten, ob Sie sein Gedächtnis prüfen dürfen. Nennen Sie dann drei verschiedenartige Dinge klar und langsam (ca 1 pro sec) "Zitrone, Schlüssel, Ball". Nachdem Sie allle drei Worte ausgesprochen haben, soll der Patient sie wiederholen. Die erste Wiederholung bestimmt die Wertung (vergeben Sie für jedes wiederholte Wort einen Punkt), doch wiederholen Sie den Versuch, bis der Patient alle drei Wörter nachsprechen kann. Maximal gibt es 5 Versuche. Wenn ein Patient nicht alle drei Wörter lernt, kann das Erinnern nicht sinnvoll geprüft werden.

Punkte 0-3 ☐

3. Aufmerksamkeit und Rechnen

Bitten Sie den Patienten, bei 100 beginnend in 7er Schritten rückwärts zu zählen. Halten Sie nach 5 Substraktionen (93, 86, 79, 72, 65) an und zählen Sie die in der richtigen Reihenfolge gegebenen Antworten. Bitten Sie daraufhin das Wort "Preis" rückwärts zu buchstabieren. Die Wertung entspricht der Anzahl von Buchstaben in der richtigen Reihenfolge (z.B. SIERP=5, SIREP=3). Die höhere der beiden Wertungen wird gezählt.

Punkte 0-5 ☐

4.Erinnern

Fragen Sie den Patienten, ob er die Wörter noch weiß, die er vorhin auswendig lernen sollte. Geben Sie einen Punkt für jedes richtige Wort.

Punkte 0-3 ☐

5. Benennen

Zeigen Sie dem Patienten eine Armbanduhr und fragen Sie ihn was das ist. Wiederholen Sie die Aufgabe mit einem Bleistift. Geben Sie einen Punkt für jeden erfüllten Aufgabenteil.

Punkte 0-3 ☐

6. Wiederholen

Bitten Sie den Patienten, den Ausdruck " Kein Wenn und Aber" nachzusprechen. Nur ein Versuch ist erlaubt.

Punkte 0-1 ☐

7. Dreiteiliger Befehl

Lassen Sie den Patienten den folgenden Befehl ausführen. " Nehmen Sie ein Blatt in die Hand, falten Sie es in der Mitte und legen Sie es auf den Boden." Geben Sie einen richtigen Punkt für jeden richtig ausgeführten Befehl.

Punkte 0-3 ☐

8. Reagieren

Schreiben Sie auf ein weißes Blatt in grossen Buchstaben: "Schließen Sie die Augen". Der Patient soll den Text lesen und ausführen. Geben Sie einen Punkt, wenn der Patient die Augen schließt.

Punkte 0-1 ☐

9. Schreiben

Geben Sie dem Patienten ein weißes Blatt, auf dem er für Sie einen Satz schreiben soll. Diktieren Sie den Satz nicht, er soll spontan geschrieben werden. Der Satz muß ein Subjekt und ein Verb enthalten und einen Sinn ergeben. Konkrete Grammatik und Interpunktion werden nicht verlangt.

Punkte 0-1 ☐

10. Abzeichnen

Zeichnen Sie auf ein weißes Blatt zwei sich überschneidene Fünfecke und bitten Sie den Patienten, die Figur genau abzuzeichnen. Alle 10 Ecken müßen vorhanden sein und 2 müßen sich überschneiden, um als ein Punkt zu zählen. Zittern und Verdrehen der Figur sind nicht wesentlich.

Punkte 0-1 ☐

Summe der Punkte ..... ☐

HEINRICH HEINE UNIVERSITÄT DÜSSELDORF

Institut für Experimentelle Psychologie
Abteilung für Biologische Psychologie und Sozialpsychologie

Prof. Dr. Bettina M. Pause Dipl.-Psych. Roland Weierstall

Heinrich-Heine-Universität, Universitätsstr. 1, Gebäude 23.02, 40225 Düsseldorf Tel.: +49-211-81-15621
Fax : +49-211-81-12019
Roland.Weierstall@uni-duesseldorf.de

Ausschlusskriterien
für die Studie „Testvalidierung“

✓ Ausschlusskriterien

Ich versichere nach bestem Wissen und Gewissen, dass keine der in der folgenden Liste aufgeführten Ausschlusskriterien auf mich zutreffen:

- Neurologische Erkrankungen (Erkrankungen des Nervensystems), sowie neurochirurgische Eingriffe (z.B. Eingriffe am Gehirn)
- Psychiatrische Erkrankungen (Depression, Schizophrenie, Essstörungen, u.a.)
- Riechstörungen (Fehlende oder eingeschränkte Riechfähigkeit)
- Erkrankungen der Nase und des oberen Respirationstrakts (z.B. Nasennebenhöhlenentzündung)
- Chirurgische Eingriffe im Bereich der Nase (z.B. nach Nasenbeinbruch)
- Hormonelle Störungen (z.B. Schilddrüsenerkrankung)
- Stoffwechselerkrankungen (z.B. Diabetes)
- Erkrankungen des Immunsystems (z.B. HIV)
- Regelmäßige Medikamenteneinnahme
- Regelmäßiger Alkoholkonsum
- Drogenkonsum

✓ Testung

Ich erkläre hiermit ausdrücklich, dass ich mich am heutigen Tag körperlich gesund fühle und uneingeschränkt in der Lage bin, an der Studie teilzunehmen. Ich versichere, die Aufgaben nach besten Wissen und Gewissen zu bearbeiten.

Name (Vorname, Name)

Datum, Unterschrift

HEINRICH HEINE UNIVERSITÄT DÜSSELDORF

Institut für Experimentelle Psychologie
Abteilung für Biologische Psychologie und Sozialpsychologie

Prof. Dr. Bettina M. Pause Dipl.-Psych. Roland Weierstall

Heinrich-Heine-Universität, Universitätsstr. 1, Gebäude 23.02, 40225 Düsseldorf Tel.: +49-211-81-15621
Fax : +49-211-81-12019
Roland.Weierstall@uni-duesseldorf.de

Allgemeine Informationen für Versuchsteilnehmer für die Studie „Testvalidierung“

LiebeR VersuchsteilnehmerIn,

wir möchten uns bei Ihnen zunächst ganz herzlich für Ihre Bereitschaft bedanken, unsere Studie mit Ihrem Einsatz und Ihrer Zeit zu unterstützen. Im Folgenden finden Sie einen kurzen Überblick, der Ihnen die Studie und ihren Nutzen näher bringen soll und Ihnen Ihre Aufgabe beschreibt.

✓ Ziel und Hintergrund der Studie

Das Ziel dieser Studie besteht in der Entwicklung eines Testverfahrens, mit dem die Fähigkeit zur Unterscheidung von Gerüchen untersucht werden kann. Ein geeignetes Verfahren hierfür wurde bisher noch nicht entwickelt und soll zukünftig in der Psychologie und Medizin eingesetzt werden. Mit Ihrer Teilnahme leisten Sie daher einen wertvollen Beitrag an einem möglichen neuen Element der Forschung und der klinischen Diagnostik und helfen aktiv, diese voran zu treiben.

✓ Der Ablauf der Studie und Ihre Aufgabe

Im der folgenden Studie werden vier Geruchstests mit Ihnen durchgeführt. Zwei Tests erfassen die Fähigkeit, Gerüche zu unterscheiden (Geruchsdiskrimination), ein Test die

Fähigkeit Gerüche zu benennen (Geruchsidentifikation) und ein Test die geruchliche Wahrnehmungsgenauigkeit (Geruchsschwelle). Einer der Tests zur Geruchsdiskrimination wird Ihnen dann bei Ihrem Folgetermin in einem Monat ein zweites Mal vorgelegt.

✓ Gesundheitsschutz

Alle verwendeten Geruchsstoffe besitzen einen natürlichen Ursprung und werden in der Geruchsforschung standardmäßig eingesetzt. Entsprechend des aktuellen Stands der Wissenschaft entsteht für Sie keine Gesundheitsgefährdung. Sollten Sie wider Erwarten ein Unwohlsein verspüren, bitten wir Sie darum, uns dieses umgehend mitzuteilen.

✓ Dauer und Vergütung

Die Gesamtdauer der Untersuchung wird 90 Minuten betragen. Als Vergütung und Dankeschön für Ihre Teilnahme erhalten Sie 5 Euro für jede Sitzung. Zusätzlich erhalten Sie 10 Euro, wenn Sie an beiden Sitzungen teilgenommen haben.

✓ Freiwillige Teilnahme

Ihre Teilnahme an der Studie „Testvalidierung“ ist freiwillig. Sie können daher jederzeit und ohne Angabe von Gründen Ihre Zusage zur Teilnahme an der Studie zurückziehen ohne dass sich daraus negative persönliche Folgen für Sie ergeben.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß bei der Teilnahme.

HEINRICH HEINE UNIVERSITÄT DÜSSELDORF

Institut für Experimentelle Psychologie
Abteilung für Biologische Psychologie und Sozialpsychologie

Prof. Dr. Bettina M. Pause — Dipl. Psych. Roland Weierstall

Heinrich-Heine-Universität, Universitätsstr. 1, Gebäude 23.02, 40225 Düsseldorf
Tel.: +49-211-81-15621
Fax : +49-211-81-12019
Roland.Weierstall@uni-duesseldorf.de

Einverständniserklärung für die Teilnahme an der Studie „Testvalidierung“

✓ Information zu der Studie

Ich habe die schriftlichen Informationen „Allgemeine Informationen für Versuchsteilnehmer“ erhalten, gelesen und verstanden und ich bin in ausreichender Form über die Ziele und Methoden dieser Studie informiert wurden. Ich hatte ausreichend Gelegenheit dazu, meine Fragen und Bedenken dem Versuchsleiter gegenüber zu äußern und habe umfassende und zufrieden stellende Antworten erhalten.

✓ Datenschutz

Alle in dieser Studie erhobenen Daten werden streng vertraulich und gemäß dem Datenschutzgesetz behandelt. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine persönlichen Daten (Alter, Geschlecht und Rauchverhalten), sowie meine Testdaten aufgezeichnet werden und anonymisiert (das heißt ohne Namensnennung) für die wissenschaftliche Auswertung im Rahmen der Fragestellung dieser Studie verwendet werden. Einer möglichen Veröffentlichung der anonymisierten Daten dieser Studie stimme ich mit meiner Teilnahme zu. Ich habe jederzeit das Recht, die Aufzeichnung und Speicherung meiner personenbezogenen Daten zu widerrufen.

✓ **Freiwillige Teilnahme**

Meine Teilnahme an der Studie „Geruchslateralisierung“ ist freiwillig. Ich kann daher jederzeit und ohne Angabe von Gründen meine Zusage zur Teilnahme an der Studie zurückziehen ohne dass sich daraus negative persönliche Folgen für mich ergeben.

Bitte in Blockbuchstaben ausfüllen:

Name (Vorname, Name)

Adresse

E-Mail-Adresse (freiwillig)

Telefon (freiwillig)

Ort, Datum und Unterschrift des/der VersuchsteilnehmersIn

Unterschrift des Psychologen

HEINRICH HEINE UNIVERSITÄT DÜSSELDORF

Institut für Experimentelle Psychologie
Abteilung für Biologische Psychologie und Sozialpsychologie

Prof. Dr. Bettina M. Pause Dipl.-Psych. Roland Weierstall

Heinrich-Heine-Universität, Universitätsstr. 1, Gebäude 23.02, 40225 Düsseldorf Tel.: +49-211-81-15621
Fax : +49-211-81-12019
Roland.Weierstall@uni-duesseldorf.de

Protokoll zum Ansetzen des Diskriminationstests

Das folgende Protokoll liefert eine detaillierte Anleitung zum Ansetzen des Diskriminationstests.

1. Material:

Folgendes Material wird für die Herstellung des Diskriminationstests benötigt:

- 51 Gefäße (beispielsweise 100ml Weithalsflaschen aus Braunglas) in die die Geruchsstoffe zur Präsentation gefüllt werden können. Für die Befüllung sind pro Gefäß 20ml vorgesehen, so dass auf ausreichende Größe geachtet werden muss.
- 6 große, verschließbare Gefäße aus Braunglas (Volumen mindestens 300ml), in denen die Komponenten der Mischgerüche gemischt und gelagert werden können.
- Ein elektrischer Handdispenser, mit dem fest voreingestellte Volumenmengen abgegeben werden können ist für die Herstellung der Mischgerüche empfehlenswert.
- Ein Schüttler muss nicht vorhanden sein, erleichtert die Herstellung jedoch erheblich.
- Ein Wasserbad, in dem mindestens eines der großen Gefäße Platz findet.

2. Ansetzen der Komponenten

Zunächst müssen die sechs Komponenten angesetzt werden. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die Chemikalien, die ebenfalls bei der Testentwicklung eingesetzt wurden.

Es können für die Herstellung ebenfalls Chemikalien andere Hersteller verwendet werden, allerdings können Qualitäts- und Reinheitsunterschiede, insbesondere in Bezug auf das Lösungsmittel die Ergebnisse verfälschen.

Tabelle 1: Chemikalienliste

Stoff	Chemische Summenformel	Reinheit	Dichte (g/ml)	Schmelzpunkt	Best.-Nr.
Dekansäure (Sigma) Capric acid	$CH_3(CH_2)_8COOH$	≥98%	0.893 (25 C°)	31 C°	C1875
Vanillin (Sigma) 4-Hydroxy-3-methoxybenzaldehyd	$4\text{-}(HO)C_6H_3\text{-}3\text{-}(OCH_3)CHO$	≥98%	-	83 C°	V2375
Phenyl Ethyl Alkohol (PEA) (Fluka) Benzyl Carbinol	$C_6H_5CH_2CH_2OH$	≥99%	1.020 (20 C°)	-27 C°	77861
Kumarin (Sigma) 1,2 Benzopyrone	$C_9H_6O_2$	≥99%	-	71 C°	C4261
Eugenol (Fluka) 2-Methoxy-4-allyl-phenol	$C_{10}H_{12}O_2$	≥99%	1.066 (20 C°)	-12 C°	46100
Geraniol (Aldrich) trans-3,7-Dimethyl-2,6-octadienyl acetate	$(CH_3)_2C{=}CHCH_2CH_2C(CH_3){=}CHCH_2OH$	98%	0.889 (20 C°)	15 C°	163333
Diethyl-phtalat (Merck) Phtalsäure-diethylesther	$C_{12}H_{14}O_4$	>99%	1.117 – 1.119 (20 C°)	-3 C°	8.22323

Von jeder Komponente müssen zunächst 300ml hergestellt werden. Auch wenn 200ml pro Komponente ausreichend wären, um den Test ansetzen zu können, ist es empfehlenswert, eine Reservemenge der Komponenten aufzubewahren, falls eine Testaufgabe im Laufe der Verwendung ersetzt werden müsste.

2.1 Ansetzen der bei Raumtemperatur flüssigen Geruchsstoffe

Die drei bei Raumtemperatur flüssigen Geruchsstoffe PEA, Eugenol und Geraniol können problemlos hergestellt werden, in dem die entsprechenden Volumenanteile von Geruchsstoff und Lösungsmittel in den großen Gefäßen zusammengemischt werden. Hierbei sind zwei Dinge zu beachten:

1. Es empfiehlt sich zunächst für alle sechs Geruchsstoffe das Lösungsmittel Diethyl-phtalat abzumessen.
2. Je nach Laborausstattung sollten zum Abmessen flüssiger Chemikalien Messzylinder und Pipetten verwendet werden, mit denen möglichst wenige Arbeitsschritte notwendig sind, jedoch die Genauigkeit der Messung maximal ist. Das Abmessen von 270ml Verdünnungsmittel würde am besten mit einem 300ml Messzylinder erfolgen. Das Abmessen von 292,5ml Verdünnungsmittel würde am besten in zwei Schritten erfolgen. In einem ersten Schritt könnten 290ml mit einem 300ml Messzylinder abgemessen werden und in einem zweiten Schritt 2,5ml mit einer entsprechenden Pipette (beispielsweise 5ml Volumen).

Für die Herstellung dieser drei Komponenten sind folgende Mischungsverhältnisse einzuhalten:

PEA (1:10)

- Geruchsstoff PEA: 30ml
- Verdünnungsmittel Diethyl-phtalat: 270ml

Eugenol (1:40)

- Geruchsstoff Eugenol: 7,5ml
- Verdünnungsmittel Diethyl-phtalat: 292,5 ml

Geraniol (1:40)

- Geruchsstoff Geraniol: 7,5ml
- Verdünnungsmittel Diethyl-phtalat: 292,5 ml

Nach dem Geruchsstoff und Lösungsmittel zusammengeführt wurden, muss die Mischung gut geschüttelt werden. Hierfür empfiehlt sich der Einsatz eines Schüttlers.

2.2 Ansetzen der bei Raumtemperatur fester Geruchsstoffe

Die drei bei Raumtemperatur festen Geruchsstoffe Dekansäure, Vanillin und Kumarin müssen zunächst in ihrem festen Aggregatszustand zusammen mit dem Lösungsmittel in die großen Gefäße gegeben werden. Anschließend wird die Mischung im Wasserbad auf

die Schmelztemperatur des Geruchsstoffs erhöht. Das Abmessen des Lösungsmittels muss auf die gleiche Weise erfolgen, wie es im vorangehenden Abschnitt beschrieben wurde. Das Einwiegen des Geruchsstoffs muss mit einer Waage erfolgen, die über eine entsprechende Genauigkeit verfügt.

Für die Herstellung der drei Komponenten sind folgende Mischungsverhältnisse einzuhalten:

Dekansäure (1:40)

- Geruchsstoff Dekansäure: 7,5g
- Verdünnungsmittel Diethyl-phtalat: 261,63 ml
- Schmelztemperatur: 31 C°

Vanillin (1:10)

- Geruchsstoff Vanillin: 30g
- Verdünnungsmittel Diethyl-phtalat: 241.50 ml
- Schmelztemperatur: 83 C°

Kumarin (1:10)

- Geruchsstoff Kumarin: 60g
- Verdünnungsmittel Diethyl-phtalat: 214,67 ml
- Schmelztemperatur: 71 C°

Nach dem Geruchsstoff und Lösungsmittel zusammengeführt wurden, muss die Mischung gut geschüttelt werden, so lange sie sich noch auf Schmelztemperatur des Geruchsstoffs befindet. Hierfür empfiehlt sich der Einsatz eines Schüttlers.

3. Mischung der Testaufgaben

Pro Mischgeruch werden 20ml benötigt. Jeder Mischgeruch beinhaltet vier Komponenten im Verhältnis 40%:40%:10%:10%. Die beiden Komponenten, die 40% des Mischgeruchs ausmachen, besitzen somit einen Volumenanteil von 8ml, die beiden Komponenten, die 10% ausmachen entsprechend 2ml. Pro Testaufgabe werden zwei identisch aufgebaute Mischgerüche (Standards) und ein abweichender Mischgeruch (Abweichler) benötigt. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht, welche Komponenten für welche Testaufgaben zur

Herstellung der Standards oder des Abweichlers zusammengemischt werden müssen und in welchen Anteilen.

Tabelle 2: Zusammensetzung der Testaufgaben.

	Komponenten						Standards	Abweichler
Testaufgabennummer	**K**	**E**	**G**	**P**	**D**	**V**	**8ml:8ml:2ml:2ml**	**8ml:8ml:2ml:2ml**
1	□	□	□			□	E:K:V:G	V:G:E:K
2	□	□			□	□	V:E:D:K	D:K:V:E
3	□	□	□			□	V:E:G:K	G:K:V:E
4		□	□		□	□	E:D:V:G	V:G:E:D
5	□		□	□	□		P:K:G:D	G:D:P:K
6	□	□	□		□		K:G:D:E	D:E:K:G
7		□	□		□	□	V:D:G:E	G:E:V:D
8		□	□	□		□	V:P:E:G	E:G:V:P
9	□			□	□	□	V:P:K:D	K:D:V:P
10	□		□	□	□		P:G:K:D	K:D:P:G
11		□	□	□	□		P:E:D:G	D:G:P:E
12		□		□	□	□	D:P:V:E	V:E:D:P
13			□	□	□	□	G:P:V:D	V:D:G:P
14			□	□	□	□	D:G:V:P	V:P:D:G
15	□	□		□		□	V:K:E:P	E:P:V:K
Probedurchgang A	□	□	□	□			K:G:P:E	P:E:K:G
Probedurchgang B	□	□			□	□	V:K:E:D	E:D:V:K

Die Komponenten, die in einem Mischgeruch enthalten sind, sind mit □ gekennzeichnet. Die sechs Geruchsstoffe Kumarin (K), Geraniol (G), Eugenol (E), Phenyl-Ethanol (P), Dekansäure (D) und Vanillin (V) werden jeweils durch ihre Anfangsbuchstaben dargestellt.

Für das Zusammenmischen der Komponenten empfiehlt sich der Einsatz eines elektronischen Handdispensers. Nach dem Zusammenmischen müssen alle Mischgerüche gut geschüttelt werden.

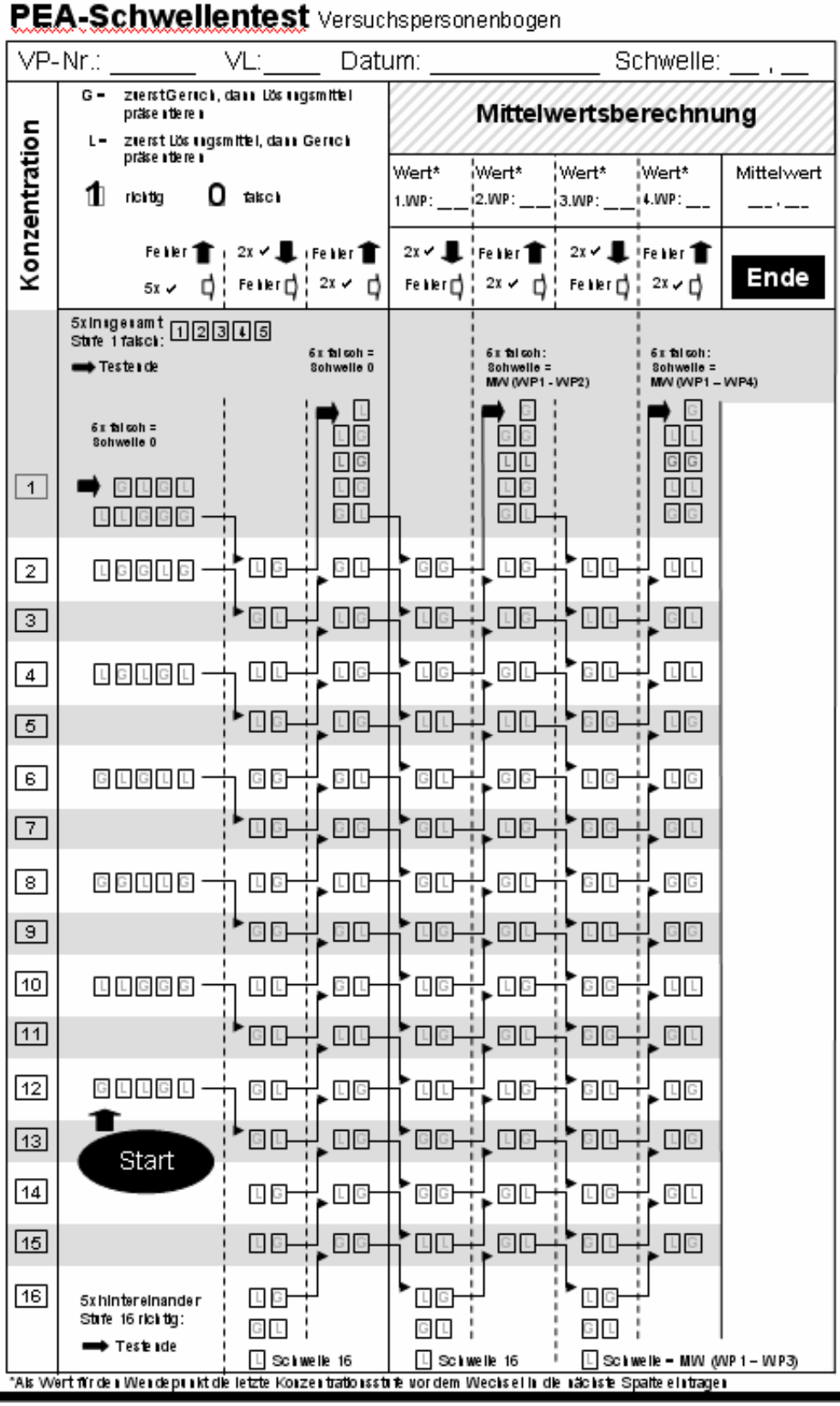
4.Position des Abweichlers in den Testaufgaben

Die Kennzeichnung kann beliebig erfolgen. Wichtig bei der Kennzeichnung der Gefäße, in denen sich die Mischgerüche befinden ist, dass der Abweichler in jeder Testaufgabe eindeutig zugeordnet werden kann, so dass während der Testung keine Verwechslungen auftreten können. Eine Übersicht über die Positionen der Abweichler in den entsprechenden Testaufgaben zeigt Abbildung 3.

Nr.	Reihenfolge 1	2	3
1	S	S	A
2	A	S	S
3	S	S	A
4	S	A	S
5	S	S	A
6	S	A	S
7	S	A	S
8	A	S	S
9	S	S	A
10	A	S	S
11	S	A	S
12	A	S	S
13	S	A	S
14	A	S	S
15	S	S	A

Abbildung 3: Präsentationsreihenfolge der Standards („S“) und der Abweichler („A“).

Weierstall, Ulrich, Mikutta 08



Diskriminationstest Versuchspersonenbogen

VP-Nr.: ____ 1. Sitzung: Datum: _____ Gesamtscore: _____

VL: ____

Richtige Antwort

Falsche Antworten

* Die Antwort der Testperson durchstreichen

jede richtige Antwort gibt einen Punkt

1. Sitzung

2 Probedurchgänge ☐

Item	Reihenfolge 1	2	3
1	1	1	**0**
2	**1**	0	0
3	0	0	**1**
4	1	**0**	1
5	0	0	**1**
6	0	**1**	0
7	0	**1**	0
8	**1**	0	0
9	0	0	**1**
10	**1**	0	0
11	0	**1**	0
12	**0**	1	1
13	1	**0**	1
14	**0**	1	1
15	0	0	**1**

Weierstall, Ulrich, Mikutta 08

Sniffin´Sticks Versuchspersonenbogen

VP-Nr.: _____ VL: _____ Datum: _____ Gesamtscore: _____

grün = Richtige Antwort

* Die Antwort der Testperson durchstreichen

➡ jede richtige Antwort gibt einen Punkt

Item	Reihenfolge 1	2	3
1	rot	grün	blau
2	blau	rot	grün
3	grün	blau	rot
4	rot	grün	blau
5	blau	rot	grün
6	grün	blau	rot
7	rot	grün	blau
8	blau	rot	grün
9	grün	blau	rot
10	rot	grün	blau
11	blau	rot	grün
12	grün	blau	rot
13	rot	grün	blau
14	blau	rot	grün
15	grün	blau	rot
16	rot	grün	blau

Weierstall, Ulrich, Mikutta 08

UPSIT Versuchspersonenbogen

VP-Nr.: ____ VL:____ Datum: _____ Gesamtscore _____

Richtige Antwort

Falsche Antworten

* Die Antwort der Testperson durchstreichen

➡ jede richtige Antwort gibt einen Punkt

Heft 1

	a	b	c	d
1	Benzin	Pizza	Erdnuss	Flieder
2	Dillgurke	Kaugummi	Walnuss	Wassermelo.
3	Tomate	Lakritze	Erdbeere	Menthol
4	Bier	Honig	Vanille	knusti. Kirsche
5	Gras	Pizza	Motoröl	Ananas
6	Hund	Pfefferminz	Fisch	Cola
7	Banane	Knoblauch	kusti. Kirsche	Motoröl
8	Babypuder	Nelke	Spaghetti	Banane
9	Nelke	Flieder	Leder	Apfel
10	Hund	Kokosnuss	Tomate	Honig

Heft 2

	a	b	c	d
11	Schokolade	Banane	Zwiebel	Pfirsich
12	Seife	Früchtebonb.	Menthol	Zitrone
13	Babypuder	Ananas	Käse	kusti. Kirsche
14	Lackverd.	kusti. Kirsche	Kokosnuss	Kiwi
15	Cola	Zimt	Fichte	Kokosnuss
16	Rose	Zitrone	Pfirsich	Benzin
17	Erdbeere	Dillgurke	Schokolade	Zedernholz
18	Zedernholz	Vanille	Zitrone	Autoreifen
19	Zitrone	Schokolade	Autoreifen	Pfeffer
20	Menthol	Babypuder	Apfel	Käse

Heft 3

	a	b	c	d
21	Flieder	Spaghetti	Kokosnuss	Bier
22	Terpentin	Seife	Hund	Spaghetti
23	Schokolade	Pfirsich	Leder	Pizza
24	Autoreifen	Wassermelo.	Banane	Rauch
25	Ananas	Dillgurke	Autoreifen	Pfeffer
26	Rauch	Bier	Ananas	Zwiebel
27	Cola	Knoblauch	Terpentin	Himbeere
28	Käse	Apfelsine	Spaghetti	Terpentin
29	Himbeere	Walnuss	Fisch	Leder
30	Bier	Menthol	Apfelsine	Wassermelo.

Heft 4

	a	b	c	d
31	Wassermelo.	Erdnuss	Rose	Lackverd.
32	Pfefferminz	Apfel	Gras	Erdbeere
33	Dillgurke	Gras	Rauch	Pfirsich
34	Fichte	Rauch	Flieder	Apfelsine
35	Pizza	Terpentin	Nelke	knusti. Weintr.
36	Motoröl	Vanille	Rose	Zitrone
37	Seife	Pfeffer	Babypuder	Erdnuss
38	Apfelsine	Moschuss	Cola	Stadtgas
39	Vanille	Rose	Pfefferminz	Kaugummi
40	Erdnuss	Zitrone	Apfel	Autoreifen

Welerslall, Ulrich, Mikulla 08

Re-Test-Bogen

Versuchsprotokoll

Untersuchung „Validität Diskriminationstest"

VP.-Nr.: 1 2 _ _ _ **Alter:** _____ **Geschlecht:** m ☐ w ☐ (orale Kontrazeptiva ☐)

Ausschlusskriterien: ☐
Versuchsinformationen und Einverständnis: ☐

1.Sitzung: **Datum:** _____

Uhrzeit: Beginn: ___ : ___ h Ende: ___ : ___ h

Temperatur: Beginn: _____ C° Ende_____ C°

Reihenfolge	Test	Testergebnis	Bemerkungen
1	PEA-Schwelle	Schwellenwert: ____ , ____	
2	Sniffin´Sticks	Gesamtscore: ____ Pkt.	
3	Diskriminationstest	Gesamtscore: ____ Pkt.	
4	UPSIT	Gesamtscore: ____ Pkt.	

Re-Test: **Datum:** _____

Uhrzeit: Beginn: ___ : ___ h Ende: ___ : ___ h

Temperatur: Beginn: _____ C° Ende_____ C°

5	Diskriminationstest *Re-Test*	Gesamtscore: ____ Pkt.	

Allgemeine Bemerkungen:

_____

_____

_____

Diskriminationstest Versuchspersonenbogen ***Re-Test-Bogen***

VP-Nr.: ____ 1. Sitzung: Datum: _____ Gesamtscore: _____

VL: ____ Re-Test: Datum: _____ Gesamtscore: _____

Richtige Antwort

Falsche Antworten

* Die Antwort der Testperson durchstreichen

jede richtige Antwort gibt einen Punkt

1. Sitzung

2 Probedurchgänge ☐

Item	Reihenfolge 1	2	3
1	1	1	0
2	1	0	0
3	0	0	1
4	1	0	1
5	0	0	1
6	0	1	0
7	0	1	0
8	1	0	0
9	0	0	1
10	1	0	0
11	0	1	0
12	0	1	1
13	1	0	1
14	0	1	1
15	0	0	1

Re-Test

Item	Reihenfolge 1	2	3
1	1	1	0
2	1	0	0
3	0	0	1
4	1	0	1
5	0	0	1
6	0	1	0
7	0	1	0
8	1	0	0
9	0	0	1
10	1	0	0
11	0	1	0
12	0	1	1
13	1	0	1
14	0	1	1
15	0	0	1

Die hier vorgelegte Dissertation habe ich eigenständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt. Die Dissertation wurde in der vorgelegten Form oder in ähnlicher noch bei keiner anderen Institution eingereicht. Ich habe bisher keine erfolglosen Promotionsversuche unternommen.

Düsseldorf, den 23.03.2009

_____

Roland Weierstall