

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde,

Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden

Direktor: Herr Prof. Dr. med. Dr. h.c. Thomas Zahnert

---

***Unterscheidung von Düften durch Kinder in  
verschiedenen Altersgruppen***

D I S S E R T A T I O N S S C H R I F T

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Medizin

Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt

der Medizinischen Fakultät Carl Gustav Carus

der Technischen Universität Dresden

von

Tim Grahl

aus Leipzig

Dresden, 2024

1. Gutachter: Herr Prof. Dr. med. Thomas Hummel

2. Gutachter:

Tag der mündlichen Prüfung:

Vorsitzender/e der Promotionskommission

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	5
1. Einleitung .....	6
1.1 Das Deutsche Hygiene Museum Dresden.....	6
1.2 Der Geruchssinn bei Kindern.....	7
2. Theoretischer Hintergrund.....	10
2.1 Enantiomere Düfte .....	10
2.2 Anatomische und physiologische Grundlagen .....	11
2.3 Testung des Riechvermögens .....	12
3. Zielstellung.....	15
4. Material und Methoden.....	16
4.1 Ethik.....	16
4.2 Probanden.....	16
4.3 Studienablauf .....	16
4.3.1 Identifikationstest .....	18
4.3.2 Figurentest.....	20
4.3.3 Diskriminationstest.....	21
4.3.4 Tiertest.....	22
4.4 Statistische Auswertung .....	23
5. Ergebnisse .....	24
5.1 Altersstruktur und Einteilung in Gruppen .....	24
5.1.1 Selbsteinschätzungen der Altersgruppen .....	25
5.2 Deskriptive Statistik.....	25
5.3 Ausschlusskriterien .....	27
5.4 Einfluss der Altersgruppe, Tieranzahltest und Geschlecht auf die Ergebnisse im Diskriminationstest.....	28
5.5 Korrelationen.....	31

5.6	Darstellung der einzelnen Diskriminationstests .....	34
5.7	Einfluss der Testreihenfolge auf die Einzelergebnisse im Diskriminationstest .....	36
5.8	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	38
6.	Diskussion.....	39
6.1	Bewertung der Studiengröße.....	39
6.2	Bewertung der Ergebnisse im Diskriminationstest.....	39
6.3	Einfluss des Geschlechts .....	41
6.4	Einfluss des Tieranzahltest auf die Ergebnisse .....	41
6.5	Einfluss der Reihenfolge auf die Ergebnisse .....	42
6.6	Einschränkungen.....	43
7.	Zusammenfassung.....	45
8.	Summary.....	47
I.	Abbildungsverzeichnis.....	49
II.	Tabellenverzeichnis.....	50
III.	Literaturverzeichnis.....	51
	Veröffentlichung .....	59
	Anhang.....	60
	Danksagung.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
	Anlage 1: Erklärungen zur Eröffnung des Promotionsverfahrens.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
	Anlage 2: Bestätigung über Einhaltung der aktuellen gesetzlichen Vorgaben.	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>

## Abkürzungsverzeichnis

Abb. Abbildung

ANOVA Varianzanalyse (Analysis of Variance)

Bzw. beziehungsweise

BO Bulbus olfactorius

cAMP zyklisches Adenosinmonophosphat

CAS Nummer Chemical Abstract Service Registry Number

DHMD Deutsches Hygiene Museum Dresden

EOG Elektroolfaktogramm

ERP ereigniskorrelierte Potentiale / ereignisbezogene Potentiale (event-related potentials)

fMRT Funktionelle Magnetresonanztomographie

IDS Identifikation Diskrimination Schwelle

MODT Match to sample odorant discrimination task

MW Mittelwert/Mittelwerte

OERP olfaktorisch evozierte Potentiale / olfaktorisch-ereigniskorrelierte Potenziale

ORN Olfaktorische Rezeptorneurone

SD Standardabweichung

SDI Schwelle Diskrimination Identifikation

SPSS Statistical Package for the Social Sciences

UPSIT University of Pennsylvania Smell Identification Test

Vgl. Vergleiche

J Jahre

# 1. Einleitung

## 1.1 Das Deutsche Hygiene Museum Dresden

Zentral in Dresden, zwischen Großen Garten und Pirnaischen Platz, befindet sich ein wuchtiges Bauwerk. Im Bauhaus Stil, vereint mit monumental-klassizistischen Elementen. Vor dieser Architektur wirkt der davorstehende Besucher klein und unbedeutend. Am 16. Mai 1930 wurde das Gebäude, von Wilhelm Kreis entworfen, vom Deutschen Hygiene Museum Dresden (DHMD) bezogen (Schulte, 2001). Die Geschichte des Museums ist bewegt. Auf Initiative des Dresdener Industriellen und Odol-Fabrikanten Karl August Ferdinand Lingner (1861 - 1916) wurde das Museum 1912 gegründet. Dabei wollte Lingner einen Ort, der über das übliche Konzept eines Museums hinaus geht. In seiner Gedenkschrift schreibt er:

*„Ein Museum in des Wortes gegenwärtiger Bedeutung ist es also nicht, was hier in Dresden errichtet werden soll. Das geplante Institut wird sich mehr zu einer Art Akademie herausbilden, in der jedermann, ohne an bestimmte Zeiten und begrenzte Themata gebunden zu sein, sich durch Anschauung und eigenartigen Selbstunterricht nach freiem Belieben Kenntnisse über die Gesundheitspflege in all ihren Teilen erwerben kann, in der aber auch jedem Fachmann durch systematische Kurse die Möglichkeit geboten wird, sein Wissen auf den verschiedenartigsten Gebieten der Hygiene zu erweitern.“ (Lingner, 1912)*

In der Weimarer Republik konnte an diesem Ort Wissen über die Anatomie des Menschen vermittelt und gesundheitliche Aufklärung betrieben werden. Dabei war es ein Anliegen, im Sinne der Volksbildungsbewegung breite Bevölkerungsschichten zu erreichen. Während der Zeit des Nationalsozialismus wurden hier auch rassenhygienische Propaganda und Erbgesundheitslehre nähergebracht. Bis in der Nacht vom 13. auf den 14. Februar 1945 große Teile des Gebäudes bei Luftangriffen zerstört wurden. Kurze Zeit später wieder aufgebaut, wurde in der DDR dort gleichfalls gesundheitliche Aufklärung betrieben. Das Konzept eines zeitgenössischen Hygiene-Museums wurde ab 1991, nach der deutschen Wiedervereinigung, nach den Vorstellungen des Gründers neu konzeptioniert. Ab 2001 begann dann eine bauliche Generalsanierung (Vogel, 2003). Heute besuchen jährlich an die 100.000 Besucher das Museum. Zudem finden in den Räumlichkeiten Tagungen, Workshops, Seminare, Konzerte und Vorträge statt. Neben der Dauerausstellung „Abenteuer Mensch“, gibt es ständig wechselnde, aufwändig kuratierte Sonderausstellungen zu bestaunen. Zudem gibt es eine weitere Konstante in der unteren Ebene des Hauses: die „Welt der Sinne“. In dieser, speziell an Kinder gerichteten Ausstellung wird an fünf kindgerechten, interaktiven Stationen Wissen über das Sehen, Hören, Fühlen, Schmecken und Riechen vermittelt. Dieser Ort, an dem sich Kinder mit ihren Sinnen intensiv

auseinandersetzen und ihre Neugier geweckt ist, bietet optimale Voraussetzungen um eine Studie durchzuführen, in der Kinder mit spielerischen Tests bezüglich ihres Riechvermögens untersucht werden.

## 1.2 Der Geruchssinn bei Kindern

Der Geruchssinn ist von Geburt an funktionsfähig. Neugeborene nutzen ihren Geruchssinn, um sich in ihrer Umgebung zurechtzufinden. Bestimmte Riechfähigkeiten sind jedoch erfahrungsabhängig und entwickeln sich mit dem Alter. Die Ergebnisse von Tests zur Geruchsfunktion steigen in den ersten anderthalb Lebensjahrzehnten an und erreichen im frühen Teenageralter ein Plateau (Dalton et al., 2009; Oleszkiewicz et al., 2019; Sorokowska et al., 2015). Forscher sind sich im Allgemeinen einig, dass jüngere Kinder bei Geruchsidentifikationsaufgaben schlechter abschneiden als ältere Kinder, Jugendliche und Erwachsene (Cain et al., 1995; Dalton et al., 2011; Gellrich et al., 2017; Schriever et al., 2014; Wijk & Cain, 1994). Altersabhängige Unterschiede bei der Benennung von Gerüchen wurden mit der geringeren Aufmerksamkeit von Kindern für Gerüche (Hummel et al., 2007), einer geringeren sprachlichen Gewandtheit (Monnery-Patris et al., 2009; Oleszkiewicz et al., 2016) oder limitierten geruchsspezifischem Wissen (Cain et al., 1995; Lehrner et al., 1999) erklärt. Auch die hedonische Wahrnehmung von Gerüchen gilt als altersabhängig, wobei bei einem Alter unter 5 Jahren keine klaren Präferenzen bestehen (Schmidt & Beauchamp, 1988).

Ein weiterer wichtiger Faktor, der bei der Untersuchung des Geruchsinns von Kindern berücksichtigt werden muss, ist die individuelle Erfahrung mit Gerüchen. Da wir ständig atmen und somit Geruchsmolekülen ausgesetzt sind, ist Unterscheidungsvermögen erforderlich, um einen Zielgeruch von anderen Gerüchen zu unterscheiden. Dann kann man ihn korrekt benennen, ihm eine hedonische Wertigkeit zuzuordnen und eine Verhaltensreaktion vorbereiten (Wilson & Stevenson, 2003). Die tägliche Wiederholung dieses Prozesses mit verschiedenen Gerüchen prägt die individuelle Geruchserfahrung (Oleszkiewicz et al., 2021; Richman et al., 1992). Es gibt Hinweise darauf, dass die Geruchserfahrung die Leistung bei der Geruchsunterscheidung beeinflusst (Gellrich et al., 2017; Richman et al., 1995; Stevenson et al., 2007). Außerdem verbessert eine vorherige Exposition gegenüber bestimmten Gerüchen die Fähigkeit, diese von anderen Gerüchen zu unterscheiden (Richman et al., 1992). Daher ist es verständlich, dass Kinder, die weniger Erfahrung mit Gerüchen haben als Erwachsene, bei Aufgaben zur Geruchsunterscheidung schlechtere Leistungen zeigen. In der Tat wurde festgestellt, dass die Unterscheidungsfähigkeit von Kindern mit dem Alter zunimmt (Gellrich et al., 2017; Oleszkiewicz et al., 2019). Einige der Studien, die sich auf die Geruchsunterscheidungsfähigkeiten von Kindern konzentrieren, haben den Test vereinfacht, um zu untersuchen, ob die ursprüngliche

Schwierigkeit der Aufgabe einen Nachteil für junge Proband\*Innen darstellt. In der Studie von Richman et al. wurden Kinder und Jugendliche im Alter von 2 bis 18 Jahren gebeten, einen Geruch aus einem vorgegebenen Paar mit dem vom Versuchsleiter präsentierten Mustergeruch zu vergleichen. Auch hier stellten die Autoren fest, dass jüngere Kinder schlechter abschnitten als ältere Personen. Die Ergebnisse des Diskriminationstests variierten weniger als die Ergebnisse des Identifikationstests, was auf ihre Konsistenz hindeutet (Richman et al., 1995). Gellrich et al. baten Kinder und Jugendliche im Alter von 5 bis 17 Jahren, zu entscheiden, ob zwei dargebotene Gerüche gleich oder verschieden sind, anstatt sie als Drilling, das heißt zwei gleiche Düfte und einen variierenden Duft, zu präsentieren. Alle Kinder erzielten in dem vereinfachten Test höhere Werte als in dem ursprünglichen Triplet-Test, aber der Effekt des Alters war immer noch signifikant. Der modifizierte Test war demnach weniger zuverlässig als die ursprüngliche Methode (Gellrich et al., 2017). Stevenson et al. stellte die Hypothese auf, dass man, anstatt den Diskriminationstest zu vereinfachen, eine schwierigere Aufgabe entwerfen sollte, die unabhängig von früherer Erfahrung mit Gerüchen ist, um festzustellen, ob die Fähigkeit zur Geruchsdiskriminierung durch chemosensorische Erfahrung bestimmt wird. Sie verglichen die Unterscheidungsergebnisse für unbekannte Gerüche und vertraute Gerüche unter Bedingungen der artikulatorischen Unterdrückung. Während eines Diskriminationstests sollten die Teilnehmenden immerwährend „the, the, the“ sagen, bis sie eine Entscheidung für den abweichenden Duft trafen. Dadurch sollte die Annahme untersucht werden, dass Erwachsene durch ihre verbalen Fähigkeiten einen Vorteil bei der Unterscheidung von Gerüchen haben. Trotz dieser Modifikationen fanden Stevenson et al. einen konsistenten Vorteil von Erwachsenen gegenüber 6-jährigen Kindern bei der Unterscheidung von Gerüchen. Dieser Unterschied wurde sogar noch deutlicher in dem Experiment, bei dem relativ unbekannte Gerüche verwendet wurden (Stevenson et al., 2007). Der altersbedingte Unterschied in der Fähigkeit Gerüche zu unterscheiden, kann also nicht nur mit der Schwierigkeit der Aufgabe erklärt werden. Die individuelle Erfahrung mit Gerüchen scheint eine wichtige Rolle bei der Unterscheidung von Gerüchen zu spielen. Der wichtigste Beweis für diese Feststellung stammt aus dem Vergleich von 6-jährigen Kindern und Erwachsenen (Stevenson et al., 2007). Ein so großer Altersunterschied führt wahrscheinlich zu einem robusten Alterseffekt bezogen auf die Fähigkeit zur Geruchsunterscheidung. Es sind zusätzliche Belege aus näher beieinander liegenden Altersgruppen erforderlich, um besser zu verstehen, wie sich die Fähigkeit zur Geruchsunterscheidung entwickelt und welche Rolle die Geruchserfahrung in diesem Prozess spielt.

In Anlehnung an die Idee von Stevenson et al., eine schwierigere Geruchsunterscheidungsaufgabe zu entwerfen, um die Altersabhängigkeit zu untersuchen, haben wir eine Studie erstellt, in der wir die Unterscheidungsfähigkeiten von Kindern und Jugendlichen in Bezug auf Paare gemeinsamer Gerüche und Paare von Enantiomeren (Moleküle mit identischen chemischen und physikalischen Merkmalen, die sich jedoch in ihrer optischen Aktivität unterscheiden) untersucht haben.

## 2. Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Enantiomere Düfte

Mit dem Begriff Enantiomere werden bestimmte chemische Verbindungen bezeichnet. Sie sind eine Sonderform der Stereoisomere. Stereoisomere wiederum sind chemische Verbindungen mit gleicher Summenformel – also gleicher Konstitution – welche sich aber in der räumlichen Anordnung – also ihrer Konfiguration - unterscheiden. Enantiomere sind Konfigurationsisomere, die sich wie Bild und Spiegelbild zueinander verhalten. Diese Art der Isomere wird auch als Chiralität bezeichnet. Dieses, aus dem Griechischen stammende Kunstwort lässt sich mit Händigkeit übersetzen. So lassen sich enantiomere Verbindungen wie die linke und die rechte Hand nicht zu einer spiegelbildlichen Deckung bringen. Enantiomere Stoffe haben trotz dieses Unterschieds gleiche physikalische Eigenschaften. In Puncto Dichte, Schmelz- und Siedepunkt, sowie Löslichkeit gleichen sie sich. Ein Unterschied ist die optische Aktivität. Beim Durchgang von linear polarisierendem Licht durch den Stoff wird das Licht ein wenig gedreht (Roth et al., 1998). Man unterscheidet zwischen links- und rechtsdrehenden Substanzen. Dabei drehen entgegengesetzten Enantiomere die Polarisationssebene um den jeweils gleichen, entgegengesetzten Betrag. Rechtsdrehende Enantiomere werden daher mit einem (+) und linksdrehende mit einem (-) versehen. Im Gegensatz dazu ist die Bedeutung für die biologische Wirkung wesentlich größer. So sind Enzymreaktionen oftmals auf ein Enantiomer spezialisiert (Testa, 1983). Der Conterganskandal 1961 ist ein Beleg für unterschiedliche pharmakologische Wirkung unterschiedlicher Enantiomere. Das Medikament Thalidomid, welches als Schmerzmittel verkauft wurde, führte als (+)-Thalidomid zu Fehlbildungen bei Kindern von Frauen, die es während der Schwangerschaft eingenommen hatten (Ridings, 2013).

Für diese Arbeit ist aber die Chemosensorik von Enantiomeren besonders wichtig. Geruchsrezeptoren binden selektiv Enantiomere, was zu Wahrnehmungsunterschieden zwischen Dextro- und Levo-Formen dieser Verbindungen führt (Laska & Teubner, 1999). Die Fähigkeit zur Unterscheidung von Enantiomeren ist jedoch substanzspezifisch, wobei einige Paare leichter zu unterscheiden sind als andere (Laska & Teubner, 1999; Laska, 2004). Tatsächlich wurde beispielsweise für das Enantiomer-Paar der Moleküle (+)- und (-)-Rosenoxid festgestellt, dass es auf der Riechschleimhaut wahrnehmbar, aber nicht unterscheidbar ist. Es konnten unterschiedliche Muster der peripheren Reaktion des Riechepithels mithilfe eines Elektroolfaktogram (EOG) abgeleitet werden. Über olfaktorisch evozierte Potentiale (OERP) wurde wiederum eine ähnliche Gehirnaktivierung und Verhaltensreaktion für beide Stoffe hervorgerufen (Poletti et al., 2017).

## 2.2 Anatomische und physiologische Grundlagen

Ort der Wahrnehmung olfaktorischer und trigeminaler Reize ist die Nase. Zudem bildet sie den Eingang zum oberen Respirationstrakt. Sie reinigt, erwärmt und feuchtet die Atemluft an und bildet gemeinsam mit den Nasennebenhöhlen einen Resonanzraum für die Stimmbildung. Das Wachstum der Nase bezüglich Höhe, Tiefe und Neigung ist im Alter von 16 bis 18 Jahren im Wesentlichen abgeschlossen (Cingi et al., 2016). Die Duftmoleküle können auf zwei Wegen zur Riechschleimhaut gelangen. Beim Einatmen wird ein Luftstrom an der Riechschleimhaut vorbeigeführt und so können Duftmoleküle an der Regio olfactoria, der Riechschleimhaut, mit olfaktorischen Rezeptorneuronen in Kontakt treten. Dies ist das sogenannte orthonasale Riechen. Retronasales Riechen beschreibt das Wahrnehmen von Duftmolekülen über den Rachen bei Ausatmen. Vor allem für die Umgebungswahrnehmung ist das orthonasale Riechen von Bedeutung (Rozin, 1982). Das retronasale Riechen spielt bei der Wahrnehmung komplexer Düfte am ehesten im Zusammenhang mit der Nahrungsaufnahme eine Rolle (Schäfer et al., 2021).

Die Schleimhaut bedeckt das Dach der Nasenhöhle und befindet sich somit direkt unter der Lamina cribrosa des Os ethmoidale, in der sogenannten Riechrinne (Aumüller et al., 2014). Zudem scheint sie sich insbesondere bei jungen Menschen über benachbarte Anteile der Concha nasales superior und des Nasenseptums zu erstrecken (Fitzek et al., 2022). Bereits bei Neugeborenen wurde eine solche größere Ausdehnung beschrieben (Read, 1908). Die Größe des Riechepithels wird nach Brunn (1892) bei Erwachsenen mit etwa 5 cm<sup>2</sup> angegeben.

Die Riechschleimhaut besteht aus olfaktorischem Epithel und der subepithelialen Lamina propria. Das olfaktorische Epithel ist ein mehrreihiges Epithel mit einer Basalzellschicht und besteht aus Basalzellen, Stützzellen, mikrovillären Zellen und olfaktorischen Rezeptorneuronen (ORN) - den eigentlichen Riechsinneszellen. Deren Oberfläche wiederum ist mit Zilien ausgestattet, in denen olfaktorische Rezeptoren eingebettet sind (Manzini et al., 2022). In der Lamina propria sind Blutgefäße, Bindegewebe, Bowman-Drüsen und die Axone der ORN enthalten. Ausgehend von den Basalzellen können ORN auch nach Zerstörung oder Schädigung lebenslang erneuert werden (Durante et al., 2020). Zur Signaltransduktion binden Duftstoffe an einen für diesen Duftstoff spezifischen, olfaktorischen Rezeptor. Dieser ist ein Transmembranprotein. Nach der Bindung am Rezeptor wird ein spezielles olfaktorisches G-Protein, G<sub>olf</sub>, und daraufhin folgend eine Adenylatcyclase aktiviert. Es kommt zur intrazellulären Erhöhung von zyklischem Adenosinmonophosphat (cAMP). Dies führt zur Öffnung von Kationenkanälen, wodurch Calcium in die Zelle einströmt, die Membran depolarisiert und ein Aktionspotential entlang der Axone in Richtung Bulbus olfactorius (BO) strömt (Buck & Axel, 1991). Annähernd 400 aktive Gene für die Kodierung der spezifischen Rezeptorproteine sind bekannt (Verbeurgt et al., 2014). Es wird davon

ausgegangen, dass jedes ORN nur einen olfaktorischen Rezeptor exprimiert (Mombaerts, 2004). Trotz dieser geringen Anzahl an Rezeptoren ist es möglich, eine enorme Anzahl verschiedener Duftmoleküle zu unterscheiden. Grundlage dafür ist eine kombinierende Kodierung. Ein Duftmolekül kann verschiedene Rezeptoren aktivieren. Und ein einzelner Rezeptor kann von verschiedenen Duftmolekülen aktiviert werden. So aktiviert jeder Duftstoff eine spezifische Kombination an olfaktorischen Rezeptoren. Dabei können diese als Antagonist und als Agonist fungieren (Kurian et al., 2021).

Die Axone der ORN bündeln sich in den Fila olfactoria und verlaufen durch die Löcher der Lamina cribrosa des Siebbeins. Im BO, dem Riechkolben, bilden die ORN die erste Synapse mit den Mitral- und Büschelzellen. Während der Altersentwicklung scheint der BO einen Reifeprozess hinsichtlich Volumen und Struktur von Kindheit bis ins Erwachsenenalter zu nehmen, wie MRT-Studien zeigen konnten (Hummel et al., 2011; Schneider & Floemer, 2009). Die postsynaptischen Axone verlaufen nun zum primären Riechkortex. Zu dessen Strukturen gehören der Nucleus olfactorius anterior, der piriforme Kortex, Teile der Amygdala und der rostrale entorhinale Kortex. Die weitere Geruchsverarbeitung findet in „sekundären“ und „tertiären“ Hirnarealen statt, darunter Strukturen wie Hippocampus, Insula, Parahippocampus und orbitofrontaler Kortex (Fjaeldstad et al., 2017). Das olfaktorische System ist das einzige sensorische System, das ohne Verarbeitung im Thalamus zum Kortex gelangt.

### 2.3 Testung des Riechvermögens

Eine Studie von Landis et al liefert Hinweise, dass die Selbsteinschätzung des Riechvermögens nicht zuverlässig die tatsächliche Riechfunktion widerspiegelt (Landis et al., 2003). Um den Geruchssinn differenziert und objektiv zu testen, stehen eine Vielzahl unterschiedlicher Testverfahren zur Verfügung. Das nachfolgende Kapitel soll einen kurzen Überblick über die etabliertesten Methoden und ihre Anwendungsbereiche verschaffen. Ein besonderes Augenmerk soll dabei auf die Anwendung bei Kindern gelegt werden.

Mit psychophysischen Methoden ist die ortho- oder retronasale Darbietung von Gerüchen und nachfolgende Bewertung durch die Proband\*innen gemeint. Dabei können drei grundlegende Prinzipien der Geruchstestung Anwendung finden: die Erfassung der Riechschwelle, die Fähigkeit Gerüche voneinander zu unterscheiden und einen einzelnen Duft zu benennen und somit zu identifizieren.

Bei der Riechschwelle wird bestimmt, ab welcher Konzentration ein Duft wahrgenommen wird. Dabei ist es für die getesteten Personen nicht notwendig, den Duft selbst zu kennen. Diese Art

der Untersuchung scheint besonders die Beurteilung des peripheren olfaktorischen Systems zu erlauben (Lötsch et al., 2008).

Ein Teil des „Sniffin‘ Sticks“ Test ist die Bestimmung der Riechschwelle. Bei diesem Testsystem, welches ursprünglich von Kobal et al entwickelt wurde, werden wiederverschließbare und wiederverwendbare Filzstifte benutzt (Kobal et al., 1996). In aufsteigender Verdünnung werden nacheinander jeweils drei der Stifte dargeboten, von denen nur einer den tatsächlichen Duft enthält und die beiden anderen nur geruchslose Lösungsmittel. Die untersuchte Person wird zu diesem Zweck mittels einer Maske verblindet. Insgesamt sind 16 Verdünnungsstufen während des Tests einsetzbar. Obwohl der Test ursprünglich für Erwachsene entwickelt wurde, konnten mehrere Studien diese Art der Riechschwellenbestimmung erfolgreich bei Kindern anwenden (Gellrich et al., 2019; Hummel et al., 2007). Auch eine vereinfachte Art der Schwellenbestimmung wurde untersucht. Hierzu wurden nur zwei Stifte verblindet angeboten, wobei sich diese Methode als ungenauer herausstellte, als die Ursprüngliche (Gellrich et al., 2017).

Ein etwas anderen Ansatz zur Bestimmung der Riechschwelle nutzt der „Alcohol sniff Test“ (Davidson & Murphy, 1997). Hier werden keine Konzentrationen eines Dufts benutzt, sondern der Abstand gemessen, bei dem er wahrgenommen wird. Dazu wird ein mit 70% 2-Propanol getränkter Tupfer 30 cm vor die Nase der Testperson gehalten und mit jeder Einatmung einen Zentimeter näher zu Nase geführt. Der Abstand, an dem der Geruch das erste Mal wahrgenommen wurde, stellt dann die Riechschwelle dar. Auch bei Kindern fand dieser einfache Test schon erfolgreich Anwendung (Davidson et al., 1998).

Weitere, bei Kindern schon genutzte Testverfahren zur Bestimmung der Riechschwelle sind der „Lyon Clinical Olfactory Test“ (Monnery-Patris et al., 2009), die Nutzung des „T & T Olfactometer“ (Chen et al., 2018) und der „Pediatric Barcelona Olfactory Test-6“ (Mariño-Sánchez et al., 2020).

Im Gegensatz zur Riechschwellenbestimmung, bei der also Düfte in niedrigschwelligen Konzentrationen dargeboten werden, stehen Testverfahren, bei denen Düfte in Konzentrationen dargeboten werden, die Menschen mit normaler Geruchsfunktion erkennen sollten. Dabei kann untersucht werden, ob Düfte richtig erkannt und benannt werden, also sogenannte Identifikationstests. Und es kann getestet werden, ob Düfte korrekt voneinander unterschieden werden können. Diese Art des Tests wird Diskriminationstest genannt.

Die Identifikation von Gerüchen setzt voraus, diese bereits zu kennen. Dann müssen sie noch korrekt zugeordnet werden (Hummel et al., 2017). Die freie Zuordnung von Gerüchen ist schwierig. Deutlich besser gelingt die Zuordnung, wenn eine Auswahlmöglichkeit angeboten wird (Sorokowska et al., 2015). Dieses Prinzip liegt den meisten Identifikationstests zugrunde. Ein

reiner Identifikationstest ist der „UPSIT“, also der „University of Pennsylvania Smell Identification Test“. Dabei werden auf Karten 40 Düfte mikroverkapselt und müssen durch Kratzen aktiviert werden. Für jeden Duft werden vier Auswahlmöglichkeiten angeboten. In der Originalarbeit wurden neben einer großen Anzahl Erwachsener auch 144 Kinder im Alter von 10 bis 14 Jahren untersucht (Doty et al., 1984a, 1984b). Auch ein Teil der „Sniffin‘ Sticks“ ist ein Identifikationstest. Mit den üblichen Duftstiften muss dann, ähnlich wie beim UPSIT, aus vier Auswahlmöglichkeiten der richtige Stoff herausgefunden werden. Zum Teil angepasst, wurden „Sniffin‘ Sticks“ bei einer Vielzahl von Studien an Kindern angewandt (Bastos et al., 2015; Chen et al., 2018; Schriever et al., 2018; Schriever et al., 2014).

Wie oben erwähnt, ist Diskrimination die Fähigkeit, Düfte voneinander zu unterscheiden. Bei Kindern wurde diese Fähigkeit noch nicht sehr umfangreich getestet. Mit dem „MODT“, dem „Match to sample odorant discrimination task“ wurde ein Diskriminationstest geschaffen, bei dem kinderfreundliche Gerüche benutzt werden. Ein zur Probe passender und ein ablenkender Geruch müssen durch die Kinder erkannt werden (Richman et al., 1995). Dieses Prinzip liegt auch dem Diskriminationsteil der „Sniffin‘ Sticks“ zugrunde. In großen Studien konnte die Anwendbarkeit bei Kindern bereits bewiesen werden (Oleszkiewicz et al., 2019). Dazu werden insgesamt 16 Duftdrillinge benutzt. Dabei liegen nicht nur für Europa, sondern auch für China Daten vor. Wie bei den Identifikationstests, wurde auch hier überprüft, ob eine vereinfachte, nur zwei Düfte nutzende Version des Tests anwendbar ist (Gellrich et al., 2017). Allerdings wurden, wie beim Identifikationstest, ungenauere und in Hinblick auf Reliabilität schlechtere Ergebnisse erzielt.

### 3. Zielstellung

Wir stellten die Hypothese auf, dass die Unterscheidung von enantiomeren Geruchspaaren bei Kindern und Jugendlichen weniger anfällig für Alterseffekte sein würde als die Unterscheidung von Paaren gewöhnlicher Gerüche. Sowohl geläufige Geruchspaare als auch Enantiomere rufen unterscheidbare periphere Reaktionen hervor, aber Geruchs-Enantiomere sind in der Wahrnehmung ähnlich und haben daher keine separaten verbalen Bezeichnungen oder semantischen Assoziationen. Im Gegensatz dazu können den geläufigen Geruchspaaren jeweils bestimmte Bezeichnungen zugeordnet werden. Bei diesem Studiendesign soll die Diskriminierung von Enantiomeren und gewöhnlichen Düften durch Kinder in unterschiedlichen Altersklassen verglichen werden. Dabei soll die Verzerrung durch die Abhängigkeit von Geruchserfahrung beseitigt werden. Wenn die Geruchsdiskriminierung tatsächlich von der Geruchserfahrung abhängen sollte, dann müssten junge und ältere Kinder enantiomere Paare ähnlich genau diskriminieren. Die gewöhnlichen Geruchspaare sollten mit steigender Altersgruppe und mehr Geruchserfahrung auch entsprechend besser unterschieden werden. Sollte sich diese Hypothese bestätigen, würde sie zusätzliche Beweise für die Funktionalität des Geruchssystems in der frühen Kindheit liefern. Somit würden weitere Daten erhoben werden, die gegen die Unterschätzung der menschlichen Geruchsleistung sprechen (McGann, 2017), insbesondere da sie von Kindern stammen. Wenn die Unterscheidung von Gerüchen im frühen Alter von der Geruchserfahrung abhängt, sollten künftige Screening-Tests auf Riechstörungen bei Kindern diesen Aspekt berücksichtigen.

## 4. Material und Methoden

### 4.1 Ethik

Die verwendeten Daten wurden im Rahmen einer klinischen Studie mit prospektivem Charakter erhoben, welche sich an die Deklaration von Helsinki „Ethische Grundsätze für die medizinische Forschung am Menschen“ hält. Die Ethikkommission der Technischen Universität Dresden überprüfte und genehmigte ihre Durchführung (Ek337092018). Die Teilnahme der Kinder an der Studie erfolgte freiwillig und nach mündlicher Einwilligung der Erziehungsberechtigten. Über den anonymisierten Umgang mit den erhobenen Daten wurde informiert. Die teilnehmenden Personen konnten jederzeit und ohne Angabe von Gründen die Testung beenden.

### 4.2 Probanden

Im Zeitraum vom Mai 2019 bis Dezember 2019 wurden im Kindermuseum des Deutschen Hygienemuseums Dresden insgesamt 814 Kinder getestet. Hierbei konnten 364 Kinder als Jungen und 444 Kinder als Mädchen identifiziert werden. Bei 6 Kindern wurde das Geschlecht nicht erfragt (Siehe Kapitel 5.3). Bei einem Verhältnis von 45 % Jungen und 55 % Mädchen unterscheidet sich die Verteilung der Geschlechter in der Stichprobe signifikant von der Verteilung der Geschlechter in der Allgemeinbevölkerung ( $p=0,005$ ). Der Altersdurchschnitt betrug  $8,33 \pm 2,79$  (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung). Die Probanden wurden unter den Besuchern des Kindermuseums des Deutschen Hygienemuseums Dresden rekrutiert. Dazu wurden Sie von einem ins Museum integrierten Teststand heraus angesprochen. Kinder, die an Erkrankungen der oberen Atemwege litten (beispielsweise Schnupfen, Allergien), wurden von der Testung ausgeschlossen. Alle Kinder, bis einschließlich 18-Jährige, durften ohne weitere Prüfung an den Tests teilnehmen.

### 4.3 Studienablauf

Innerhalb des Kindermuseums des DHMD wurde ein Arbeitsplatz zur Testung eingerichtet. Dieser befand sich in einem ruhigeren Abschnitt des Museums und verfügte über ausreichend Beleuchtung. Die Belüftung erfolgte über die zentrale Klimaanlage des Museums. Begleitpersonen durften während der Testung anwesend sein, wurden aber gebeten nicht in den Untersuchungsablauf einzugreifen. Der Untersucher trug während der gesamten Testung geruchsneutrale Latexhandschuhe. Vorher wurden alle Kinder gefragt, ob sie zum Zeitpunkt der Testung an einer akuten oder chronischen Erkrankung der oberen Atemwege litten. Weiterhin sollten die Kinder ihr Riechvermögen selbst einschätzen. Dabei sollten sie sagen, ob sie ihrer

Meinung nach gut, normal, schlecht oder gar nicht riechen könnten. Nacheinander konnten die Teilnehmenden vier Tests absolvieren. Die einzelnen Tests werden im Folgenden erläutert.



Abbildung 1: Arbeitsplatz im Kindermuseum – im Vordergrund der Teststand. Darauf von links nach rechts: die Datenerhebungsblätter, der Diskriminationstest, der Figurentest und ganz rechts der Identifikationstest. Im Hintergrund eine Informationstafel, welche freundlicherweise vom DHMD zur Verfügung gestellt wurde.

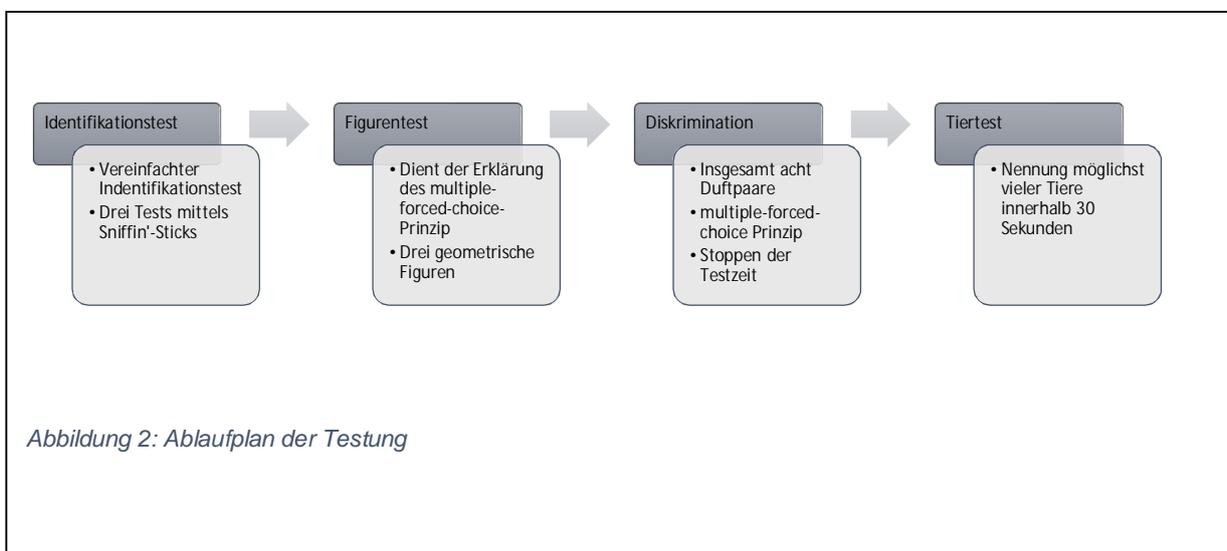


Abbildung 2: Ablaufplan der Testung

### 4.3.1 Identifikationstest

In einem Identifikationstest mit „Sniffin‘ Sticks“ sollte ein erster Eindruck vom Riechvermögen der Kinder erarbeitet werden. Hierbei wurde der klassische Identifikationstest mit „Sniffin‘ Sticks“ auf drei Düfte reduziert. Laut Lötsch et al. kann ein auf die Düfte Banane, Zimt und Fisch reduzierter „Sniffin‘ Sticks“ Test eine Normosmie mit einer Spezifität von 84,3% und einer Sensitivität von 80,4% detektieren (Lötsch et al., 2016). In einem filzstiftähnlichen Behälter wurde ein überschwelliger Duft präsentiert. Dabei wurde er für ca. drei Sekunden zwei Zentimeter maximal zweimal vor die Nasenlöcher gehalten. Nun sollten die Probanden aus einer Bildertafel, auf der vier Auswahlmöglichkeiten in Bild und Schrift abgebildet waren, den korrekten Duft bestimmen. In einer Tabelle wurde die gegebene Antwort notiert. Am Ende des Tests konnten die teilnehmenden Personen das korrekte Ergebnis erfahren.

Nr.	Duft 1	Duft 2	Duft 3	Duft 4
1	<b>Banane</b>	Walnuss	Kokosnuss	Kirsche
2	Honig	<b>Zimt</b>	Vanille	Schokolade
3	Brot	Käse	<b>Fisch</b>	Schinken

*Tabelle 1: Auswahlmöglichkeiten des Identifikationstests, korrekte Antwort fett markiert*



Kokos



Banane



Walnuss



Kirsche



Brot



Fisch



Käse



Schinken



Honig



Vanille



Schokolade



Zimt

Abbildung 3: Auswahlmöglichkeiten des Identifikationstests. Je Duft wurde eine Karte mit vier Auswahlmöglichkeiten vorgelegt.

### 4.3.2 Figurentest

Der nächste Test diente der Erklärung des multiple-forced-choice Prinzips und der Erfassung des Verständnisses der Kinder für die Aufgabe. Hierzu wurden jeweils drei Formen aus Holz angefertigt, wobei zwei Formen identisch waren und eine dritte Form minimal von den anderen beiden abwich (Vgl. Abbildung 4). Diese drei Formen wurden den Kindern präsentiert. Nun sollten die Kinder die abweichende Form zeigen. Es wurden zwei Kreise und ein Oval, zwei Quadrate und ein Rhombus sowie zwei gleichschenkelige Dreiecke und ein unregelmäßiges Dreieck verwendet. Die erste Antwort wurde bewertet.

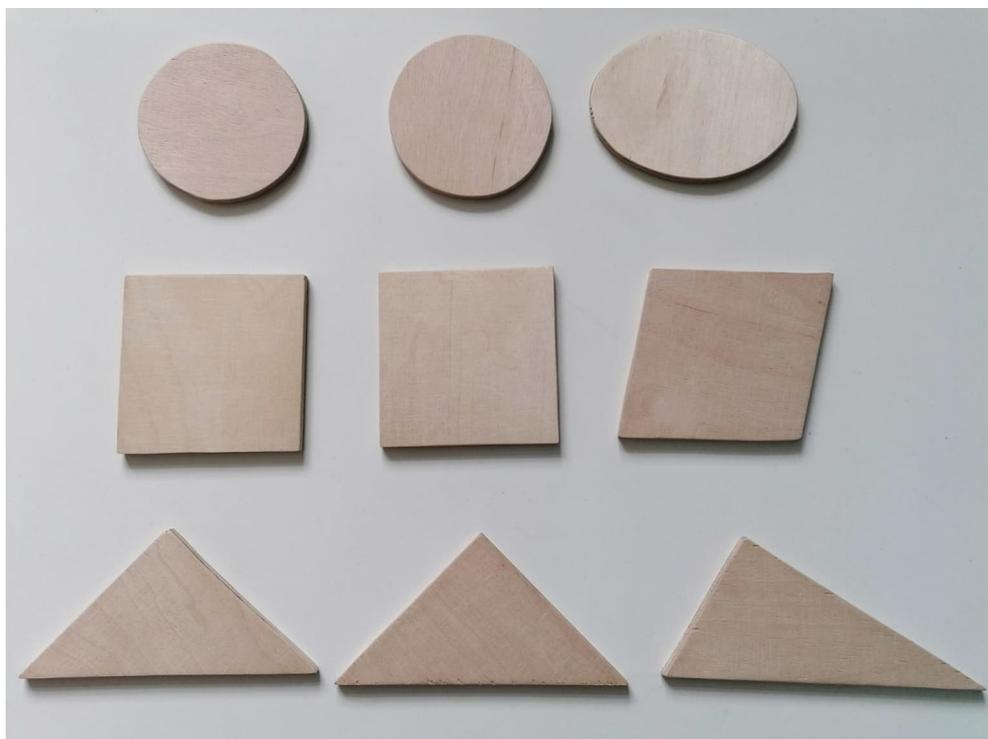


Abbildung 4: Verwendete Holzfiguren

### 4.3.3 Diskriminationstest

Der Haupttest der Studie sollte sich mit dem Diskriminationsvermögen der Kinder bezüglich unterschiedlicher Düfte beschäftigen. Insbesondere die Unterscheidung von enantiomeren Düfte sollte untersucht werden. Hierzu wurde insgesamt acht Tests vorbereitet. Die verwendeten Düfte wurden mit Dipropylenglycol (Hersteller: Klinikapotheke der Uniklinik Dresden) verdünnt. Über den Umfang der Verdünnung wurde anhand von drei Intensitätstests bestimmt. Hierzu wurden jeweils zehn riechgesunde Erwachsene über die individuell wahrgenommene Intensität der gepaarten Düfte auf einer Skala von eins bis zehn befragt. Waren die gemittelten Intensitäten zu unterschiedlich, wurden die betreffenden Düfte nachverdünnt. Die Düfte wurden in jeweils drei geruchsneutralen, lichtdichten, braunen Schraubgläsern mit je 50 ml präsentiert. Zwei dieser Düfte waren identisch und der Dritte ein anderer Duft. Nach dem forced-choice Prinzip mussten die Kinder den abweichenden Duft bestimmen. Die Präsentation erfolgte für mindestens drei Sekunden in einem Abstand von ca. zwei Zentimeter zur Nase. Für jeden Test konnten die Kinder eine zweite Riechprobe anfordern. Die Gläser waren farbcodiert. Auf eine Verblindung der Probanden wurde verzichtet. Während des Ablaufes dieses Versuchs wurde per Stoppuhr die Zeit der einzelnen Kinder aufgezeichnet.

Nr.	Doppelt verwendeter Duft	Abweichender Duft
1	Pfirsich	Apfel
2	Lavendel	Flieder
3	Vanille	Karamell
4	(-)-limonene	(+)-limonene
5	(-)-carvone	(+)-carvone
6	(-)-rosenoxid	(+)-rosenoxid
7	(-)-fenchone	(+)-fenchone
8	(-)-2-butanol	(+)-2-butanol

*Tabelle 2: Im Diskriminationstest verwendete Düfte*

Für die Duftpaare Apfel und Pfirsich, Lavendel und Flieder, sowie Vanille und Karamell wurde angenommen, dass sie gut voneinander unterscheidbar sind. Für die enantiomeren Düfte konnte im Fall von Limonene und Carvone eine signifikante Unterscheidbarkeit bei riechgesunden Erwachsenen gezeigt werden. (Laska & Teubner, 1999; Laska, 2004) Die gleichen Autoren zeigten auch, dass riechgesunde Erwachsene die Enantiomere von Rosenoxid, Fenchone und 2-

Butanol nicht signifikant voneinander unterscheiden können. Im Untersuchungszeitraum wurden zwei verschiedene Reihenfolgen des Tests durchgeführt. Den ersten 411 Kinder wurden die Abfolge 1→2→8→7→6→5→4→3 präsentiert. Hintergrund hierfür war die Überlegung, mit einem möglichst leichten Test zu beginnen, danach mutmaßlich schwerere Tests folgen zu lassen und mit einem leichten Test abzuschließen. Von Kind 413 bis Kind 816 wurde nun in Reihenfolge 8→6→4→7→5→3→2→1 getestet. Es wurde mit den bis dahin am schlechtesten erkannten Duft begonnen und mit dem am besten erkannten Duft beendet, um den Einfluss der Testreihenfolge in dieser Arbeit betrachten zu können.



#### 4.3.4 Tiertest

Eine einfache Möglichkeit die Sprachgewandtheit und kognitive Funktion der Kinder zu überprüfen ist der „animal fluency test“. Hierzu wurden die Kinder gebeten, in 30 Sekunden so viele Tiere wie möglich zu benennen. Die Anzahl der genannten Tiere wurde anschließend notiert. Als Durchschnittswert für eine Minute werden 16 Tiere angegeben. (Ardila et al., 2006; Strauss et al., 2006)

#### 4.4 Statistische Auswertung

Die Statistische Auswertung erfolgte mit SPSS Statistics Version 28.0 (IBM, Ehningen, Deutschland) und die Darstellungen der Grafiken mit Microsoft Office (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) und mit SPSS Statistics. Vorab wurde eine Fallzahlberechnung mit G\*Power Version 3.1.9.7 (Franz Faul, Universität Kiel, Deutschland) für eine A priori Analyse verwendet. Für die Auswertung der Daten wurden die Kinder in vier gleichgroße Altersgruppen unterteilt, in denen jeweils vier Lebensjahre (Gruppe 1 = 3-6 Jahre, Gruppe 2 = 7-10 Jahre, Gruppe 3 = 11-14 Jahre, Gruppe 4 = 15-18 Jahre) eingeschlossen wurden. Weiterhin wurden die Ergebnisse des Diskriminationstest in geläufige Düfte (Apfel und Pfirsich, Lavendel und Flieder, sowie Vanille und Karamell) und in enantiomere Düfte ((-)-limonene und (+)-limonene, (-)-carvone und (+)-carvone, (-)-rosenoxid und (+)-rosenoxid, (-)-fenchone und (+)-fenchone, sowie (-)-2-butanol und (+)-2-butanol) unterteilt. Daran anknüpfend wurde die deskriptive Statistik berechnet und ein Baseline-Gruppenvergleich durchgeführt für die Geschlechter der Teilnehmenden, die Selbsteinschätzung, den Figurentest, den Tieranzahltest, die Gesamtanzahl der richtigen Identifikationstests, die Gesamtanzahl der richtigen Diskriminationstests, die Gesamtanzahl der richtigen geläufigen Düfte, die Gesamtanzahl der richtigen enantiomeren Düfte und die Zeit. Anschließend wurden Ausschlusskriterien definiert und die Ergebnisse von Kindern, welche diese Ausschlusskriterien erfüllten, nicht in die weiterführende statistische Untersuchung eingeschlossen. Um den Zusammenhang zwischen den Altersgruppen und den Ergebnissen in den Diskriminationstests und deren Unterteilungen mit dem Geschlecht und der Anzahl an genannten Tieren zu untersuchen, wurde eine univariate ANOVA berechnet. Vorab wurde durch den Levene-Test auf Varianzgleichheit geprüft. Mit dem Pearsons und dem Spearmans Rho Korrelationskoeffizienten wurden Korrelationen berechnet für die Selbsteinschätzung, den Tieranzahltest, den Identifikationstest und den Diskriminationstest mit seinen Untergruppen geläufige und enantiomere Düfte. Der Einfluss der Reihenfolge auf das Ergebnis in den einzelnen Diskriminationstest wurde mit einem Chi<sup>2</sup>-Test überprüft. Der Einfluss der Reihenfolge auf das Gesamtergebnis im Diskriminationstest wurde mit einem t-Test für unabhängige Stichproben überprüft. Hier wurde ebenfalls durch den Levene-Test auf Varianzgleichheit geprüft. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt.

## 5. Ergebnisse

### 5.1 Altersstruktur und Einteilung in Gruppen

Von 814 getesteten Kindern betrug der Mittelwert 8,3 Jahre ( $SD \pm 2,8$ ) bei einer Altersspanne von 3 bis 18 Jahren. Das Durchschnittsalter der Mädchen und der Jungen lag bei 8,3 Jahren ( $SD \pm 2,8$  für Mädchen,  $SD \pm 2,7$  bei Jungen). 91%, also 742 der Kinder sind im Alter von 4 bis 12 Jahren gewesen ( $MW \pm SD 8 \pm 2,2$ ). Es wurden drei Gruppen zur Auswertung gebildet. Gruppe 1 umfasste Kinder im Alter von 4 bis 6, Gruppe 2 umfasste Kinder von 7 bis 9 und Gruppe 3 Kinder von 10 bis 12 Jahren. Aufgrund der wenigen Kindern über 13 Jahre, konnten diese Daten nicht sinnvoll in eine statistische Auswertung einfließen.

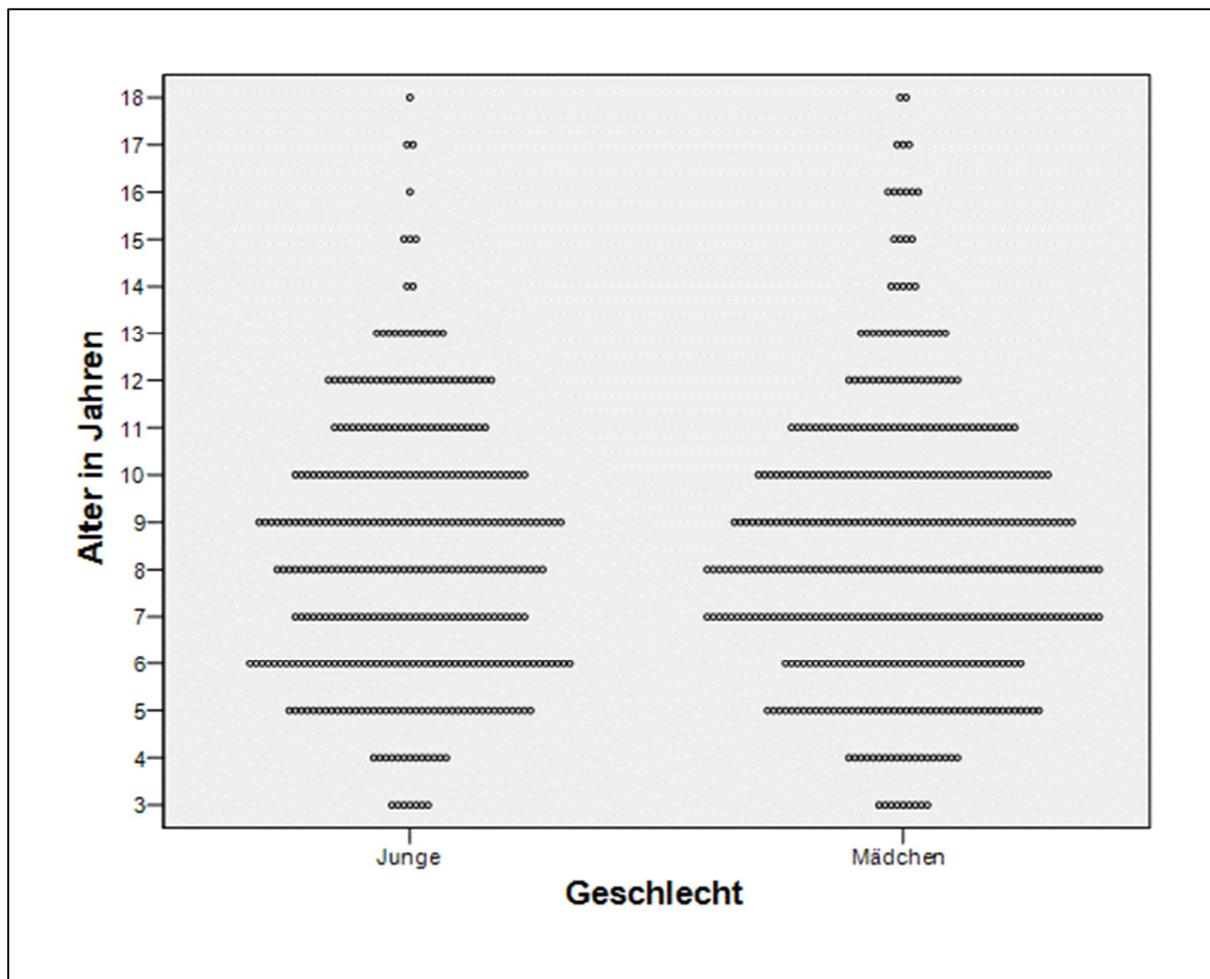


Abbildung 6: Anzahl der Kinder je Alter und Geschlecht

### 5.1.1 Selbsteinschätzungen der Altersgruppen

In der Selbsteinschätzung des Riechvermögens stuften sich in Gruppe 4-6 Jahre 57% der Kinder als gut, 40% als normal und 3% als schlecht riechend ein. In Gruppe 7-9 Jahre schätzten sich 32% der Kinder als gut, 66% als normal und 2% als schlecht riechend ein. Bei Gruppe 10-12 Jahre schätzten 22% der Kinder ihren Geruchssinn als gut, 76% als normal und 3% als schlecht ein. Demnach neigen jüngere Kinder dazu, ihr Riechvermögen besser einzuschätzen als ältere Kinder. Eine Übersicht über die Selbsteinschätzungen der Kinder sowie die Geschlechterverteilung innerhalb der Altersgruppen gibt Tabelle 3.

	4-6 J (n=213; in %)	7-9 J (n=324; in %)	10-12J (n=199, in %)	Total (n=736)
<b>Geschlecht</b>				
- Jungen	108 (50,7%)	135 (41,7%)	93 (46,8%)	336 (45,7%)
- Mädchen	105 (49,3%)	189 (58,3%)	106 (53,1%)	400 (54,3%)
<b>Selbsteinschätzung</b>				
- Gar nicht	0	0	0	0
- Schlecht	7 (3,3%)	7 (2,1%)	5 (2,5%)	19 (2,6%)
- Normal	85 (39,9%)	215 (65,7%)	153 (75,7%)	453 (61%)
- Gut	121 (56,8%)	105 (32,1%)	44 (21,8%)	270 (36,4%)

Tabelle 3: Demographische Daten und Selbsteinschätzung der Kinder

### 5.2 Deskriptive Statistik

Die Altersgruppen unterscheiden sich hinsichtlich des Ergebnisses in den Figurentests ( $p < 0,001$ ). Der signifikante Einfluss der Altersgruppe zeigte sich ebenfalls bei den Identifikationstests ( $p < 0,001$ ), der Anzahl an genannten Tieren in 30 Sekunden ( $p < 0,001$ ), den richtig diskriminierten Düften ( $p < 0,001$ ) und in der Unterteilung des Diskriminationstests in geläufige Düfte ( $p < 0,001$ ) und enantiomere Düfte ( $p = 0,009$ ). Kein signifikanter Einfluss konnte zwischen der Altersgruppe und der gemessenen Zeit während des Diskriminationstest dargestellt werden ( $p = 0,251$ ). Diese Ergebnisse und die übrigen Lageparameter sind in Tabelle 4 für die einzelnen Tests in Bezug auf die Altersgruppen und die Gesamtanzahl der Kinder dargestellt.

						Einfaktorielle ANOVA		
	4-6 J (n=213) [MW±SD]	7-9 J (n=324) [MW±SD]	10-12 J (n=199) [MW±SD]	Total (n=736) [MW±SD]	F	df	p	
Figurentest	2,91±0,3	2,99±0,11	2,99±0,1	2,97±0,18	12,56	2	<,001	
- Jungen	2,92±0,31	3±0	2,99±0,1	2,97±0,19				
- Mädchen	2,91±0,28	2,98±0,14	2,99±0,1	2,96±0,18				
Identifikationstests	2,51±0,6	2,69±0,48	2,65±0,49	2,63±0,52	8,22	2	<,001	
- Jungen	2,53±0,6	2,65±0,49	2,69±0,49	2,62±0,53				
- Mädchen	2,49±0,59	2,72±0,47	2,62±0,49	2,63±0,52				
Tieranzahltest	7,95±2,53	10,96±3,36	13,73±3,18	10,73±3,77	180,41	2	<,001	
- Jungen	8,24±2,40	10,81±3,31	13,44±3,45	10,98±3,68				
- Mädchen	7,65±2,62	11,13±3,37	13,97±2,95	11,25±3,84				
Diskriminationstests	3,75±1,4	4,28±1,49	4,66±1,49	4,23±1,5	20,43	2	<,001	
- Jungen	3,78±1,43	4,12±1,49	4,45±1,44	4,1±1,47				
- Mädchen	3,71±1,38	4,4±1,47	4,86±1,53	4,34±1,52				
Zeit (min:sek)	3:53±0:38	3:47±0:33	3:50±0:36	3:50±0:35	1,39	2	0,251	
- Jungen	3:51±0:34	3:46±0:31	3:46±0:34	3:48±0:33				
- Mädchen	3:54±0:42	3:49±0:34	3:52±0:37	3:51±0:37				
Geläufige Düfte	1,68±0,89	2,03±0,87	2,24±0,81	1,99±0,88	23,12	2	<,001	
- Jungen	1,75±0,9	2,01±0,97	2,14±0,83	1,96±0,92				
- Mädchen	1,60±0,86	2,05±0,79	2,34±0,79	2,01±0,86				
Enantiomere Düfte	2,07±1,13	2,24±1,16	2,42±1,17	2,24±1,16	44,73	2	,009	
- Jungen	2,03±1,17	2,11±1,03	2,31±1,10	2,14±1,1				
- Mädchen	2,12±1,10	2,35±1,24	2,52±1,23	2,33±1,21				

Tabelle 4: Deskriptive Statistik mit Baseline-Gruppenvergleich (einfaktorielle ANOVA) bei allen Kindern und in Geschlechter unterteilt

### 5.3 Ausschlusskriterien

Kinder, welche einen akuten Infekt der oberen Atemwege hatten, durften nicht an der Studie teilnehmen. Ansonsten sollte der Versuchsaufbau möglichst kindgerecht und zum Mitmachen einladend aussehen. Kinder, welche bereits durch einen unzureichenden Identifikationstest auffielen, durften deshalb trotzdem an den folgenden Tests teilnehmen, um nicht mit negativen Gefühlen vom Teststand zu gehen. Deshalb war es nötig, die Daten der Teilnehmenden mit einem Identifikationstest mit weniger als zwei richtigen Identifikationen von der statistischen Auswertung auszuschließen. In diesem Fall musste davon ausgegangen werden, dass beim betreffenden Kind keine Normosmie vorlag (Lötsch et al., 2016). Weiterhin kam es vor, dass Kinder während des Testens nicht genügend Konzentrationsvermögen oder nicht genügend Interesse an den Versuchen hatten und dann nicht alle Tests abschließen konnten. Diese Fehldaten wurden ebenfalls nicht in die statistische Auswertung einbezogen. Zudem ist es vorgekommen, dass der Untersucher Daten wie beispielweise das Geschlecht (siehe Kapitel 4.2) nicht mit in die Datenerhebung aufgenommen hat. Der Grund dafür ist oftmals Unkonzentriertheit an Tagen mit einem großen Andrang von Besucherinnen und Besuchern gewesen. Diese unvollständigen Daten wurden ebenfalls nicht berücksichtigt. Vgl. Abbildung 7.

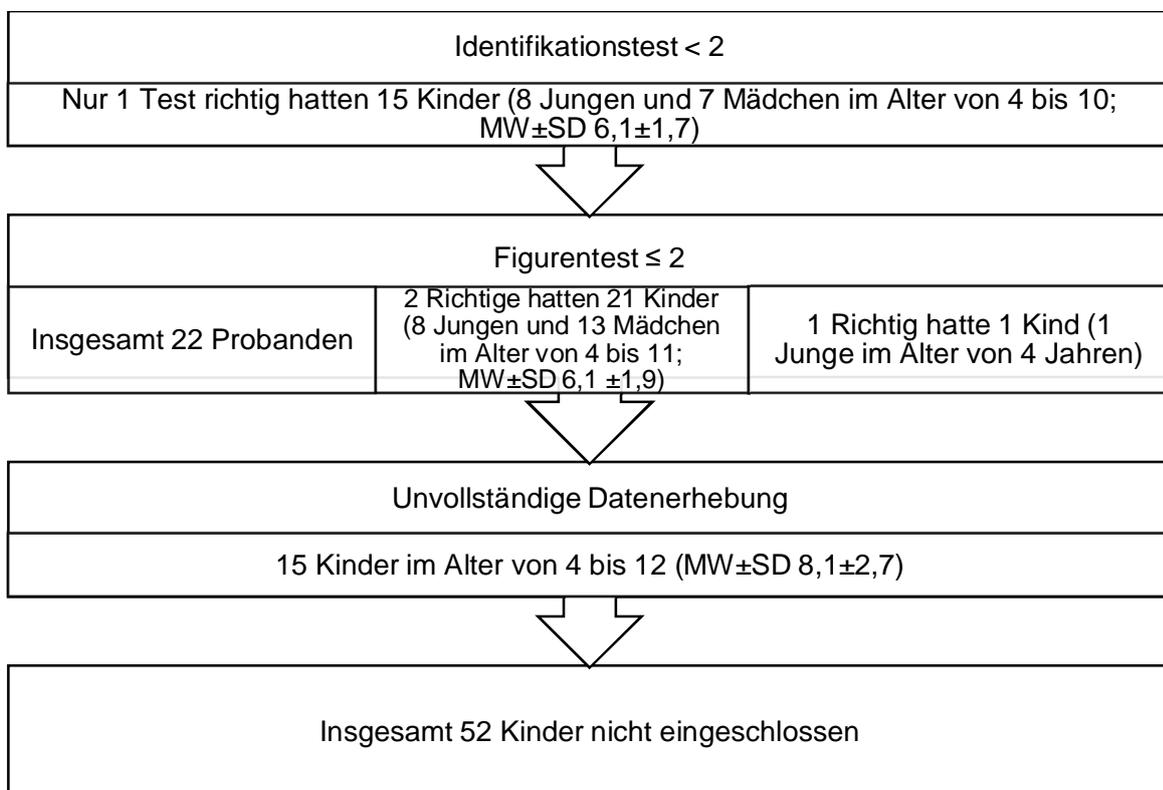


Abbildung 7: Vorgehen zur Auswahl herausgenommener Daten

#### 5.4 Einfluss der Altersgruppe, Tieranzahltest und Geschlecht auf die Ergebnisse im Diskriminationstest

Mit Hilfe einer univariaten ANOVA zeigte sich unter Berücksichtigung der Störvariablen des Geschlechts und des Tieranzahltest ein signifikanter Einfluss der Altersgruppe auf das Gesamtergebnis im Diskriminationstest ( $p=0,004$ ). Ebenfalls konnte ein signifikanter Einfluss der Altersgruppen auf die richtig erkannten geläufigen Düfte berechnet werden ( $p<0,001$ ). In diesem Fall waren Geschlecht ( $p=0,533$ ) und Tieranzahltest (0,218) aber keine relevanten Kovariaten. Anders zeigte sich die Betrachtung der enantiomeren Düfte. Hier konnte kein signifikanter Einfluss der Altersgruppe auf das Ergebnis in diesem Teilabschnitt des Tests nachgewiesen werden ( $p=0,567$ ). Der Levene-Test zeigte eine gleichverteilte Varianz der Altersgruppe im Diskriminationstest, bei den geläufigen und bei den enantiomeren Düften. Die vollständige Darstellung der Analyse wurde in Tabelle 5 zusammengefasst. Die Abbildungen 8 bis 10 zeigen die ausgeführten Beobachtungen mithilfe der geschätzten Randmittel. Insbesondere zwischen der Gruppe der Drei- bis Sechs-Jährigen und der Gruppe der 11- bis 14-Jährigen zeigt sich ein signifikanter Unterschied unter Berücksichtigung der o.g. Störvariablen im Gesamtergebnis des Diskriminationstests (Vgl. Abb. 8). Ein signifikanter Unterschied von den Altersgruppen der Drei- bis Sechs-Jährigen mit den Sieben- bis Zehn-Jährigen und den 11- bis 14-Jährigen konnte in Abb. 9 dargestellt werden. Im Unterschied dazu konnten in Abb. 10 keine signifikanten Unterschiede zwischen den Altersgruppen unter Berücksichtigung der Störvariablen bei den enantiomeren Düften gefunden werden. Da in der Altersgruppe der 15- bis 18-Jährigen sehr wenige junge Erwachsene teilgenommen haben, wurde diese Gruppe in der nachfolgenden univariaten ANOVA mit Kovariaten nicht dargestellt. Eine vollständige Darstellung mit allen Altersgruppen findet sich im Anhang in Tabelle 8.

Univariate ANOVA													
					Geschlecht (Kovariate)			Tieranzahltest (Kovariate)			Altersgruppe		
	4-6 J (n=182) [MW±SD]	7-9 J (n=314) [MW±SD]	10-12 J (n=194) [MW±SD]	Total (n=690) [MW±SD]	F	df	p*	F	df	p*	F	df	p*
Diskriminationstests	3,80±1,42	4,27±1,49	4,69±1,49	4,27±1,51	4,09	1	,044	6,43	1	,011	5,65	2	,004
Geläufige Düfte	1,69±0,90	2,02±0,87	2,25±0,81	2±0,89	0,39	1	,533	1,52	1	,218	10,34	2	<,001
Enantiomere Düfte	2,11±1,15	2,25±1,16	2,44±1,17	2,27±1,17	4,34	1	,036	5,26	1	,022	,57	2	,567

Anmerkung: \*α-Level korrigiert für multiples Testen gemäß Bonferroni-Methode: α = 0,017

Tabelle 5: Analyse der Diskriminationstests mithilfe einer univariaten ANOVA für die ersten drei Altersgruppen

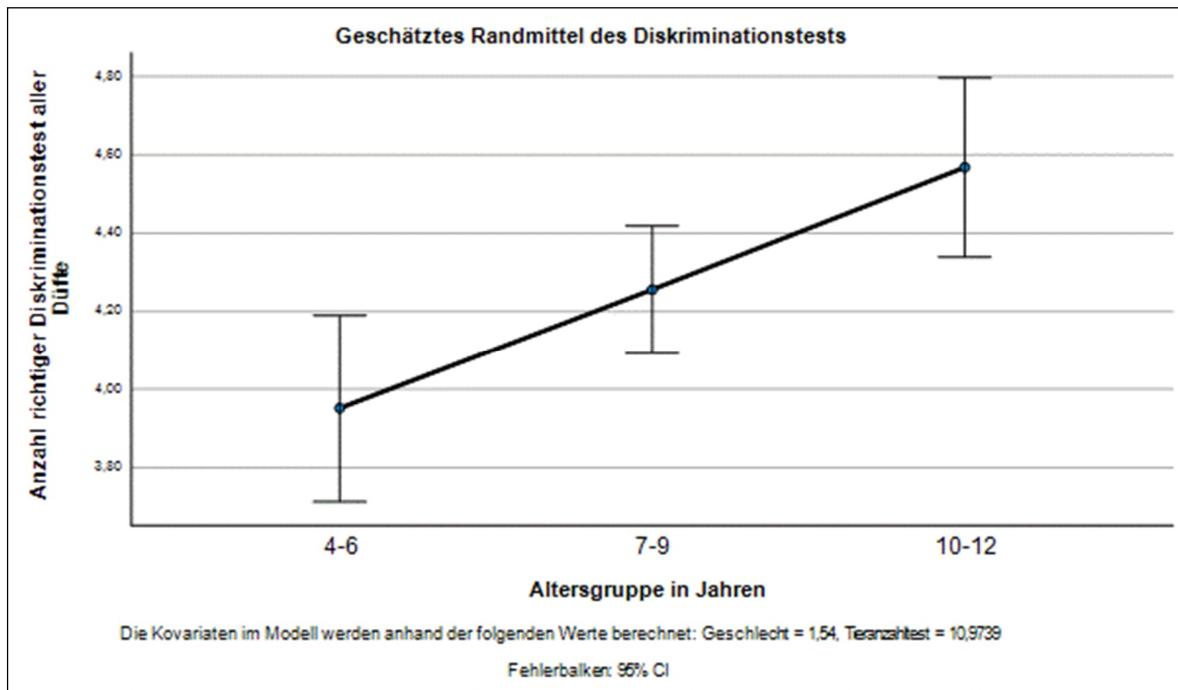


Abbildung 8: Geschätztes Randmittel des Diskriminationstests bezogen auf die Altersgruppen und mit Kovariaten Geschlecht und Tieranzahltest

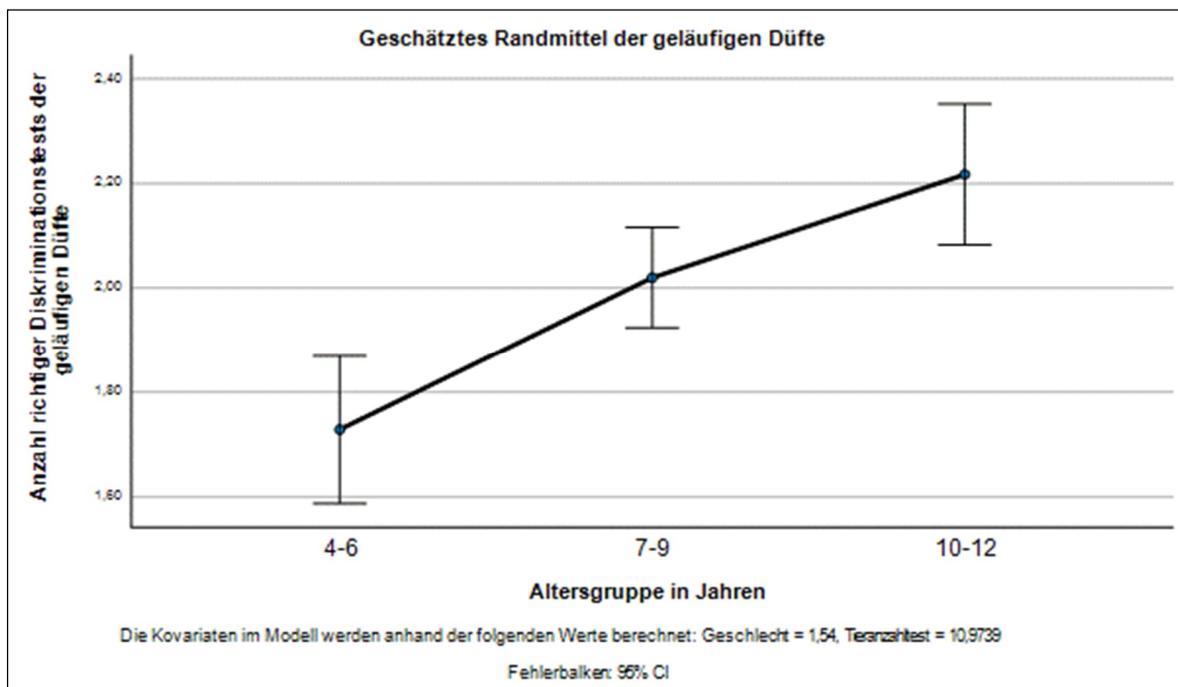


Abbildung 9: Geschätztes Randmittel der geläufigen Düfte bezogen auf die Altersgruppen und mit Kovariaten Geschlecht und Tieranzahltest

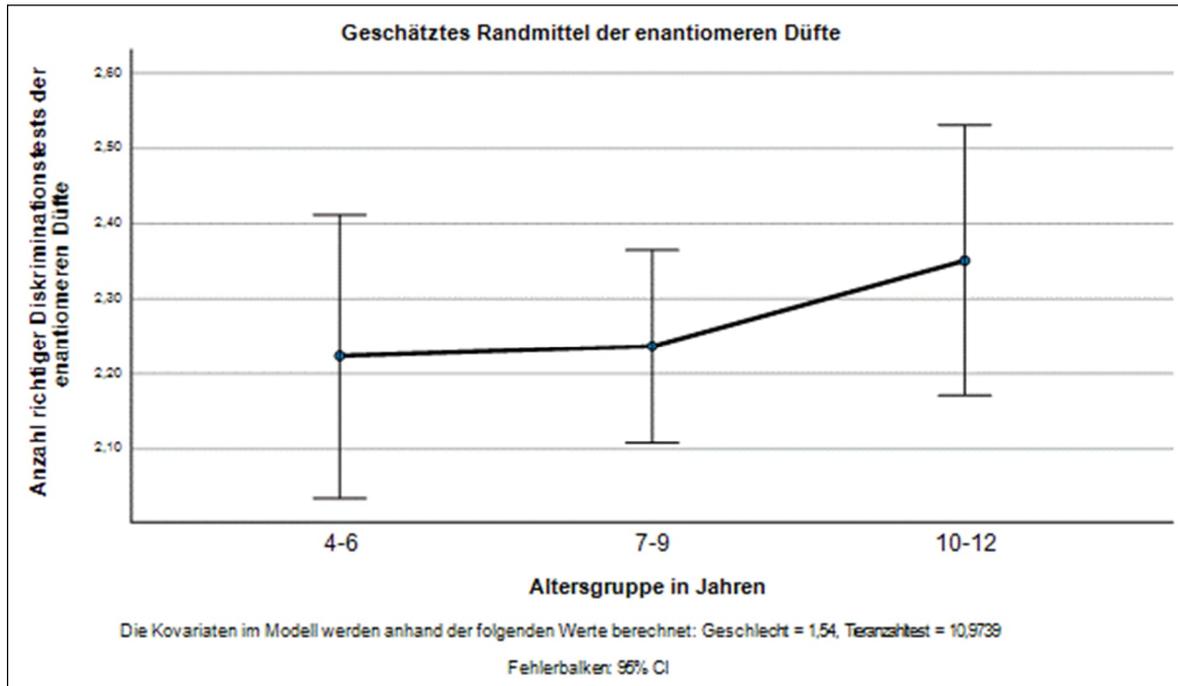


Abbildung 10: Geschätztes Randmittel der enantiomeren Düfte bezogen auf die Altersgruppen und mit Kovariaten Geschlecht und Tieranzahltest

## 5.5 Korrelationen

Für die durchgeführten Tests wurden Korrelationskoeffizienten nach Pearsons und Spearman-Rho errechnet. Die Selbsteinschätzung und die Anzahl der genannten Tiere korrelierten negativ mit einem schwachen Effekt. Der Tieranzahltest korrelierte signifikant mit einem schwachen Effekt mit den Ergebnissen in den Diskriminationstests. Da die Ergebnisse der Diskrimination in den geläufigen Düften und den enantiomeren Düften eine Unterteilung des Diskriminationstest ist, zeigt sich hier eine Korrelation innerhalb der Tests mit starkem Effekt. Das Alter zeigte eine Korrelation mit starkem Effekt im Tieranzahltest. Weiterhin ist eine negative Korrelation mit der Selbsteinschätzung errechnet worden sowie eine positive Korrelation mit dem Diskriminationstest. Dies betrifft auch die Unterteilung in geläufige und enantiomere Düfte. Wobei der Effekt bei den enantiomeren Düften weniger stark ausfiel. Alle Korrelationskoeffizienten sind in Tabelle 6 und 7 dargestellt.

	Tieranzahl- test	Identifika- tionstests	Diskriminat i-onstests	Geläufige Düfte	Enantiome re Düfte	Alter
Selbsteinschätzung	-,18**	,04	-,05	-,02	-,05	-,23**
Tieranzahltest		,03	,23**	,17**	,13**	,60**
Identifikationstests			,05	,1*	,02	,03
Diskriminationstests				,64**	,81**	,24**
Geläufige Düfte					,06	,25**
Enantiomere Düfte						,12**

*Tabelle 6: Pearsons-Korrelationen der Selbsteinschätzung, Tieranzahltest, Identifikationstest, Diskriminationstest, sowie dessen unterteilte Düfte in geläufige und enantiomere Düfte untereinander*

	Tieranzahl- test	Identifika- tionstests	Diskriminat ionstests	Geläufige Düfte	Enantiome re Düfte	Alter
Selbsteinschätzung	-,19**	,04	-,06	-,03	-,05	-,24**
Tieranzahltest		,03	,20**	,18**	,14**	,62**
Identifikationstests			,04	,09**	-,01	,03
Diskriminationstests				,62**	,80**	,24**
Geläufige Düfte					,06	,25**
Enantiomere Düfte						,12**

*Tabelle 7: Spearman-Rho-Korrelationen der Selbsteinschätzung, Tieranzahltest, Identifikationstest, Diskriminationstest, sowie dessen unterteilte Düfte in geläufige und enantiomere Düfte untereinander*

## 5.6 Darstellung der einzelnen Diskriminationstests

Bei den einzelnen Diskriminationstests wurden deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Duftpaaren erhoben. Die Betrachtung ohne Berücksichtigung der Altersgruppen zeigte einen deutlichen Unterschied zwischen den geläufigen und den enantiomeren Düften. Exemplarisch wurde Test 3 Karamell und Vanille mit einem  $MW \pm SD$  von  $0,7 \pm 0,46$  eher richtig diskriminiert als Test 6 (+)-2-butanol und (-)-2-butanol mit einem  $MW \pm SD$  von  $0,41 \pm 0,49$ . Eine grafische Darstellung aller Tests erfolgte in Abbildung 11.

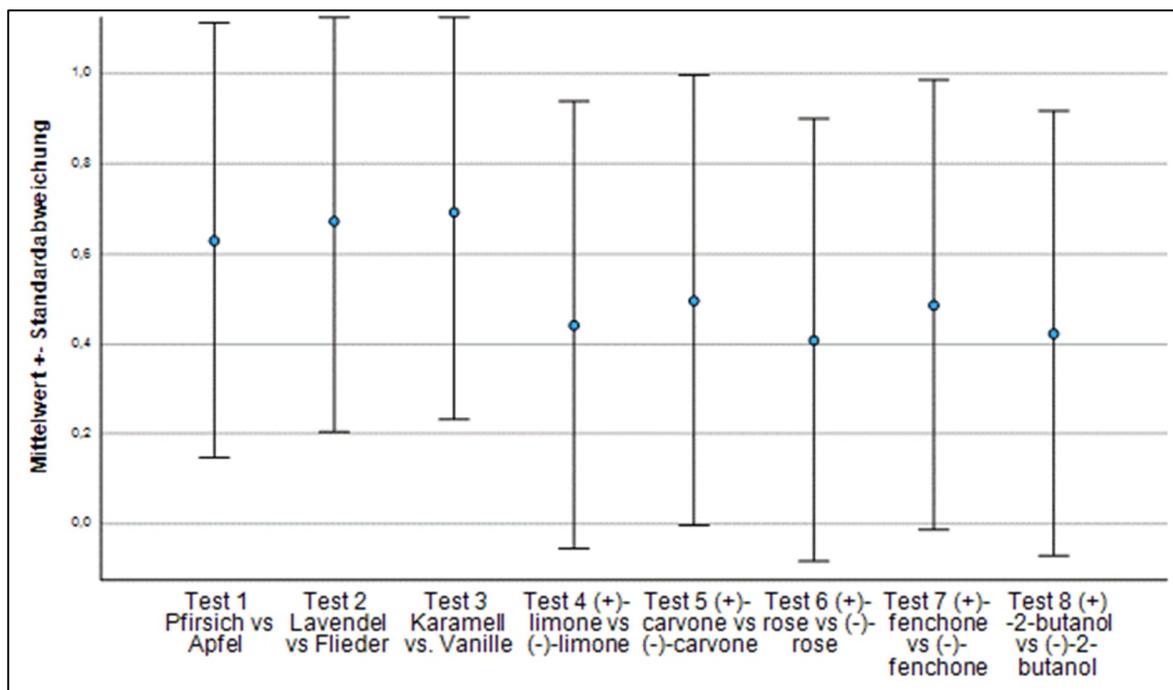


Abbildung 11: Mittelwerte und 95% Konfidenzintervall der einzelnen Diskriminationstests bezogen auf alle Teilnehmenden

Auch innerhalb der Altersgruppen ließ sich diese Tendenz darstellen. In Abbildung 12 konnten auch die besseren Ergebnisse mit steigendem Alter der Kinder gezeigt werden. Ebenfalls zeigte sich ein Unterschied zwischen den geläufigen und den enantiomeren Düften. Insgesamt wurde innerhalb der Altersgruppen Test 1 bis 3, also die geläufigen Düfte, besser erkannt. Weiterhin ließ sich eine Verbesserung der MW mit steigendem Alter beobachten. Beispielsweise wurde Test 2 Lavendel und Flieder von den vier bis sechs Jährigen schlechter unterschieden ( $MW \pm SD$   $0,48 \pm 0,5$ ) als von den zehn bis zwölf-Jährigen ( $MW \pm SD$   $0,79 \pm 0,41$ ). Test 4 bis 8, die enantiomeren Düfte, wurden auch innerhalb der Altersgruppen schlechter diskriminiert als die geläufigen Düfte. Aber eine Verbesserungstendenz mit steigender Altersgruppe ließ sich zumindest für Test 4, 5 und 7 erkennen. Am deutlichsten zeigte sich dies für Test 5 (-)-carvone und (+)-carvone. Jüngere diskriminierten schlechter (Altersgruppe der 4–6-jährigen  $MW \pm SD$   $0,41 \pm 0,49$ ) als Ältere

(Altersgruppe der 10–12-jährigen  $MW \pm SD$   $0,62 \pm 0,49$ ). Keine Verbesserung der Ergebnisse bezogen auf die Altersgruppen ließ sich bei Test 6 ((-)-rosenoxid und (+)-rosenoxid) und Test 8 ((-)-2-butanol und (+)-2-butanol) darstellen.

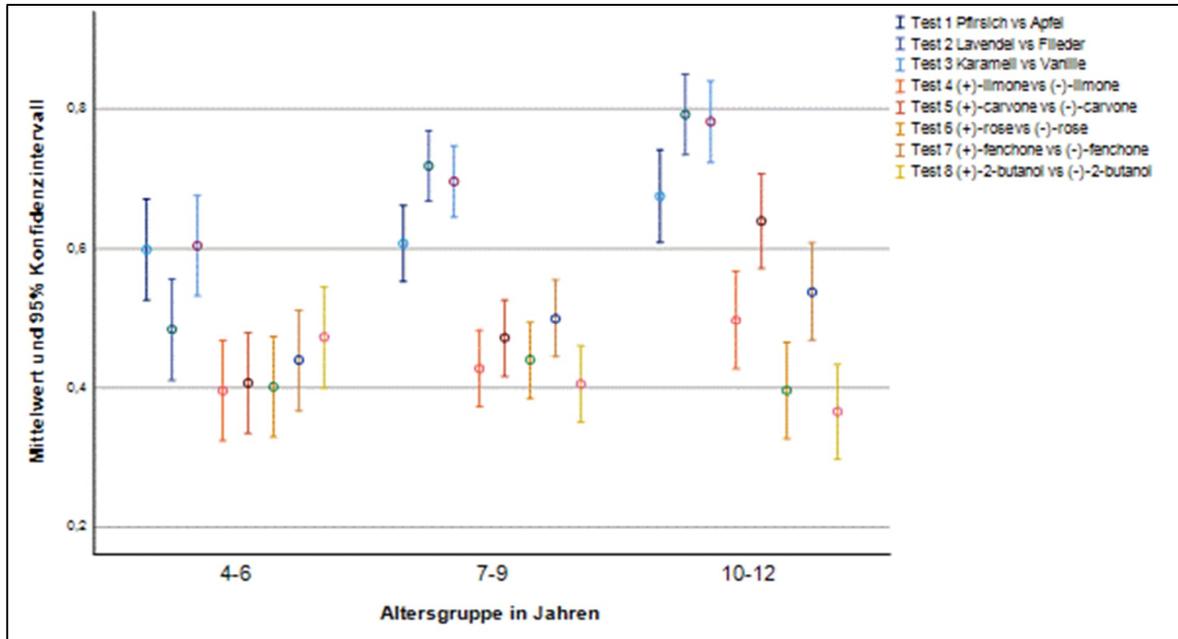


Abbildung 12: Mittelwerte und 95% Konfidenzintervall der einzelnen Diskriminationstests bezogen auf die Altersgruppen

## 5.7 Einfluss der Testreihenfolge auf die Einzelergebnisse im Diskriminationstest

Von den ausgewählten Kindern des Alters von vier bis zwölf Jahren wurden die ersten 350 Kinder im Diskriminationstest mit Testreihenfolge A getestet. Die nachfolgenden 345 erhielten die Testreihenfolge B. Dabei fand der größte Unterschied in der Testreihenfolge bei Test 1 Apfel und Pfirsich Anwendung. Keine Abweichung in der Testreihenfolge gab es bei Test 7 (-)-fenchone und (+)-fenchone. Das enantiomere Duftpaar mit dem größten Unterschied war Test 4 (-)-limonene und (+)-limonene, welches in Reihenfolge B an dritter Stelle angeboten wurde und somit vier Tests eher als bei Reihenfolge A. Vgl. hierzu Tabelle 8.

Getestete Reihenfolge	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Reihenfolge A [Testnummer (Unterschied zu B)]	1 (-7)	2 (-5)	8 (2)	7 (0)	6 (3)	5 (1)	4 (4)	3 (2)
Reihenfolge B [Testnummer (Unterschied zu A)]	8 (-2)	6 (-3)	4 (-4)	7 (0)	5 (-1)	3 (-2)	2 (5)	1 (7)

*Tabelle 8: Darstellung der Unterschiede in den verschiedenen Testreihenfolgen im Diskriminationstest. (Test 1: Apfel und Pfirsich, Test 2: Lavendel und Flieder, Test 3: Vanille und Karamell, Test 4: (-)-limonene und (+)-limonene, Test 5: (-)-carvone und (+)-carvone, Test 6: (-)-rosenoxid und (+)-rosenoxid, Test 7: (-)-fenchone und (+)-fenchone, Test 8: (-)-2-butanol und (+)-2-butanol)*

Im Chi<sup>2</sup>-Test wurden die Ergebnisse für Test 1 Apfel und Pfirsich signifikant schlechter ( $p < 0,001$ ), wenn der Test als letzter angeboten wird. Keinen Unterschied im Ergebnis zeigt sich im Gegensatz bei Test 7 (-)-fenchone und (+)-fenchone ( $p = 0,459$ ). Da die Reihenfolge dabei auch nicht verändert wurde, hat dieses Ergebnis lediglich einen Kontrollcharakter. Bei Test 4 (-)-limonene und (+)-limonene zeigte sich kein signifikanter Unterschied in der Testreihenfolge ( $p = 0,779$ ). Test 8 (-)-2-butanol und (+)-2-butanol) wurde aber deutlich besser diskriminiert, wenn er an erster Stelle angeboten wurde ( $p = 0,005$ ). Die Ergebnisse wurden in Tabelle 9 zusammengefasst.

		MW ± SD	Chi <sup>2</sup> -Test		
				df	p
Test 1: Apfel und Pfirsich	Reihenfolge A	0,76 ± 0,43	57,59	1	<,001
	Reihenfolge B	0,48 ± 0,5			
Test 2: Lavendel und Flieder	Reihenfolge A	0,75 ± 0,43	18,94	1	<,001
	Reihenfolge B	0,6 ± 0,49			
Test 3: Vanille und Karamell	Reihenfolge A	0,74 ± 0,44	6,34	1	,012
	Reihenfolge B	0,65 ± 0,48			
Test 4: (-)-limonene und (+)- limonene	Reihenfolge A	0,43 ± 0,5	,16	1	,69
	Reihenfolge B	0,45 ± 0,5			
Test 5: (-)- carvone und (+)-carvone	Reihenfolge A	0,51 ± 0,5	,42	1	,52
	Reihenfolge B	0,49 ± 0,5			
Test 6: (-)-rosenoxid und (+)- rosenoxid	Reihenfolge A	0,4 ± 0,49	,6	1	,44
	Reihenfolge B	0,43 ± 0,5			
Test 7: (-)-fenchone und(+)- fenchone	Reihenfolge A	0,51 ± 0,5	,52	1	,47
	Reihenfolge B	0,48 ± 0,5			

Test 8: (-)-2-butanol und (+)-2- butanol	Reihenfolge A	0,36 ± 0,48	6,9	1	,009
	Reihenfolge B	0,46 ± 0,5			

Tabelle 9: Analyse der Testreihenfolge (Reihenfolge A; n= 369, Reihenfolge B; n=365) auf das Ergebnis der jeweiligen Diskriminationstest (Chi<sup>2</sup>-Test)

Bei Betrachtung des gesamten Diskriminationstest zeigen sich in Testreihenfolge A bessere Ergebnisse der Teilnehmenden (MW±SD 4,48±1,49) im Vergleich zu Testreihenfolge B (MW±SD 4,05±1,49). In einem t-Test für unabhängige Stichproben zeigt sich dieser Zusammenhang signifikant ( $p < 0,001$ ), jedoch mit einer kleinen Effektstärke (Cohen's d 0,29) (Jacob Cohen, 2022). Somit konnte eine weitere Störgröße gefunden werden.

## 5.8 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es zeigt sich für die Gesamtheit der Diskriminationstests ein signifikanter Einfluss der Altersgruppen. Wenn man die Diskriminationstest jedoch in geläufige und enantiomere Düfte unterteilt, wird deutlich, dass sich dieser Einfluss durch die Diskriminierung der geläufigen Düfte erklärt. Für die Diskriminierung der enantiomeren Düfte zeigt sich im Gegensatz dazu kein signifikanter Einfluss. Der Einfluss des Geschlechts und der Ergebnisse im Tieranzahltest zeigten keine Signifikanz als Kovariate auf die Diskriminationstests und ihre Unterkategorien. Die Korrelationen stützen die Ergebnisse. Das Alter der Kinder korreliert mit den Diskriminationstest. Die Korrelation ist für die geläufigen Düfte größer als für die enantiomeren Düfte. Die Ergebnisse des Tieranzahltest korrelierten deutlich mit dem Alter. Wenn die jeweiligen Diskriminationstests einzeln betrachtet werden, können ähnliche Ergebnisse für die einzelnen geläufigen und die einzelnen enantiomeren Düfte dargestellt werden. Dies kann man auch beobachten, wenn man die Einzeltests auf die Altersgruppen bezogen darstellt. Eine Besonderheit in dieser Darstellung stellt dabei das Duftpaar (-)-carvone und (+)-carvone dar. Es wird mit steigenden Altersgruppen besser diskriminiert und verhält sich dabei fast so wie die jeweils einzelnen geläufigen Düfte. Eine Auswertung der Testreihenfolge ergab bessere Ergebnisse für eher getestete Düfte als für später getestete. Testreihenfolge A ergab weiterhin signifikant bessere Ergebnisse im Diskriminationstest als Testreihenfolge B.

## 6. Diskussion

### 6.1 Bewertung der Studiengröße

Eine a priori durchgeführte Fallzahlplanung mit dem Programm G\*Power Version 3.1.9.7 (Franz Faul, Universität Kiel, Deutschland) (Faul et al., 2009; Faul et al., 2007) für die Nutzung einer univariaten ANOVA mit zwei Kovariaten ergab eine benötigte Fallzahl von 251 Proband\*Innen. Tatsächlich wurden aber im Untersuchungszeitraum 736 Kinder getestet. Zum einen sollte vorbeugend mehr Kinder getestet werden. Kinder, welche bereits während des Tests Ausschlusskriterien erfüllten, durften den gesamten Testvorgang zu Ende bringen, um nicht mit einem negativen Erlebnis vom Stand zu gehen. Zum anderen sollte der Zeitraum der Testung mindestens ein halbes Jahr andauern, um möglichst konsistente Ergebnisse zu erzielen. Der Teststand, welcher vor allem am Wochenende betreut wurde, sollte auch eine gewisse Konstante im Museumsalltag darstellen. Waren alle Duftstoffe und Untersuchungsmaterialien erst einmal zusammengetragen, bedeutete die kontinuierliche Testdurchführung für Untersucher und das Institut keinen ökonomischen Mehraufwand. Auch fanden die Kinder das Verfahren eher spannend, interessant und als ein willkommenes Zusatzangebot zum übrigen Mitmachmuseum. Daher gab es auch keine ethischen Bedenken, eine größere Anzahl mit in die Untersuchung einzubeziehen.

### 6.2 Bewertung der Ergebnisse im Diskriminationstest

Es zeigte sich eine signifikante Verbesserung im Diskriminationstest für geläufige Düfte mit steigender Altersgruppe. Diese Beobachtungen stehen im Einklang mit den Ergebnissen ähnlicher Arbeiten. Beispielweise bei Stevenson et al., dort wurden allerdings weniger Teilnehmer\*Innen eingeschlossen (Stevenson et al., 2007a, 2007b). Die getesteten enantiomeren Duftpaare sind für die Kinder schwerer zu unterscheiden gewesen. Hierfür konnte auch kein Zusammenhang mit den Altersgruppen hergestellt werden. Die wahrnehmungsmäßig ähnlichsten Enantiomerenpaare: (+)-Rosenoxid vs. (-)-Rosenoxid und (+)-2-Butanol vs. (-)-2-Butanol wurden am schlechtesten unterschieden und auch nicht durch steigende Altersgruppen beeinflusst. Unter den enantiomeren Duftpaaren wurde (+)-Carvone vs. (-)-Carvone am besten unterschieden und auch mit steigender Altersgruppe scheint sich die Unterscheidbarkeit zu verbessern (Vgl. dazu Abbildung 11 und 12). Der Geruch von Carvone wird nach Russell et al. als nach Minze und Kümmel riechend beschrieben (Russell & Hills, 1971). Möglicherweise sind diese Gerüche den Kindern eher bekannt als die anderen enantiomeren Düfte. Bei Laska et al. werden beispielsweise (+)-2-Butanol und (-)-2-Butanol als ölig-weinig beschrieben (Laska & Teubner, 1999). Diese Ergebnisse und die Tatsache, dass die Beziehung zwischen dem Alter und der

Unterscheidungsfähigkeit von geläufigen Gerüchen deutlicher ist als die Beziehung zwischen dem Alter und Unterscheidungsfähigkeit der enantiomeren Duftpaare, legen den Schluss nahe, dass die Entwicklung der Diskriminierungsfähigkeit von Gerüchen von der Geruchserfahrung abhängt.

Diese Schlussfolgerung wird teilweise durch psychophysiologische Studien gestützt, die zeigen, dass Kinder ab einem Alter von 6 Jahren bereits über recht fortgeschrittene Fähigkeiten zur Erkennung und Unterscheidung von Gerüchen verfügen. Ihre Fähigkeit, diese zu benennen, entwickelt sich jedoch erst zusammen mit dem geruchsbezogenen Wortschatz und dem zunehmenden Interesse an Gerüchen und der mit ihnen verbundenen Bedeutung (Hummel et al., 2007; De Wijk & Cain, 1994). Wie fMRT-Studien zeigen, weisen Kinder im Alter von 9-12 Jahren eine starke Aktivierung in den primären Geruchsregionen auf (d. h. im piriformen Kortex und in der Amygdala), während junge Erwachsene im Alter von 17-20 Jahren eine relativ stärkere Aktivierung in den für die kognitive Verarbeitung zuständigen Frontallhirnarealen aufweisen (Hummel et al., 2012). Auch der Riechkolben scheint einen Reifeprozess hinsichtlich Volumen und Struktur von Kindheit bis ins Erwachsenenalter zu nehmen, wie MRT-Studien zeigen konnten (Hummel et al., 2011; Schneider & Floemer, 2009). Die Entwicklung der kognitiven Geruchsverarbeitung wurde mit EEG-abgeleiteten olfaktorischen ereigniskorrelierten Potenzialen (OERP) bei Kindern im Alter von 6-17 Jahren untersucht. Dabei zeigten sich längere ERP-Latenzen in frontalen Regionen bei jüngeren Kindern im Vergleich zu älteren Kindern, welche eher an den parietalen Aufzeichnungsstellen Aktivität verzeichneten (Schriever et al., 2015). Zusammengenommen deuten diese Studien darauf hin, dass die Reifung des Frontallappens (Pirogovsky et al., 2006) und die kognitive Entwicklung jene Mechanismen sind, die für den Erwerb von Geruchsverarbeitungsfähigkeiten höherer Ordnung, wie z. B. der Geruchsidentifikation, verantwortlich sind. In der vorliegenden Studie konnten diese Ergebnisse erweitert werden, indem gezeigt wird, dass fortgeschrittene Unterscheidungsfähigkeiten in der Kindheit wahrscheinlich auf Geruchserfahrungen aufbauen. Die eingesetzten geläufigen Gerüche wurden von Kindern eher wahrgenommen, gespeichert und mit steigendem Alter besser unterschieden. Weiterhin zeigte sich kein Einfluss des Alters auf Diskriminationsaufgaben, bei denen die Düfte den Kindern nicht vertraut gewesen sind. Die enantiomeren Duftpaare konnten von den Kindern bisher nicht gemeinsam wahrgenommen, unterschieden und gespeichert werden. Und somit wurden sie zum Zeitpunkt des Experiments auch viel schlechter unterschieden. Diese Schlussfolgerung sollte jedoch in künftigen Studien direkter untersucht werden, indem die Vertrautheit der Gerüche innerhalb der einzelnen Paare und Faktoren, die mit dem Interesse an ihnen verbunden sind, kontrolliert werden.

### 6.3 Einfluss des Geschlechts

In der durchgeführten Studie konnte kein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen in den Diskriminationstests und dem Geschlecht der Kinder herausgefunden werden. Dabei spielte die Unterscheidung in enantiomere und geläufige Düfte ebenfalls keine Rolle. Ein vom Alter abhängiger Unterschied in der Diskriminierungsfähigkeit von Düften könnte grundsätzlich vorhanden sein. So konnte Balogh et al. zeigen, dass weibliche Säuglinge eine Präferenz für einen Geruch haben, dem sie 24 Stunden lang ausgesetzt waren. Bei männlichen Säuglingen konnte dieses Verhalten nicht gezeigt werden (Balogh & Porter, 1986). Es konnte sogar gezeigt werden, dass weibliche Säuglinge den Geruch zwischen laktierender und nicht laktierender Brust unterscheiden können, indem nachgewiesen wurde, dass sie signifikant mehr Zeit damit verbrachten, sich Pads mit dem Duft unbekannter, laktierender Frauen hinzuwenden. Bei männlichen Säuglingen trat dieses Verhalten nicht gehäuft auf (Makin & Porter, 1989). Lediglich eine Arbeit von Hulshoff Pol et al. kommt zu dem Schluss, dass Frauen etwas besser in der Unterscheidung von Düften sind als Männer (Hulshoff Pol et al., 2000). Andere Studien können, wie auch in diesem Fall, keine geschlechtsbedingten Unterschiede bei der Diskriminierung von Düften feststellen (Hedner et al., 2010; Oberg et al., 2002; Zatorre & Jones-Gotman, 1990). Somit konnte durch die vorliegende Studie die These gestützt werden, dass es bei der Diskrimination von Düften in den untersuchten Altersklassen keine geschlechtsspezifischen Unterschiede gibt. Wenn man andere Aspekte des Riechens, wie die Identifikation oder Benennung von verschiedenen Düften betrachtet, gibt es Hinweise, dass Mädchen bessere Ergebnisse als Jungen erzielen (Cardesín et al., 2006; Doty et al., 1985; Nordin et al., 2002). Weitere Arbeiten, welche das Ziel haben, Geschlechterunterschiede im Kindesalter in Hinblick auf Identifikation oder Benennung von Düften herauszuarbeiten, sind in dem hier angewandten Setting, als Riechtest in einem Kinder-Museum, denkbar.

### 6.4 Einfluss des Tieranzahltest auf die Ergebnisse

Studien mit Erwachsenen haben gezeigt, dass gute sprachliche Gewandtheit und ein großer Wortschatz die besseren Ergebnisse in der Geruchsunterscheidung und -identifikation vorhersagen. Dies deutet darauf hin, dass kognitive Exekutivfunktionen zur Leistung von Geruchsaufgaben höherer Ordnung beitragen (Hedner et al., 2010). Interessanterweise sind die verbalen Fähigkeiten von Kindern prädiktiv für die Geruchserkennung und -identifikation jedoch weniger für die Geruchsunterscheidung (Monnery-Patris et al., 2009; Oleszkiewicz et al., 2016; Richman et al., 1992). So konnten Stevenson und Kollegen beispielsweise zeigen, dass Erwachsene Gerüche auch dann noch besser unterscheiden als Kinder, wenn der potenzielle Vorteil, der sich aus den artikulatorischen Fähigkeiten ergibt, herausgerechnet wird (Stevenson,

Mahmut & Sundqvist, 2007). In ähnlicher Weise wurde festgestellt, dass verbale Fähigkeiten nicht mit dem Wiedererkennungsgedächtnis für Gerüche bei Weinexperten zusammenhängen, was darauf hindeutet, dass die spezifische olfaktorische Erfahrung von Weinexperten für ihre häufige Wiedererkennung von Wein verantwortlich sein könnte und nicht ihr Wortschatz (Croijmans et al., 2021). In der vorliegenden Studie konnte ermittelt werden, dass der Zusammenhang zwischen Geruchsdiskriminierung und Alter nicht durch gute Ergebnisse im Tieranzahltest vermittelt wurde. Tatsächlich gab es keinen Zusammenhang zwischen letzterem und den Diskriminierungsergebnissen, weder für gewöhnliche Gerüche noch für Enantiomere. Die Fähigkeit zur Geruchsdiskriminierung bei Kindern wird also nicht durch die Fähigkeit, Gerüche zu benennen, bestimmt, sondern eher durch ihre geringere olfaktorische Erfahrung mit diesen Gerüchen oder ihr geringeres Interesse an ihnen.

## 6.5 Einfluss der Reihenfolge auf die Ergebnisse

Standardisierte Riechtest, wie der Sniffin' Sticks Test, benutzen eine nummerierte Testreihenfolge. Es ist davon auszugehen, dass in dieser Reihenfolge auch die Diskriminationstests durchgeführt werden (Rumeau et al., 2016). Auch an Kinder angepasste Riechtests, wie der "Sniffin' Kids" Test, welcher Geruchsidentifikation testet, nutzt eine solche nummerierte Reihenfolge (Schriever et al., 2014). Dabei ist unklar, inwieweit die getestete Reihenfolge Einfluss auf das Ergebnis des Einzeltests hat. Änderungen in der Reihenfolge der einzelnen Subtests des Sniffin' Sticks Test SDI zu IDS führt zu einer deutlichen Verschlechterung der Schwellenwerte und insgesamt zu einem Rückgang der Gesamtwertung (Walliczek-Dworschak et al., 2016). In der vorliegenden Studie konnte ermittelt werden, dass eher getestete Düfte auch besser diskriminiert werden als später getestete. Wahrscheinlich ist das Konzentrationsvermögen bei Kindern am Anfang der Aufgabe noch höher als gegen Ende. Um diese Verfälschung zu minimieren, ist es in zukünftigen Studien sinnvoll, während der Datenerhebung keine Änderung in der Testreihenfolge vorzunehmen. Für mutmaßlich schwere Aufgaben könnte es sinnvoll sein, diese zu Beginn der Testung zu stellen und einfachere Aufgaben am Ende zu stellen. Insbesondere bei jungen Kindern könnte es sinnvoll sein, Diskriminationsaufgaben in kürzere Sequenzen zu teilen oder generell kürzer zu halten. Nicht nur die Reihenfolge, auch das forced-choice Prinzip kann bei Kindern eine statistische Fehlerquelle darstellen. Psychologische Forschung kommt zu dem Schluss, dass Kinder eine starke ‚recency tendency‘ aufweisen, also bei forced-choice Testung dazu neigen, die letzte Option zu wählen. Dieser Effekt ist bei jüngeren Kindern im Alter von 3 bis 5 ausgeprägt und wird mit steigendem Alter schwächer (Mehrani & Peterson, 2015, 2017). In künftige Untersuchungen sollten auch Erkenntnisse aus psychologischer Forschung in neuerliche Testreihen mit einfließen. Eine

Randomisierung der Testreihenfolge und der Präsentation der Einzeltest scheint sinnvoll. Weitere Probleme beim Testen können sich aus der besonderen Umgebung eines Kindermuseums ergeben. Studien zeigen Einfluss von Hintergrundgeräuschen auf Ergebnisse von Riechtests. Insbesondere verbale Störgeräusche verschlechtern Ergebnisse und besonders Diskriminationstests sind durch Hintergrundgeräusche stöbar (Seo et al., 2011).

## 6.6 Einschränkungen

Durch die umfangreiche Stichprobengröße ist es möglich, kleine Effekte zu erkennen. Somit ist davon auszugehen, dass ein robuster Beweis für das Fehlen eines Effekts der verbalen Geläufigkeit auf die Geruchsdiskriminierungswerte bei Kindern geliefert werden kann. Dennoch fehlen in der aktuellen Studie direkte Messungen der Geruchserfahrung und des Interesses an Gerüchen. Die Einbeziehung dieser Messgrößen in das Studiendesign würde weniger spekulative Schlussfolgerungen über die erklärende Rolle von Geruchserfahrung und Interesse an Gerüchen für die Geruchsdiskriminierungswerte liefern. In zukünftige Verhaltensstudien sollte die Erfassung von entwicklungsbedingten Veränderungen der Geruchsleistung einbezogen werden. Außerdem wurden die in der aktuellen Untersuchung verwendeten Geruchspaare willkürlich ausgewählt. Trotz des eindeutigen Musters der leichteren Unterscheidbarkeit der geläufigen Gerüche im Vergleich zu den Enantiomeren, wären die Schlussfolgerungen der aktuellen Studie robuster, wenn die Vertrautheit mit Gerüchen wie Flieder oder Lavendel bei Kindern, insbesondere bei den Jüngsten, vorab getestet worden wäre. Die Entwicklung des Geruchsunterscheidungsvermögens in der Kindheit sollte auch im Rahmen von Längsschnittuntersuchungen beobachtet werden, einschließlich der Messung von Veränderungen in der Geruchserfahrung.

Da die Studie in einem belebten Mitmach-Museum durchgeführt wurde, konnte eine störungsfreie Arbeitsatmosphäre nicht durchgängig aufrechterhalten werden. Insbesondere an stark frequentierten Tagen wurde das Konzentrationsvermögen der Proband\*Innen – insbesondere der Jüngeren – auf die Probe gestellt. In nachfolgenden Studien in einem solchen Setting könnte eine bessere Umgebungsabschirmung dieses Problem minimieren. So könnte der Einsatz eines Sichtschutzes überlegt werden.

Eine wichtige Einschränkung dieser Studie, die beachtet werden muss, ist die Möglichkeit, dass die Aufgabe, Enantiomerenpaare zu unterscheiden, für die Kinder unabhängig von ihrer Geruchserfahrung zu schwierig gewesen sein könnte, um sie ordnungsgemäß auszuführen. Dieses Problem sollte weiter untersucht werden, indem Studien Veränderungen in der Unterscheidung von Enantiomeren bei Kindern beobachten, die in der Unterscheidung von enantiomeren Geruchspaaren trainiert wurden und diese mit Kindern vergleichen, die kein solches

Training absolviert haben. Wenn das Training zur Unterscheidung von Enantiomeren erfolglos war, würde dies darauf hindeuten, dass die Aufgabe tatsächlich zu schwierig war.

Insgesamt konnten wir nachweisen, dass die Schwierigkeit der Aufgabe und wahrscheinlich auch die mangelnde Erfahrung mit bestimmten Gerüchen den Altersvorteil bei der Geruchsunterscheidung verringerten. Aufgrund der beobachteten Ergebnisse und früherer Berichte vermuten wir, dass die Entwicklung der Fähigkeit zur Geruchsunterscheidung in der Kindheit ein Ergebnis der olfaktorischen Erfahrung und des Interesses an Gerüchen ist. Diese Schlussfolgerung bedarf jedoch noch weiterer Untermauerung. Man könnte aber vermuten, dass Kinder eine verbesserte Geruchsunterscheidungsfähigkeit entwickeln, wenn man ihr Interesse an Gerüchen weckt und sie in ihrer chemosensorischen Wahrnehmung schult. Dies wäre z. B. für die Navigation in der Umwelt nützlich. Auch Screening-Tests für Geruchsstörungen in der pädiatrischen Bevölkerung sollten so kalibriert werden, dass eine Verzerrung durch Geruchserfahrungen ausgeschlossen wird. Es sind jedoch weitere Studien zu diesen Fragen erforderlich.

## 7. Zusammenfassung

**Hintergrund:** Der Geruchssinn ist von Geburt an funktionsfähig. Bestimmte Riechfähigkeiten sind jedoch erfahrungsabhängig und entwickeln sich mit dem Alter. Die Ergebnisse von Tests zur Geruchsfunktion steigen in den ersten anderthalb Lebensjahrzehnten an und erreichen im frühen Teenageralter ein Plateau. Jüngere Kinder schneiden bei Geruchsidentifikationsaufgaben schlechter ab als ältere Kinder, Jugendliche und Erwachsene. Altersabhängige Unterschiede bei der Benennung von Gerüchen wurden mit der geringeren Aufmerksamkeit von Kindern für Gerüche, ein geringeres sprachliches oder limitiertes geruchsspezifisches Wissen erklärt. Die Fähigkeit, Düfte voneinander zu unterscheiden, nimmt bei Kindern mit dem Alter zu. Dieser Unterschied kann aber nicht nur mit der Schwierigkeit der Aufgabe erklärt werden. Die individuelle Erfahrung mit Gerüchen scheint eine wichtige Rolle bei der Unterscheidung von Gerüchen zu spielen. Der wichtigste Beweis für diese Feststellung stammt aus dem Vergleich von 6-jährigen Kindern und Erwachsenen. Ein so großer Altersunterschied führt wahrscheinlich zu einem robusten Alterseffekt bezogen auf die Fähigkeit zur Geruchsunterscheidung. Es sind zusätzliche Belege aus näher beieinander liegenden Altersgruppen erforderlich, um besser zu verstehen, wie sich die Fähigkeit zur Geruchsunterscheidung entwickelt und welche Rolle die Geruchserfahrung in diesem Prozess spielt.

**Fragestellung/Hypothese:** Wir stellten die Hypothese auf, dass die Unterscheidung von enantiomeren Geruchspaaren bei Kindern und Jugendlichen weniger anfällig für Alterseffekte sein würde als die Unterscheidung von Paaren gewöhnlicher Gerüche. Sowohl geläufige Geruchspaare als auch Enantiomere rufen unterscheidbare periphere Reaktionen hervor, aber Geruchs-Enantiomere sind in der Wahrnehmung ähnlich und haben daher keine separaten verbalen Bezeichnungen oder semantischen Assoziationen. Im Gegensatz dazu können den geläufigen Geruchspaaren jeweils bestimmte Bezeichnungen zugeordnet werden. Bei diesem Studiendesign soll die Diskriminierung von Enantiomeren und gewöhnlichen Düften durch Kinder in unterschiedlichen Altersklassen verglichen werden. Dabei soll die Verzerrung durch die Abhängigkeit von Geruchserfahrung beseitigt werden. Wenn die Geruchsdiskriminierung tatsächlich von der Geruchserfahrung abhängen sollte, dann müssten junge und ältere Kinder enantiomere Paare ähnlich genau diskriminieren. Die gewöhnlichen Geruchspaare sollten mit steigender Altersgruppe und mehr Geruchserfahrung auch entsprechend besser unterschieden werden. Sollte sich diese Hypothese bestätigen, würde sie zusätzliche Beweise für die Funktionalität des Geruchssystems in der frühen Kindheit liefern. Wenn die Unterscheidung von Gerüchen im frühen Alter von der Geruchserfahrung abhängt, sollten künftige Screening-Tests auf Riechstörungen bei Kindern diesen Aspekt berücksichtigen.

**Material und Methode:** Im Deutschen Hygienemuseum Dresden wurden von Mai bis Dezember 2019 an 814 Kindern im Alter von drei bis 18 Jahren eine Reihe an Riechtests durchgeführt. Ziel der Studie war es, einen Diskriminationstest zu entwickeln, der es ermöglicht, Gerüche, mit denen Kinder vertraut sind, und Gerüche, mit denen Kinder wenig Erfahrung haben, zu vergleichen. Dazu wurden komplexe, aus dem Alltag bekannte Düfte und enantiomere Düfte verwendet. Zudem wurde in einem Pretest ein vereinfachter Identifikationstest, bei dem drei Düfte identifiziert werden sollten und ein Test, welcher anhand von geometrischen Figuren das Prinzip des Diskriminationstest erklären soll, durchgeführt. Die Kinder sollten weiterhin ihr eigenes Riechvermögen einschätzen. Um sprachliche Fähigkeiten einzuschätzen, wurde zum Abschluss noch ein Test durchgeführt, bei dem die Kinder in 30 Sekunden so viele Tiere wie möglich aufzählen sollten.

**Ergebnisse:** Es wurden signifikante bessere Ergebnisse mit steigenden Altersgruppen bezüglich des gesamten Diskriminationstests erhoben. Besonders bei jenen Diskriminationstests, welche geläufige Düfte benutzten, war dieser Effekt deutlich. Hingegen war der Einfluss der Altersgruppen bei der Nutzung enantiomerer Düfte nicht nachzuweisen. Weiterhin wurde das Geschlecht als möglicher Einfluss auf das Unterscheidungsvermögen von Düften beurteilt. Hier zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen Jungen und Mädchen. Die sprachlichen Fähigkeiten von Kindern, welche mit dem „animal fluency test“ untersucht wurde, zeigten ebenfalls keinen Einfluss auf die Ergebnisse im Diskriminationstest. Eine Analyse der Testreihenfolge konnte erhoben werden, da ungefähr nach der Hälfte des Testzeitraums die Reihenfolge im Diskriminationstest geändert wurde. Hier ergab sich, dass eher getestete Düfte besser unterschieden, werden als später getestete Düfte.

**Schlussfolgerung:** Wir interpretierten die Ergebnisse so, dass die Unterscheidung von Düften vor allem von der Erfahrung im Umgang mit Riechstoffen abhängt. Düfte, welche schwer zu benennen und auch unbekannt sind, wie die enantiomeren Duftstoffe, zeigten keine Altersabhängigkeit. Einzig der Duft Carvone zeigte eine ähnliche Altersabhängigkeit wie die geläufigen Düfte. Möglicherweise, weil der Geruch nach Minze und Kümmel, der für (-)-Carvone bzw. (+)-Carvone beschrieben wird, älteren Kindern eher bekannt ist, sie also mehr Erfahrungen damit haben. Dass eine Einschätzung einer solchen Erfahrung fehlt, ist eine Einschränkung der Studie. Zudem ist der schiere Umfang und die Schwierigkeit der Tests, sowie die nicht störungsfreie Umgebung möglicherweise ein Grund für zum Teil widersprüchliche Ergebnisse.

## 8. Summary

**Background:** The sense of smell is functional from birth. However, certain olfactory abilities are dependent on experience and develop with age. The results of tests of olfactory function increase in the first decade and a half and reach a plateau in early teenage years. Younger children perform worse on odor identification tasks than older children, adolescents and adults. Age-related differences in naming odors have been explained by children's lower attention to odors, lower linguistic or limited odor-specific knowledge. The ability to differentiate between odors increases with age in children. However, this difference cannot be explained solely by the difficulty of the task. Individual experience with odors seems to play an important role in the discrimination of odors. The most important evidence for this finding comes from the comparison of 6-year-old children and adults. Such a large age difference is likely to lead to a robust effect of age on the ability to discriminate odors. Additional evidence from more closely spaced age groups is needed to better understand how odor discrimination ability develops and the role of odor experience in this process.

**Research question/hypothesis:** We hypothesized that the discrimination of enantiomeric odor pairs in children and adolescents would be less susceptible to age effects than the discrimination of pairs of common odors. Both common odor pairs and enantiomers elicit distinguishable peripheral responses, but odor enantiomers are perceptually similar and therefore do not have separate verbal labels or semantic associations. In contrast, specific labels can be assigned to each of the common odor pairs. In this study design, the discrimination of enantiomers and common odors by children in different age groups will be compared. The aim is to eliminate the bias caused by dependence on olfactory experience. If odor discrimination is indeed dependent on odor experience, then young and older children should discriminate enantiomeric pairs with similar accuracy. The ordinary odor pairs should also be discriminated better with increasing age and odor experience. If this hypothesis is confirmed, it would provide additional evidence for the functionality of the olfactory system in early childhood. If the discrimination of odors at an early age depends on olfactory experience, future screening tests for olfactory disorders in children should take this aspect into account.

**Materials and methods:** A series of olfactory tests were conducted at DHMD from May to December 2019 on 814 children aged three to 18 years. The aim of the study was to develop a discrimination test to compare odors with which children are familiar and odors with which children have little experience. For this purpose, complex odors known from everyday life and enantiomeric odors were used. In addition, a simplified identification test, in which three scents were to be

identified, and a test, which was to explain the principle of the discrimination test on the basis of geometric figures, were carried out in a pretest. The children were also asked to assess their own olfactory abilities. In order to assess linguistic abilities, a test was carried out in which the children had to list as many animals as possible in 30 seconds.

**Results:** Significantly better results were obtained with increasing age groups with regard to the overall discrimination test. This effect was particularly clear for those discrimination tests that used common scents. In contrast, the influence of the age groups could not be detected in the use of enantiomeric scents. Furthermore, gender was assessed as a possible influence on scent discrimination ability. Here, no difference between boys and girls was found. The linguistic abilities of children, which were examined with the "animal fluency test", also showed no influence on the results in the discrimination test. An analysis of the test order could be collected, because approximately after half of the test period the order in the discrimination test was changed. For the participating children, this showed that scents tested earlier were better discriminated than scents tested later.

**Conclusion:** We interpreted the results in such a way that discrimination of scents depends above all on the experience in dealing with odorants. Fragrances which are difficult to name and also unknown, such as the enantiomeric fragrances showed no age dependence. Only the fragrance Carvone showed a similar age dependence as the common fragrances. Possibly because the smell of mint and caraway described for (-)-carvone and (+)-carvone, respectively, is more familiar to older children, so they have more experience with it. The lack of an assessment of such an experience is a limitation of the study. In addition, the sheer size and difficulty of the test, as well as the environment not being free of interference, may be a reason for partially contradictory results.

## I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Arbeitsplatz im Kindermuseum .....	17
Abbildung 2: Ablaufplan der Testung.....	17
Abbildung 3: Auswahlmöglichkeiten des Identifikationstests.....	19
Abbildung 4: Verwendete Holzfiguren.....	20
Abbildung 5: Durchführung des Diskriminationstestes.....	22
Abbildung 6: Anzahl der Kinder je Alter und Geschlecht.....	24
Abbildung 7: Vorgehen zur Auswahl herausgenommener Daten.....	27
Abbildung 8: Geschätztes Randmittel des Diskriminationstests bezogen auf die Altersgruppen und mit Kovariaten Geschlecht und Tieranzahltest.....	30
Abbildung 9: Geschätztes Randmittel der geläufigen Düfte bezogen auf die Altersgruppen und mit Kovariaten Geschlecht und Tieranzahltest.....	30
Abbildung 10: Geschätztes Randmittel der enantiomeren Düfte bezogen auf die Altersgruppen und mit Kovariaten Geschlecht und Tieranzahltest.....	31
Abbildung 11: Mittelwerte und 95% Konfidenzintervall der einzelnen Diskriminationstests bezogen auf alle Teilnehmenden.....	34
Abbildung 12: Mittelwerte und 95% Konfidenzintervall der einzelnen Diskriminationstests bezogen auf die Altersgruppen.....	35

## II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswahlmöglichkeiten des Identifikationstests, korrekte Antwort fett markiert.....	18
Tabelle 2: Im Diskriminationstest verwendete Düfte .....	21
Tabelle 3: Demographische Daten und Selbsteinschätzung der Kinder.....	25
Tabelle 4: Deskriptive Statistik mit Baseline-Gruppenvergleich (einfaktorielle ANOVA) bei allen Kindern und in Geschlechter unterteilt.....	26
Tabelle 5: Analyse der Diskriminationstests mithilfe einer univariaten ANOVA für die ersten drei Altersgruppen.....	29
Tabelle 6: Pearsons-Korrelationen .....	32
Tabelle 7: Spearman-Rho-Korrelationen .....	33
Tabelle 8: Darstellung der Unterschiede in den verschiedenen Testreihenfolgen im Diskriminationstest .....	36
Tabelle 9: Analyse der Testreihenfolge .....	38
Tabelle 10 Genutzte Duftstoffe, deren CAS Nummer, Lieferant und die Verdünnung in Dipropylenglykol.....	60

### III. Literaturverzeichnis

- Ardila, A., Ostrosky-Solís, F. & Bernal, B. (2006). Cognitive testing toward the future: The example of Semantic Verbal Fluency (ANIMALS). *International Journal of Psychology*, 41(5), 324–332. <https://doi.org/10.1080/00207590500345542>
- Aumüller, G., Aust, G., Engele, J., Kirsch, J., Maio, G., Mayerhofer, A., Mense, S., Reißig, D., Salvetter, J., Schmidt, W., Schmitz, F., Schulte, E., Spanel-Borowski, K., Wennemuth, G., Wolff, W., Wurzinger, L. J. & Zilch, H.-G. (2014). *Anatomie* (3. Aufl.). *Duale Reihe*. THIEME.
- Balogh, R. & Porter, R. H. (1986). Olfactory preferences resulting from mere exposure in human neonates. *Infant Behavior and Development*, 9(4), 395–401. [https://doi.org/10.1016/0163-6383\(86\)90013-5](https://doi.org/10.1016/0163-6383(86)90013-5)
- Bastos, L. O. D., Guerreiro, M. M., Lees, A. J., Warner, T. T. & Silveira-Moriyama, L. (2015). Effects of age and cognition on a cross-cultural paediatric adaptation of the Sniffin' Sticks Identification Test. *PloS one*, 10(8), e0131641. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131641>
- Buck, L. & Axel, R. (1991). A novel multigene family may encode odorant receptors: a molecular basis for odor recognition. *Cell*, 65(1), 175–187. [https://doi.org/10.1016/0092-8674\(91\)90418-x](https://doi.org/10.1016/0092-8674(91)90418-x)
- Cain, W. S., Stevens, J. C., Nickou, C. M., Giles, A., Johnston, I. & Garcia-Medina, M. R. (1995). Life-span development of odor identification, learning, and olfactory sensitivity. *Perception*, 24(12), 1457–1472. <https://doi.org/10.1068/p241457>
- Cardesín, A., Alobid, I [Isam], Benítez, P., de Haro, J., Bernal-Sprekelsen, M., Picado, C. & Mulla, J [Joaquim] (2006). Barcelona Smell Test - 24 (BAST-24): validation and smell characteristics in the healthy Spanish population. *Rhinology*(44), 83–89.
- Chen, G., Pan, H., Li, L., Wang, J., Zhang, D. & Wu, Z. (2018). Olfactory assessment in the Chinese pediatric population. *Medicine*, 97(16), e0464. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000010464>
- Cingi, C., Muluk, N. B., Ulusoy, S., Lopatin, A., Şahin, E., Passali, D., Bellussi, L., Atilla, H., Hanci, D., Altıntoprak, N., Rusetski, Y., Sarafoleanu, C., Mladina, R., Kalogjera, L. & Manea, C. (2016). Septoplasty in children. *American journal of rhinology & allergy*, 30(2), e42-7. <https://doi.org/10.2500/ajra.2016.30.4289>
- Croijmans, I., Arshamian, A., Speed, L. J. & Majid, A. (2021). Wine experts' recognition of wine odors is not verbally mediated. *Journal of experimental psychology. General*, 150(3), 545–559. <https://doi.org/10.1037/xge0000949>

- Dalton, P., Mennella, J. A., Cowart, B. J., Maute, C., Pribitkin, E. A. & Reilly, J. S. (2009). Evaluating the prevalence of olfactory dysfunction in a pediatric population. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1170, 537–542. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.03919.x>
- Dalton, P., Mennella, J. A., Maute, C., Castor, S. M., Silva-Garcia, A., Slotkin, J., Grindle, C. R., Parkes, W., Pribitkin, E. A. & Reilly, J. S. (2011). Development of a test to evaluate olfactory function in a pediatric population. *The Laryngoscope*, 121(9), 1843–1850. <https://doi.org/10.1002/lary.21928>
- Davidson, T. M., Freed, C., Healy, M. P. & Murphy, C [C.] (1998). Rapid clinical evaluation of anosmia in children: the Alcohol Sniff Test. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 855, 787–792. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1998.tb10659.x>
- Davidson, T. M. & Murphy, C [C.] (1997). Rapid clinical evaluation of anosmia. The alcohol sniff test. *Archives of otolaryngology--head & neck surgery*, 123(6), 591–594. <https://doi.org/10.1001/archotol.1997.01900060033005>
- Doty, R. L., Applebaum, S., Zusho, H. & Settle, R. G. (1985). Sex differences in odor identification ability: a cross-cultural analysis. *Neuropsychologia*, 23(5), 667–672. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(85\)90067-3](https://doi.org/10.1016/0028-3932(85)90067-3)
- Doty, R. L., Shaman, P. & Dann, M. (1984). Development of the University of Pennsylvania Smell Identification Test: a standardized microencapsulated test of olfactory function. *Physiology & behavior*, 32(3), 489–502. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(84\)90269-5](https://doi.org/10.1016/0031-9384(84)90269-5)
- Doty, R. L., Shaman, P., Kimmelman, C. P. & Dann, M. S. (1984). University of Pennsylvania Smell Identification Test: a rapid quantitative olfactory function test for the clinic. *The Laryngoscope*, 94(2 Pt 1), 176–178. <https://doi.org/10.1288/00005537-198402000-00004>
- Durante, M. A., Kurtenbach, S [Stefan], Sargi, Z. B., Harbour, J. W., Choi, R., Kurtenbach, S [Sarah], Goss, G. M., Matsunami, H. & Goldstein, B. J. (2020). Single-cell analysis of olfactory neurogenesis and differentiation in adult humans. *Nature neuroscience*, 23(3), 323–326. <https://doi.org/10.1038/s41593-020-0587-9>
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A. & Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G\*Power 3.1: tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41(4), 1149–1160. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>
- 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(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/bf03193146>
- Fitzek, M., Patel, P. K., Solomon, P. D., Lin, B., Hummel, T [Thomas], Schwob, J. E. & Holbrook, E. H. (2022). Integrated age-related immunohistological changes occur in

- human olfactory epithelium and olfactory bulb. *Journal of Comparative Neurology*, 530(12), 2154–2175. <https://doi.org/10.1002/cne.25325>
- Fjaeldstad, A., Fernandes, H. M., van Hartevelt, T. J., Gleesborg, C., Møller, A., Ovesen, T. & Kringelbach, M. L. (2017). Brain fingerprints of olfaction: a novel structural method for assessing olfactory cortical networks in health and disease. *Scientific Reports*, 7, 42534. <https://doi.org/10.1038/srep42534>
- Gellrich, J., Dabow, M.-L., Vogelberg, C., Reschke, F., Näke, A., Hagen, M. von der & Schriever, V. A [Valentin A.] (2019). Influence of chronic diseases on the olfactory function in children. *European journal of pediatrics*, 178(8), 1185–1193. <https://doi.org/10.1007/s00431-019-03380-1>
- Gellrich, J., Stetler, C., Oleszkiewicz, A [Anna], Hummel, T [Thomas] & Schriever, V. A [Valentin A.] (2017). Olfactory threshold and odor discrimination ability in children - evaluation of a modified "Sniffin' Sticks" test. *Scientific reports*, 7(1), 1928. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01465-1>
- Hedner, M., Larsson, M., Arnold, N., Zucco, G. M. & Hummel, T [Thomas] (2010). Cognitive factors in odor detection, odor discrimination, and odor identification tasks. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 32(10), 1062–1067. <https://doi.org/10.1080/13803391003683070>
- Hulshoff Pol, H. E., Hijman, R., Baaré, W. F., van Eekelen, S. & van Ree, J. M. (2000). Odor discrimination and task duration in young and older adults. *Chemical senses*, 25(4), 461–464. <https://doi.org/10.1093/chemse/25.4.461>
- Hummel, T [T.], Smitka, M [M.], Puschmann, S., Gerber, J. C., Schaal, B [B.] & Buschhüter, D. (2011). Correlation between olfactory bulb volume and olfactory function in children and adolescents. *Experimental brain research*, 214(2), 285–291. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2832-7>
- Hummel, T [T.], Whitcroft, K. L., Andrews, P., Altundag, A [A.], Cinghi, C., Costanzo, R. M., Damm, M., Frasnelli, J., Gudziol, H., Gupta, N [N.], Haehne, A., Holbrook, E., Hong, S. C., Hornung, D., Huttenbrink, K. B., Kamel, R [R.], Kobayashi, M., Konstantinidis, I [I.], Landis, B. N [B. N.], . . . Welge-Luessen, A. (2017). Position paper on olfactory dysfunction. *Rhinology journal*, 54(26), 1–30. <https://doi.org/10.4193/Rhino16.248>
- Hummel, T [Thomas], Bensafi, M., Nikolaus, J., Knecht, M., Laing, D. G. & Schaal, B [Benoist] (2007). Olfactory function in children assessed with psychophysical and electrophysiological techniques. *Behavioural brain research*, 180(2), 133–138. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2007.02.040>

- Hummel, T [Thomas], Hummel, C [Cornelia], Iannilli, E [Emilia], Baur, A., Gerber, J. & Chopra, A. (2012). Olfactory Processing in Children and Young Adults. *Chemosensory Perception*, 5(1), 128–137. <https://doi.org/10.1007/s12078-011-9114-4>
- Jacob Cohen. (2022, 5. März). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9780203771587/statistical-power-analysis-behavioral-sciences-jacob-cohen>
- Kobal, G., Hummel, T [T.], Sekinger, B., Barz, S., Roscher, S. & Wolf, S. (1996). "Sniffin' sticks": screening of olfactory performance. *Rhinology*, 34(4), 222–226.
- Kurian, S. M., Naressi, R. G., Manoel, D., Barwich, A.-S., Malnic, B. & Saraiva, L. R. (2021). Odor coding in the mammalian olfactory epithelium. *Cell and Tissue Research*, 383(1), 445–456. <https://doi.org/10.1007/s00441-020-03327-1>
- Landis, B. N [B. N.], Hummel, T [T.], Hugentobler, M., Giger, R. & Lacroix, J. S. (2003). Ratings of overall olfactory function. *Chemical senses*, 28(8), 691–694. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjg061>
- Laska, M [M.] & Teubner, P. (1999). Olfactory discrimination ability of human subjects for ten pairs of enantiomers. *Chemical senses*, 24(2), 161–170. <https://doi.org/10.1093/chemse/24.2.161>
- Laska, M [Matthias] (2004). Olfactory discrimination ability of human subjects for enantiomers with an isopropenyl group at the chiral center. *Chemical senses*, 29(2), 143–152. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjh019>
- Lehrner, J. P., Walla, P., Laska, M [M.] & Deecke, L. (1999). Different forms of human odor memory: a developmental study. *Neuroscience Letters*, 272(1), 17–20. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(99\)00566-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(99)00566-2)
- Lingner, K. A. (1912). *Denkschrift zur Errichtung eines National-Hygiene-Museums in Dresden*. <https://swb.bsz-bw.de/DB=2.304/PPN?PPN=1139588842>
- Lötsch, J., Reichmann, H. & Hummel, T [Thomas] (2008). Different odor tests contribute differently to the evaluation of olfactory loss. *Chemical senses*, 33(1), 17–21. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjm058>
- Lötsch, J., Utsch, A. & Hummel, T [Thomas] (2016). How Many and Which Odor Identification Items Are Needed to Establish Normal Olfactory Function? *Chemical senses*, 41(4), 339–344. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjw006>
- Makin, J. W. & Porter, R. H. (1989). Attractiveness of Lactating Females' Breast Odors to Neonates. *Child Development*, 60(4), 803. <https://doi.org/10.2307/1131020>

- Manzini, I., Schild, D. & Di Natale, C. (2022). Principles of odor coding in vertebrates and artificial chemosensory systems. *Physiological reviews*, 102(1), 61–154. <https://doi.org/10.1152/physrev.00036.2020>
- Mariño-Sánchez, F [F.], Valls-Mateus, M., Fragola, C [C.], Los Santos, G. de [G.], Aguirre, A., Alonso, J., Valero, J., Santamaría, A., Rojas Lechuga, M. J., Cobeta, I., Alobid, I [I.] & Mullol, J [J.] (2020). Pediatric Barcelona Olfactory Test–6 (pBOT-6): Validation of a Combined Odor Identification and Threshold Screening Test in Healthy Spanish Children and Adolescents. *Journal of investigational allergology & clinical immunology*, 30(6), 439–447. <https://doi.org/10.18176/jiaci.0451>
- McGann, J. P. (2017). Poor human olfaction is a 19th-century myth. *Science (New York, N.Y.)*, 356(6338). <https://doi.org/10.1126/science.aam7263>
- Mehrani, M. B. & Peterson, C. (2015). Recency Tendency: Responses to Forced-Choice Questions. *Applied Cognitive Psychology*, 29(3), 418–424. <https://doi.org/10.1002/acp.3119>
- Mehrani, M. B. & Peterson, C. (2017). Children's recency tendency: A cross-linguistic study of Persian, Kurdish and English. *First Language*, 37(4), 350–367. <https://doi.org/10.1177/0142723717694055>
- Mombaerts, P. (2004). Odorant receptor gene choice in olfactory sensory neurons: the one receptor-one neuron hypothesis revisited. *Current opinion in neurobiology*, 14(1), 31–36. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2004.01.014>
- Monnery-Patris, S., Rouby, C., Nicklaus, S. & Issanchou, S. (2009). Development of olfactory ability in children: sensitivity and identification. *Developmental psychobiology*, 51(3), 268–276. <https://doi.org/10.1002/dev.20363>
- Nordin, S., Nyroos, M., Maunuksela, E., Niskanen, T. & Tuorila, H. (2002). Applicability of the Scandinavian Odor Identification Test: a Finnish-Swedish comparison. *Acta otolaryngologica*, 122(3), 294–297. <https://doi.org/10.1080/000164802753648187>
- Oberg, C., Larsson, M. & Bäckman, L. (2002). Differential sex effects in olfactory functioning: the role of verbal processing. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, 8(5), 691–698. <https://doi.org/10.1017/s1355617702801424>
- Oleszkiewicz, A [A.], Schriever, V. A [V. A.], Croy, I [I.], Hähner, A [A.] & Hummel, T [Thomas] (2019). Updated Sniffin' Sticks normative data based on an extended sample of 9139 subjects. *European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery*, 276(3), 719–728. <https://doi.org/10.1007/s00405-018-5248-1>

- Oleszkiewicz, A [Anna], Heyne, L., Sienkiewicz-Oleszkiewicz, B., Cuevas, M., Haehner, A. & Hummel, T [Thomas] (2021). Odours count: human olfactory ecology appears to be helpful in the improvement of the sense of smell. *Scientific Reports*, 11(1), 16888. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96334-3>
- Oleszkiewicz, A [Anna], Walliczek-Dworschak, U., Klötze, P., Gerber, F., Croy, I [Ilona] & Hummel, T [Thomas] (2016). Developmental Changes in Adolescents' Olfactory Performance and Significance of Olfaction. *PloS one*, 11(6), e0157560. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157560>
- Pirogovsky, E., Gilbert, P. E. & Murphy, C [Claire] (2006). Source and item memory for odors and objects in children and young adults. *Developmental neuropsychology*, 30(2), 739–752. [https://doi.org/10.1207/s15326942dn3002\\_5](https://doi.org/10.1207/s15326942dn3002_5)
- Poletti, S. C., Cavazzana, A., Guducu, C., Larsson, M. & Hummel, T [Thomas] (2017). Indistinguishable odour enantiomers: Differences between peripheral and central-nervous electrophysiological responses. *Scientific Reports*, 7(1), 8978. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09594-3>
- Read, E. A. (1908). A contribution to the knowledge of the olfactory apparatus in dog, cat and man. *American Journal of Anatomy*, 8(1), 17–47. <https://doi.org/10.1002/aja.1000080103>
- Renéa A. De Wijk and William S. Cain (1994). Short Note Odor Identification by Name and by Edibility: Life-Span Development and Safety. *Human factors*.
- Richman, R. A., Post, E. M., Sheehe, P. R. & Wright, H. N. (1992). Olfactory performance during childhood. I. Development of an odorant identification test for children. *The Journal of pediatrics*, 121(6), 908–911. [https://doi.org/10.1016/s0022-3476\(05\)80337-3](https://doi.org/10.1016/s0022-3476(05)80337-3)
- Richman, R. A., Sheehe, P. R., Wallace, K., Hyde, J. M. & Coplan, J. (1995). Olfactory performance during childhood. II. Developing a discrimination task for children. *The Journal of pediatrics*, 127(3), 421–426. [https://doi.org/10.1016/S0022-3476\(95\)70074-9](https://doi.org/10.1016/S0022-3476(95)70074-9)
- Ridings, J. E. (2013). The thalidomide disaster, lessons from the past. *Methods in molecular biology (Clifton, N.J.)*, 947, 575–586. [https://doi.org/10.1007/978-1-62703-131-8\\_36](https://doi.org/10.1007/978-1-62703-131-8_36)
- Roth, H. J., Müller, C. E. & Folkers, G. (1998). *Stereochemie & Arzneistoffe: Grundlagen - Betrachtungen - Auswirkungen ; mit 27 Tabellen*. Wiss. Verl.-Ges.
- Rozin, P. (1982). "Taste-smell confusions" and the duality of the olfactory sense. *Perception & psychophysics*, 31(4), 397–401. <https://doi.org/10.3758/BF03202667>
- Rumeau, C., Nguyen, D. T. & Jankowski, R. (2016). How to assess olfactory performance with the Sniffin' Sticks test(®). *European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck Diseases*, 133(3), 203–206. <https://doi.org/10.1016/j.anorl.2015.08.004>

- Russell, G. F. & Hills, J. I. (1971). Odor differences between enantiomeric isomers. *Science (New York, N.Y.)*, 172(3987), 1043–1044. <https://doi.org/10.1126/science.172.3987.1043>
- Schäfer, L., Schriever, V. A [Valentin A.] & Croy, I [Ilona] (2021). Human olfactory dysfunction: causes and consequences. *Cell and Tissue Research*, 383(1), 569–579. <https://doi.org/10.1007/s00441-020-03381-9>
- Schmidt, H. J. & Beauchamp, G. K. (1988). Adult-Like Odor Preferences and Aversions in Three-Year-Old Children. *Child Development*, 59(4), 1136. <https://doi.org/10.2307/1130280>
- Schneider, J. F. & Floemer, F. (2009). Maturation of the olfactory bulbs: MR imaging findings. *AJNR. American journal of neuroradiology*, 30(6), 1149–1152. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A1501>
- Schriever, V. A [V. A.], Boerner, C [C.], Mori, E [E.], Smitka, M [M.] & Hummel, T [T.] (2015). Changes of olfactory processing in childhood and adolescence. *Neuroscience*, 287, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2014.12.012>
- Schriever, V. A [Valentin A.], Agosin, E., Altundag, A [Aytug], Avni, H., Cao Van, H., Cornejo, C., Los Santos, G. de [Gonzalo], Fishman, G., Fragola, C [Claudio], Guarneros, M., Gupta, N [Neelima], Hudson, R., Kamel, R [Reda], Knaapila, A., Konstantinidis, I [Iordanis], Landis, B. N [Basile N.], Larsson, M., Lundström, J. N., Macchi, A [Alberto], . . . Hummel, T [Thomas] (2018). Development of an International Odor Identification Test for Children: The Universal Sniff Test. *The Journal of pediatrics*, 198, 265-272.e3. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2018.03.011>
- Schriever, V. A [Valentin A.], Mori, E [Eri], Petters, W., Boerner, C [Carolin], Smitka, M [Martin] & Hummel, T [Thomas] (2014). The "Sniffin' Kids" test--a 14-item odor identification test for children. *PloS one*, 9(6), e101086. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101086>
- Schulte, S. (2001). DAS DEUTSCHE HYGIENE-MUSEUM IN DRESDEN VON WILHELM KREIS : Biographie eines Museums der Weimarer Republik.
- Seo, H.-S., Gudziol, V [Volker], Hähner, A [Antje] & Hummel, T [Thomas] (2011). Background sound modulates the performance of odor discrimination task. *Experimental brain research*, 212(2), 305–314. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2729-5>
- Sorokowska, A [A.], Albrecht, E. & Hummel, T [T.] (2015). Reading first or smelling first? Effects of presentation order on odor identification. *Attention, perception & psychophysics*, 77(3), 731–736. <https://doi.org/10.3758/s13414-014-0811-3>
- Sorokowska, A [A.], Schriever, V. A [V. A.], Gudziol, V [V.], Hummel, C [C.], Hähner, A [A.], Iannilli, E [E.], Sinding, C., Aziz, M., Seo, H. S., Negoias, S. & Hummel, T [T.] (2015). Changes of olfactory abilities in relation to age: odor identification in more than 1400 people aged 4 to 80 years. *European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of*

- the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery*, 272(8), 1937–1944. <https://doi.org/10.1007/s00405-014-3263-4>
- Stevenson, R. J., Mahmut, M. & Sundqvist, N. (2007). Age-related changes in odor discrimination. *Developmental psychology*, 43(1), 253–260. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.43.1.253>
- Stevenson, R. J., Sundqvist, N. & Mahmut, M. (2007). Age-related changes in discrimination of unfamiliar odors. *Perception & psychophysics*, 69(2), 185–192. <https://doi.org/10.3758/bf03193741>
- Strauss, E., Sherman, E. M. S. & Spreen, O. (2006). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary* (3. ed.). Oxford Univ. Press. <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0635/2005020769-d.html>
- Testa, B. (1983). *Grundlagen der organischen Stereochemie*. Verlag Chemie.
- Verbeurgt, C., Wilkin, F., Tarabichi, M., Gregoire, F., Dumont, J. E. & Chatelain, P. (2014). Profiling of olfactory receptor gene expression in whole human olfactory mucosa. *PLoS one*, 9(5), e96333. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096333>
- Vogel, K. (Hrsg.). (2003). *Das Deutsche Hygiene-Museum Dresden: 1911 bis 1990*. Michel Sandstein Verlag.
- Walliczek-Dworschak, U., Pellegrino, R., Lee, S., Hummel, C [Cornelia], Hähner, A [Antje] & Hummel, T [Thomas] (2016). Olfactory Performance Can Be Influenced by the Presentation Order, Background Noise, and Positive Concurrent Feedback. *Chemical senses*, 41(8), 697–701. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjw079>
- Wijk, R. A. de & Cain, W. S. (1994). Odor identification by name and by edibility: life-span development and safety. *Human factors*, 36(1), 182–187. <https://doi.org/10.1177/001872089403600112>
- Wilson, D. A. & Stevenson, R. J. (2003). Olfactory perceptual learning: the critical role of memory in odor discrimination. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 27(4), 307–328. [https://doi.org/10.1016/S0149-7634\(03\)00050-2](https://doi.org/10.1016/S0149-7634(03)00050-2)
- Zatorre, R. J. & Jones-Gotman, M. (1990). Right-nostril advantage for discrimination of odors. *Perception & psychophysics*, 47(6), 526–531. <https://doi.org/10.3758/bf03203105>

## Veröffentlichung

Oleszkiewicz, A., Behl, O., Grahl, T. & Hummel, T. (2022). Odor discrimination in children aged 4â12 years. *Chemical Senses*, 47. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjac005>

## Anhang

Duft	CAS Nummer	Herkunft	Verdünnung in Dipropylenglycol (%)
(-)- Limonene	CAS 5989-54-8	Fluka, Buchs, Switzerland	13
(+)- Limonene	CAS 5989-27-5		23
(-)- Fenchone	CAS 7787-20-4		7
(+)- Fenchone	CAS 4695-62-9	Sigma-Aldrich, Taufkirchen, Germany	7
(-)- Carvone	CAS 6485-40-1		23
(+)- Carvone	CAS 2244-16-8		23
(-)- Rose oxide	CAS 16409-43-1		2
(+)- Rose oxide	CAS 16409-43-1		2
(-)-2-Butanol	CAS 14898-79-4		2
(+)-2-Butanol	CAS 4221-99-2		2
Pfirsich	Product #P0606040		Frey + Lau, Henstedt-Ulzburg, Germany
Apfel	Product #P0602153	26	
Lavendel	Product #P0123527	66	
Flieder	Product #P0218324	50	
Karamell	Product #P0606057	40	
Vanille	Product #BYC4221TEU 20190617144545	Takasago, Paris, France	73
Dipropylenglykol	25265-71-8	Sigma-Aldrich, Taufkirchen, Germany	

Tabelle 10 Genutzte Duftstoffe, deren CAS Nummer, Lieferant und die Verdünnung in Dipropylenglykol

Datum:

Proband Nummer:

Alter:

Geschlecht:  M  W

Wie gut kannst du riechen?  gut  normal  schlecht  Gar nicht

Identifikation der geometrischen Figuren (Anzahl):

Anzahl Tiere/30 Sekunden:

Diskrimination:

	1	2	3	4	5	6	7	8
Rot								
Gelb								
Blau								

Identifikation:

Banane	<input type="checkbox"/>	Walnuss	<input type="checkbox"/>	Kokosnuss	<input type="checkbox"/>	Kirsche	<input type="checkbox"/>
Honig	<input type="checkbox"/>	Zimt	<input type="checkbox"/>	Vanille	<input type="checkbox"/>	Schokolade	<input type="checkbox"/>
Brot	<input type="checkbox"/>	Käse	<input type="checkbox"/>	Fisch	<input type="checkbox"/>	Schinken	<input type="checkbox"/>

Datum:

Proband Nummer:

Alter:

Geschlecht:  M  W

Wie gut kannst du riechen?  gut  normal  schlecht  Gar nicht

Identifikation der geometrischen Figuren (Anzahl):

Anzahl Tiere/30 Sekunden:

Diskrimination:

	1	2	3	4	5	6	7	8
Rot								
Gelb								
Blau								

Identifikation:

Banane	<input type="checkbox"/>	Walnuss	<input type="checkbox"/>	Kokosnuss	<input type="checkbox"/>	Kirsche	<input type="checkbox"/>
Honig	<input type="checkbox"/>	Zimt	<input type="checkbox"/>	Vanille	<input type="checkbox"/>	Schokolade	<input type="checkbox"/>
Brot	<input type="checkbox"/>	Käse	<input type="checkbox"/>	Fisch	<input type="checkbox"/>	Schinken	<input type="checkbox"/>

Die Datenerhebung wurde auf diesem Arbeitsblatt vorgenommen