

Butter, Katja; Hucke, Christine Ida; Gallus, Viviane; van Thriel, Christoph; Ohlmeyer, Martin

Research Report

Wood for Good – Kontextbezogene gemisch- und konzentrationsabhängige Auswirkungen flüchtiger organischer Verbindungen verschiedener Holzarten auf neurophysiologische Prozesse und die chemosensorische Informationsverarbeitung des Menschen

Thünen Report, No. 121

Provided in Cooperation with:

Johann Heinrich von Thünen Institute, Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries

Suggested Citation: Butter, Katja; Hucke, Christine Ida; Gallus, Viviane; van Thriel, Christoph; Ohlmeyer, Martin (2025) : Wood for Good – Kontextbezogene gemisch- und konzentrationsabhängige Auswirkungen flüchtiger organischer Verbindungen verschiedener Holzarten auf neurophysiologische Prozesse und die chemosensorische Informationsverarbeitung des Menschen, Thünen Report, No. 121, ISBN 978-3-86576-271-9, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig,
<https://doi.org/10.3220/253-2025-141>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/325821>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Wood for Good – Kontextbezogene gemisch- und konzentrationsabhängige Auswirkungen flüchtiger organischer Verbindungen verschiedener Holzarten auf neurophysiologische Prozesse und die chemosensorische Informationsverarbeitung des Menschen

**Katja Butter, Christine Ida Hucke, Viviane Gallus, Christoph van Thriel,
Martin Ohlmeyer**

Thünen Report 121

Bibliografische Information:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikationen in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

*Bibliographic information:
The Deutsche Nationalbibliothek (German National Library) lists this publication in the German National Bibliography; detailed bibliographic data is available on the Internet at www.dnb.de*

Bereits in dieser Reihe erschienene Bände finden Sie im Internet unter www.thuenen.de

Volumes already published in this series are available on the Internet at www.thuenen.de

Zitationsvorschlag – *Suggested source citation:*
Butter, K., Hucke, C.I., Gallus, V., van Thriel, C., Ohlmeyer, M. (2025)
Wood for Good – Kontextbezogene gemisch- und konzentrationsabhängige Auswirkungen flüchtiger organischer Verbindungen verschiedener Holzarten auf neurophysiologische Prozesse und die chemosensorische Informationsverarbeitung des Menschen. Thünen-Report 121. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig. <https://doi.org/10.3220/253-2025-141>

Die Verantwortung für die Inhalte liegt bei den jeweiligen Verfassern bzw. Verfasserinnen.

The respective authors are responsible for the content of their publications.



Thünen Report 121

Herausgeber/Redaktionsanschrift – Editor/address

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

thuenen-report@thuenen.de
www.thuenen.de

ISSN 2196-2324
ISBN 978-3-86576-271-9
DOI:10.3220/253-2025-141
urn:nbn:de:gbv:253-2025-000172-9

©2025 the author(s), Thünen Institute. This is an open access publication distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Wood for Good – Kontextbezogene gemisch- und konzentrationsabhängige Auswirkungen flüchtiger organischer Verbindungen verschiedener Holzarten auf neurophysiologische Prozesse und die chemosensorische Informationsverarbeitung des Menschen

**Katja Butter, Christine Ida Hucke, Viviane Gallus, Christoph van Thriel,
Martin Ohlmeyer**

Thünen Report 121

Katja Butter, Dr. Martin Ohlmeyer

Thünen-Institut für Holzforschung

Leuschnerstraße 91

21031 Hamburg

Dr. Christina Ida Hucke, Viviane Gallus, Prof. Dr. Christoph van Thriel

Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund, IfADo

Neurotoxikologie und Chemosensorik

Ardeystraße 67

44139 Dortmund

Kontakt:

Dr. Martin Ohlmeyer

Telefon: +49 531 2570-1795

E-Mail: martin.ohlmeyer@thuenen.de

Thünen Report Lfd.Nr. 121

Braunschweig/Germany, August 2025

Vorwort

Der vorliegende Thünen-Report umfasst den gesamten Abschlussbericht des Forschungsvorhabens „Wood for Good (W4G) – Kontextbezogene gemisch- und konzentrationsabhängige Auswirkungen flüchtiger organischer Verbindungen verschiedener Holzarten“.

Das Projekt wurde in zwei Teilvorhaben (TV) bearbeitet: das TV 1 „sensorische Untersuchungen“ am Thünen-Institut für Holzforschung, Arbeitsbereich Gesundheit und Verbraucherschutz, Hamburg, und das TV 2 „neurophysiologische und chemosensorische Untersuchungen“ am Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund, Neurotoxikologie und Chemosensorik, Dortmund (IfADo). Der Bearbeitungszeitraum war 01.07.2020 bis 31.10.2024.

Dieses Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Zusammenfassung

Spezifische Konzentrationsprofile flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) werden vom menschlichen Geruchssinn unterschiedlich wahrgenommen und verursachen entweder angenehme oder unangenehme Empfindungen und es können sensorische Reizungen auftreten. Ziel dieses Vorhabens war die Bewertung der Wirkung von VOC-Konzentrationen verschiedener Hölzer hinsichtlich olfaktorischer Effekte auf die allgemeine sensorische Wahrnehmung und charakteristischer Muster im Elektroenzephalogramm (EEG). Diese rein chemische Darstellung von Holz wird von kongruenten und inkongruenten visuellen Hinweisen begleitet.

Erforscht wurden die Wirkungen typischer VOCs von Holz auf neurophysiologische Prozesse und weitere chemosensorische Effekte. Im ersten Arbeitspaket wurde die multisensorische Integration von Geruchsreizen im Kontext von Holz untersucht, während das zweite Arbeitspaket detaillierte Untersuchungen zu den Effekten von Holz-VOCs in verschiedenen Konzentrationen umfasste, um sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf Gesundheit und Befinden zu erfassen. Im Rahmen eines weiteren Arbeitspakets wurde untersucht, inwieweit sich die Geruchsbewertung von Holzprodukten durch unterschiedlichen visuellen Kontext und Vorinformationen verändern.

Die aktuelle Praxis der sensorischen Prüfung von Bauprodukten nach nationalen und internationalen Standards sowie deren Bewertung als freiwilliger Parameter zur gesundheitsbezogenen Bewertung wurde hinterfragt. Es wurde der Frage nachgegangen, ob Geruchsprüfungen über die reine analytische Bewertung hinaus zusätzlichen Nutzen bieten und ob geruchliche Aspekte bei der Ableitung von Innenraumrichtwerten berücksichtigt werden sollten.

Das Ergebnis zeigte im Rahmen der EEG-Analysen, dass typische Aktivierungsmuster der Geruchswahrnehmung auch bei der Verarbeitung von Kiefernholz-VOCs evoziert werden können. Versuchspersonen konnten den visuellen Kontext nicht ausblenden, was sich in einer höheren Hedonik-Bewertung und neuronalen Verarbeitungsunterschieden im EEG zeigte. Dies deutet darauf hin, dass ein inkongruenter visueller Kontext den kognitiven Aufwand zur Geruchsverarbeitung erhöht und möglicherweise Geruchsbelästigungen verursacht.

Die Messebene der Physiologie ergab keinen Hinweis auf mögliche reizende Effekte der Exposition im Rahmen der Richtwerte der bizyklischen Terpene. Die gemessenen Endpunkte zeigten keine akuten Reaktionen des peripheren Nervensystems oder Entzündungsreaktionen an den Atemwegen. Die Elektrokardiogramm (EKG)-Daten deuteten auf eine milde Entspannung hin, jedoch waren diese Effekte lediglich akut.

Mit Kenntnis der Geruchsquelle wurden die Holz-Gerüche unterschiedlich hedonisch bewertet. Die Richtung der Veränderung in der Hedonik hängt von der Konnotation des jeweiligen Produktes ab. Diese Konnotation variiert individuell. Die Ergebnisse deuten jedoch darauf hin, dass im Durchschnitt Vollholzprodukte generell positiver wahrgenommen werden als Holzwerkstoffe.

Durch Vorabinformationen über mögliche gesundheitliche Auswirkungen von VOCs und Gerüchen aus Bauprodukten ließen sich die Einstellungen der Versuchspersonen gezielt beeinflussen: Je nach Inhalt der Information äußerten sie mehr oder weniger Sorge hinsichtlich potenzieller gesundheitlicher Beeinträchtigungen. Dies spiegelte sich jedoch nicht in einer veränderten Bewertung der Holzgerüche hinsichtlich Intensität, Hedonik und Vertrautheit wider.

Die Wirkung von Gerüchen auf den Menschen ist ein komplexes Zusammenspiel von Geruchsstoffkonzentration, dem Kontext der Geruchswahrnehmung, den ausgelösten Emotionen und Erinnerungen und weiteren, teils unbekannten Eigenschaften der Geruchsrezipient:innen. Es steht weiterhin außer Zweifel, dass bestimmte Gerüche oder Geruchsstoffe positive Wirkungen auf den Menschen haben, wobei eine gesundheitsförderliche Wirkung nach dem bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand nicht als gesichert angenommen werden kann. Dennoch gibt es gerade bei Holzprodukten, Wäldern und urbanem Grün zunehmend Hinweise auf derartige Effekte. Wird also der Geruch auf die minimale Beschreibungsdimension „Geruchsintensität“ reduziert und diese Dimension zu regulatorischen Zwecken genutzt, dann wird dieses sensorische Phänomen, das eine evolutionäre Bedeutung für den Menschen hat, nicht hinreichend berücksichtigt.

Schlagwörter: Geruchswirkung, Kontext, EEG, chemosensorische Effekte, bizyklische Terpene, Innenraumluftqualität

Abstract

Specific concentrations of volatile organic compounds (VOCs) are perceived differently by the human sense of smell, causing either pleasant or unpleasant sensations and potentially leading to sensory irritations. The objective of this project was to evaluate the effects of VOC profiles and concentrations of various woods on overall sensory perception and characteristic patterns in the electroencephalogram (EEG). This purely chemical representation of wood was accompanied by congruent and incongruent visual cues.

The study investigated the effects of typical wood VOCs on neurophysiological processes and other chemosensory effects. The first work package examined the multisensory integration of olfactory stimuli in the context of wood, while the second work package included detailed studies on the effects of VOCs from wood at different concentrations to capture both positive and negative impacts on health and well-being. As part of another work package, the extent to which the odour evaluation of wood products is influenced by different visual contexts and prior information was investigated.

The current practice of sensory testing of building products according to national and international standards, as well as their assessment as a voluntary parameter for health-related evaluation, was questioned. It was investigated whether olfactory tests provide additional benefits beyond pure analytical evaluation and whether olfactory aspects should be considered in the derivation of indoor air guidelines.

The results of the EEG analysis showed that typical activation patterns of olfactory perception can also be evoked during the processing of pine wood VOCs. Subjects could not disregard the visual context, which resulted in higher hedonic ratings and neuronal processing differences in the EEG. This suggests that an incongruent visual context increases the cognitive effort required for olfactory processing and may cause olfactory discomfort.

Physiological measurements showed no indication of possible irritating effects within the guideline limits for bicyclic terpenes. The measured endpoints showed no acute reactions of the peripheral nervous system or inflammatory reactions in the airways. The electrocardiogram (ECG) data indicated mild relaxation, but these effects were only acute.

With knowledge of the odour source, the wood odours were rated differently hedonically, depending on the connotation of the respective product. This connotation varies individually. However, the results suggest that, on average, solid wood products are perceived more positively than wood-based materials.

Prior information about potential health effects of VOCs and odours from building products had a targeted influence on participants' attitudes: depending on the content of the information, they expressed greater or lesser concern about possible health impacts. However, this did not translate into a changed perception of wood odours in terms of intensity, hedonic tone, or familiarity.

The effect of odours on humans is a complex interplay of odorant concentration, the context of odour perception, the emotions and memories triggered, and other, partly unknown properties of the odour recipients. It remains undisputed that specific odours or odorants have positive effects on humans, although a health-promoting effect cannot be assumed as certain based on the current state of scientific knowledge. Nevertheless, there are increasing indications of such effects, especially with wood products, forests, and urban greenery. Therefore, if the odour is reduced to the minimal descriptive dimension of "odour intensity" and this dimension is used for regulatory purposes, this sensory phenomenon, which has evolutionary significance for humans, will not be sufficiently considered.

Keywords: odour effect, context, EEG, chemosensory effects, bicyclic terpenes, indoor air quality

Danksagung

Ganz besonders danken wir Frau Birgit Daebeler von der FNR für die hervorragende Betreuung während der Projektlaufzeit. Nur durch ihre Hilfe und Unterstützung konnten wir die Verzögerungen im Projektablauf infolge der Corona-Pandemie gut auffangen.

Die Autor:innen bedanken sich bei den folgenden Personen und Institutionen für die fachlichen Diskussionen sowie die hilfreichen Hinweise und Perspektiven aus der baustofflichen und holzbaulichen Praxis: Frau Anemon Strohmeyer, Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e. V. (VHI), Herr Ahmed Al Samarraie, Deutscher Holzfertigungsbau-Verband e. V. (DHV), Herr Walter Meyer, Bundesverband Deutscher Fertigungsbau e. V. (BDF), Herr Johannes Niedermeyer, Holzbau Deutschland Institut e. V., Herr Denny Ohnesorge, Deutscher Holzwirtschaftsrat e. V. (DHWR) sowie den Herren Georg Böse und Benedikt Reger, Deutsche Säge- und Holzindustrie Bundesverband e. V. (Desh).

Für die unermüdliche technische Unterstützung gilt unser Dank der Arbeitsgruppe im Thünen-Institut für Holzforschung: Frauke Kurzbach, Daniela Paul, Carmen Schunke und Andreas Drahotta. Dafür, dass wir das Budget immer im Blick behalten konnten und die administrativen Fristen nicht verpasst wurden, danken wir den Kolleg:innen im Sachgebiet Drittmittel der Zentralabteilung des Thünen-Instituts: Kathy Stadler, Susanne Brakebusch und André Franken.

Für die ebenfalls unermüdliche Unterstützung bei der Durchführung der experimentellen Arbeiten am IfADo gilt unser Dank den Mitarbeitenden der Arbeitsgruppen Bioanalytik (Analytische Chemie) sowie Neurotoxizität und Chemosensorik, insbesondere Beate Aust, Michael Porta, Marion Page, Jörg Reinders, Nicola Koschmieder, Stefan Kleinbeck, Lea Drescher, Andra N. Ionescu und Melina C. Mastria. Darüber hinaus möchten wir uns bei Edmund Wascher, Julian Reiser, Emma Lieker, Stefan Arnau und Laura Klatt (Fachbereich Ergonomie) für die Unterstützung bei den elektrophysiologischen Messungen bedanken. Abschließend möchten wir uns ganz herzlich bei Frau Sandra Fernando für die administrative Betreuung des Projekts bedanken.

Ein herzlicher Dank gilt allen Personen, die ihre Nase im Rahmen der Probandenversuche zur Verfügung gestellt haben und dabei ihre Zeit in den Dienst der Wissenschaft gestellt haben. Ohne ihren Beitrag hätten wir diese Arbeiten nicht durchführen können.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	I
Zusammenfassung	II
Abstract	III
Danksagung	V
Inhaltsverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis	XI
1 Einleitung	1
1.1 Stand der Wissenschaft und Technik	1
1.2 Ziele des Vorhabens	6
1.2.1 Teilziel (IfADo): neurophysiologische und chemosensorische Effekte durch repräsentative VOC-Gemische	7
1.2.2 Teilziel (Thünen): sensorische Prüfung nach standardisierten Methoden mit und ohne Kontextbezug	7
2 Material und Methoden	9
2.1 Versuch <i>Elektrophysiologische Reaktionen auf VOC-Gemische</i>	9
2.1.1 Versuchspersonen	9
2.1.2 Geruchsstimulation	10
2.1.3 Visuelle Stimulation (Kontext)	11
2.1.4 EEG-Messungen	11
2.1.5 Skalierung der Geruchsbewertung	12
2.1.6 Versuchsablauf	12
2.1.7 Datenanalyse	14
2.2 Versuch <i>Chemosensorische Effekte im Expositionslabor</i>	16
2.2.1 Versuchspersonen	16
2.2.2 Expositionsszenarien der kontrollierten Raumluftbedingungen	18
2.2.3 Gemessene Endpunkte	21
2.2.4 Ablauf	23
2.2.5 Datenanalyse	25
2.3 Versuch <i>Visueller Kontext</i>	27
2.3.1 Versuchspersonen	27
2.3.2 Gerüche	27
2.3.3 Fragebögen	30
2.3.4 Versuchsablauf	30
2.3.5 Datenanalyse	30
2.4 Umfrage auf der Grünen Woche (Messe)	32
2.4.1 Teilnehmende und Ablauf	32
2.4.2 Datenanalyse	32

2.5	Versuch <i>Psychologischer Kontext</i>	34
2.5.1	Videovalidierung (Onlinestudie)	34
2.5.2	Hauptversuch	40
3	Ergebnisse und Diskussion	45
3.1	Versuch <i>Elektrophysiologische Reaktionen auf VOC-Gemische</i>	45
3.1.1	Ergebnisse <i>Verhalten</i>	45
3.1.2	Ergebnisse <i>EEG</i>	49
3.1.3	Interpretation	52
3.2	Versuch <i>Chemosensorische Effekte im Expositionslabor</i>	54
3.2.1	Ergebnisse <i>Erleben</i>	54
3.2.2	Sensitivitätsanalysen	62
3.2.3	Ergebnisse <i>Verhalten</i>	69
3.2.4	Ergebnisse <i>Physiologie – Zwischen Belästigung und Entspannung</i>	70
3.2.5	Ergebnisse <i>Neurophysiologie – Ereignis-Korrelierte-Potenziale (EKPs)</i>	76
3.3	Versuch <i>Visueller Kontext</i>	79
3.3.1	Gerüche	79
3.3.2	Geruchsbewertung	80
3.3.3	Korrelationen zwischen Geruchsbewertungen	83
3.3.4	Zusammenfassung	84
3.4	Umfrage auf der Grünen Woche (Messe)	88
3.4.1	Charakterisierung der Versuchspersonen	88
3.4.2	Geruchsbewertung	90
3.4.3	Zusammenfassung	90
3.5	Versuch <i>Psychologischer Kontext</i>	91
3.5.1	Videovalidierung (Onlinestudie)	91
3.5.2	Hauptversuch	94
4	Erkenntnisse	105
5	Fazit	107
Literaturverzeichnis		111
Anhang		119

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Olfaktometer und experimentelles Setup	10
Abbildung 2:	Visueller Kontext	11
Abbildung 3:	Skalierung EEG-Versuch	12
Abbildung 4:	Faktorenkombinationen	13
Abbildung 5:	(In)kongruente Geruch-Bild Kombination	15
Abbildung 6:	Setup für Raumluftkonzentration	19
Abbildung 7:	Online-Messungen der Innenraumkonzentration während des Versuchs	20
Abbildung 8:	GC-MS-Messungen von Luftproben während des Versuchs	20
Abbildung 9:	Versuchsperson im Expositionslabor	22
Abbildung 10:	Geruchsset in Glasflaschen	32
Abbildung 11:	Design des ODOR-IAT	37
Abbildung 12:	Kiefernholz Intensitätsbewertung	45
Abbildung 13:	Kiefernholz Hedonikbewertung: Haupteffekt 'Bild'	46
Abbildung 14:	Kiefernholz Hedonikbewertung: Interaktion	47
Abbildung 15:	Citral Intensitätsbewertung	48
Abbildung 16:	Citral Hedonikbewertung	48
Abbildung 17:	EEG-Analysen Kiefernholz: Haupteffekt 'Geruch'	49
Abbildung 18:	EEG-Analysen Kiefernholz Interaktion: (In)Kongruenz-Effekt	51
Abbildung 19:	EEG-Analysen Citral: Haupteffekt 'Geruch'	52
Abbildung 20:	Hedonikbewertung (LMS)	54
Abbildung 21:	Chemosensorische Empfindungsstärken	55
Abbildung 22:	SPES-Fragebogen: unspezifische Symptome	56
Abbildung 23:	SPES-Fragebogen: unspezifische Symptome in Abhängigkeit von der Raumluftbedingung	57
Abbildung 24:	SPES-Fragebogen: olfaktorische Symptome	58
Abbildung 25:	SPES-Fragebogen: Augenreizungen	59
Abbildung 26:	SPES-Fragebogen: Augenreizungen in Abhängigkeit vom Messzeitpunkt	60
Abbildung 27:	Befinden (entspannt – angespannt / wach – müde)	61
Abbildung 28:	Befinden (nicht lästig – lästig)	62
Abbildung 29:	Sensitivitätsanalyse Hedonik	63

Abbildung 30:	Sensitivitätsanalyse Lästigkeit (LMS)	64
Abbildung 31:	Sensitivitätsanalyse Lästigkeit (LMS): Einfluss der Bedingungsreihenfolge	65
Abbildung 32:	Sensitivitätsanalyse SPES: unspezifische Symptome	66
Abbildung 33:	Sensitivitätsanalyse: Lästigkeit (Ordinalskala)	67
Abbildung 34:	Sensitivitätsanalyse: TDI-Score	68
Abbildung 35:	Arbeitgedächtnis: richtige Reaktionen in der 2-back-Aufgabe	69
Abbildung 36:	Arbeitgedächtnis: richtige Reaktionen in der 3-back-Aufgabe	70
Abbildung 37:	EKG-Herzrate	71
Abbildung 38:	FeNO-Konzentration in der Ausatemluft	72
Abbildung 39:	Übersicht der drei Messungen mit dem Keratograph	73
Abbildung 40:	HMGB1 in der nasalen Lavage	74
Abbildung 41:	Substanz P in der nasalen Lavage	75
Abbildung 42:	Amplituden der bEKPs: Interaktion von Expositionsbedingungen und Aufgabe	77
Abbildung 43:	VOC-Zusammensetzung der Gerüche	80
Abbildung 44:	Einfluss des visuellen Kontextes auf die Bewertung der Vertrautheit der Holzgerüche	81
Abbildung 45:	Hedonikbewertung der Holzgerüche	82
Abbildung 46:	Intensitätsbewertung der Holzgerüche	83
Abbildung 47:	Signifikante Korrelationskoeffizienten zwischen den Geruchsbewertungskriterien	84
Abbildung 48:	Altersverteilung innerhalb beider Versuchsgruppen	88
Abbildung 49:	Hedonikbewertung der Holzgerüche	90
Abbildung 50:	Ausmaß des positiven (a) und negativen (b) Affekts in Abhängigkeit vom Videotyp und vom Zeitpunkt der Erhebung	92
Abbildung 51:	Veränderung des Ausmaßes positiven (a) und negativen (b) Affekts infolge der Videos aufgeschlüsselt für die einzelnen Emotionen bzw. Gemütszustände	92
Abbildung 52:	D-Wert als Maß für die Assoziationsstärke zwischen Geruch und Gesundheit	93
Abbildung 53:	Explizite Einstellungen beider Versuchsgruppen zur gesundheitlichen Wirkung von Gerüchen aus Bauprodukten	94
Abbildung 54:	Explizite Einstellungen beider Versuchsgruppen zur gesundheitlichen Wirkung von Gerüchen aus Bauprodukten	95
Abbildung 55:	Offene Frage zur gesundheitlichen Wirkung von Bauproduktemissionen	96
Abbildung 56:	VOC-Zusammensetzung der Gerüche	97
Abbildung 57:	Vertrautheitsbewertung der Holzgerüche	99
Abbildung 58:	Hedonikbewertung der Holzgerüche	100

Abbildung 59:	Hedonikbewertung der Gerüche im Versuch <i>Visueller Kontext</i> im Vergleich zum Versuch <i>Psychologischer Kontext</i>	101
Abbildung 60:	Intensitätsbewertung der Holzgerüche	102
Abbildung 61:	Intensitätsbewertung der Gerüche im Versuch <i>Visueller Kontext</i> im Vergleich zum Versuch <i>Psychologischer Kontext</i>	103

Abbildungen im Anhang

Anhang Abbildung 1:	Geruchspräsentation mittels PureSniff XL, einem Gerät, das es den Versuchspersonen ermöglicht, die Freisetzung des Geruchs selbstständig auszulösen.	120
Anhang Abbildung 2:	a) Ausbalanciertes Lateinisches Quadrat zur Vermeidung von Positions- und Carry-over-Effekten als Grundlage der Geruchssequenzen. b) Geruchssequenzen für 32 Versuchspersonen	120
Anhang Abbildung 3:	Geruchsbewertungskriterien (Hedonik, Intensität, Vertrautheit)	121
Anhang Abbildung 4:	Beispiel für ein Boxplot mit Erläuterungen der Kennwerte	121
Anhang Abbildung 5:	Versuch <i>Visueller Kontext</i> : Modellvoraussetzungen des linearen gemischten Modells zur Hedonikbewertung	122
Anhang Abbildung 6:	Versuch <i>Visueller Kontext</i> : Modellvoraussetzungen des linearen gemischten Modells zur Intensitätsbewertung	122
Anhang Abbildung 7:	Umfrage <i>Grüne Woche</i> : Fragebogen	123
Anhang Abbildung 8:	Umfrage <i>Grüne Woche</i> : Hedonikbewertung der Gerüche in zwei Varianten	124
Anhang Abbildung 9:	Umfrage <i>Grüne Woche</i> : Modellvoraussetzungen des linearen gemischten Modells zur Hedonikbewertung	124
Anhang Abbildung 10:	Versuch <i>Videovalidierung</i> : Modellvoraussetzungen des linearen gemischten Modells zu den PA	128
Anhang Abbildung 11:	Versuch <i>Videovalidierung</i> : Modellvoraussetzungen des linearen gemischten Modells zu den NA	129
Anhang Abbildung 12:	Versuch <i>Psychologischer Kontext</i> : Modellvoraussetzungen des linearen gemischten Modells zur Hedonikbewertung	129
Anhang Abbildung 13:	Vergleich Versuch <i>Visueller</i> und <i>Psychologischer Kontext</i> : Modellvoraussetzungen des linearen gemischten Modells zur Hedonikbewertung	130
Anhang Abbildung 14:	Versuch <i>Psychologischer Kontext</i> : Modellvoraussetzungen des linearen gemischten Modells zur Intensitätsbewertung	130
Anhang Abbildung 15:	Vergleich Versuch <i>Visueller</i> und <i>Psychologischer Kontext</i> : Modellvoraussetzungen des linearen gemischten Modells zur Intensitätsbewertung	131

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Auswahl an Richtwerten (RW I und RW II) für die Innenraumluft für VOCs, die potenziell von Holzprodukten emittiert werden	5
Tabelle 2:	TVOOC-Konzept zur Bewertung der Innenraumluft	6
Tabelle 3:	Versuchspersonenbeschreibung: EEG-Studie	10
Tabelle 4:	Versuchspersonenbeschreibung: Expositionstudie	17
Tabelle 5:	Ablaufplan des Expositionstages am Vormittag	24
Tabelle 6:	Charakterisierung der Gerüche	27
Tabelle 7:	Bedingungen in den Emissionsprüfkammern zur Herstellung der Gerüche	28
Tabelle 8:	Kongruente Materialbilder zu den Gerüchen	29
Tabelle 9:	Erstellte Videos für den Versuch <i>Psychologische Kontext</i>	34
Tabelle 10:	Versuchsablauf der Onlinestudie zur Videovalidierung	35
Tabelle 11:	Ziel- und Zuschreibungskonzepte mit den entsprechenden Beispielwörtern des ODOR-IAT	36
Tabelle 12:	Bewertung der Gesundheit der Konzeptwörter und der Beispielwörter des Konzeptes	36
Tabelle 13:	Ausbalanciertes Design des ODOR-IAT über die Versuchsgruppen	38
Tabelle 14:	NEO-FFI: Voraussetzungen für t-Tests für unabhängige Stichproben	39
Tabelle 15:	Explizite Einstellung: Voraussetzungen für Tests auf Gruppenunterschiede	40
Tabelle 16:	Voraussetzungen für t-Tests für unabhängige Stichproben	42
Tabelle 17:	Explizite Einstellung: Voraussetzungen für Tests auf Gruppenunterschiede	42
Tabelle 18:	Kodierung der Antworten auf die offene Frage „ <i>Welche gesundheitlichen Wirkungen können VOC-Emissionen aus Bauprodukten haben? Antworten Sie in kurzen Stichpunkten.</i> “	43
Tabelle 19:	Post-hoc-Vergleiche – Ruhephase (Expositionsdauer) x Expositionsbefindungen	71
Tabelle 20:	Ergebnisse des Fragebogens	89
Tabelle 21:	Beschreibung der beiden Versuchsgruppen hinsichtlich Alter, Geschlecht und Persönlichkeitsmerkmalen	91
Tabelle 22:	Beschreibung der beiden Versuchsgruppen hinsichtlich Alter, Geschlecht, NRS und OAS	95
Tabelle 23:	Vergleich zwischen der Onlinevorstudie zur Videovalidierung und dem Hauptversuch <i>Psychologischer Kontext</i> bezüglich der expliziten Einstellungen der Versuchspersonen zur gesundheitlichen Wirkung von Gerüchen aus Bauprodukten	96
Tabelle 24:	Korrelationskoeffizienten und Signifikanzen zwischen VOC-Konzentrationen und Lagerdauer der Gerüche nach dem Abfüllen (n = 17)	98

Tabellen im Anhang

Anhang Tabelle 1:	Analysierte VOC und interner Standard	119
Anhang Tabelle 3:	Transkript des NOCEBO- und PLACEBO-Videos	125
Anhang Tabelle 4:	Transkript des Aufklärungsvideos	126
Anhang Tabelle 5:	Bewertung der Gesundheit einzelner Wörter (5-stufige Bewertungsskala, 1 = „ungesund“, 3 = „neutral“, 5 = „gesund“)	127

1 Einleitung

Die Intention des Projekts Wood for Good (W4G) besteht darin, die Auswirkungen der freigesetzten flüchtigen organischen Verbindungen (engl. volatile organic compounds, VOC) von Werkstoffen, Bau- und Innenausbaumaterialien aus Holz auf das psychische und physiologische Befinden sowie auf die sensorischen Empfindungen von Menschen zu analysieren und zu verstehen. Für Emissionen aus Bauprodukten empfiehlt der Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) eine sensorische Bewertung um so (a) vor „unzumutbare[r] Belästigung“ durch die chemosensorische Wahrnehmung zu schützen und (b) die Qualität der Innenraumluft durch geruchsfreie Materialien zu optimieren. Wird die Luftprobe aus einer Prüfkammer mit einer Geruchsintensität von über 7 pi (pi: empfundene Intensität, engl. perceived intensity) bewertet, so sei gemäß dem AgBB-Beurteilungsmaßstab mit einer „unzumutbare[n] Belästigung“ zu rechnen (AgBB 2024). Die Geruchsintensität beschreibt jedoch nur eine Dimension der Bewertung von Gerüchen, die Hedonik (angenehm – unangenehm) stellt eine weitere essenzielle Bewertungsdimension dar (Khan et al. 2007), die für die Wirkung von Gerüchen auf den Menschen relevant ist. Vor allem positive Wirkungen eines Geruches auf Gehirn und Psyche sind eng mit dieser Bewertungsdimension assoziiert (Joussain et al. 2014). Holz wird in der europäischen Bevölkerung generell als positiv bewertet (Rametsteiner et al. 2007), wobei nicht bekannt ist, welche Wahrnehmungsebenen für diese positive Bewertung verantwortlich sind und ob neben dieser positiven Bewertung auch gesundheitsförderliche Wirkungen von Holz ausgehen. Das Projekt soll daher die Wirkungen des Geruchs, der durch holztypische VOCs ausgelöst wird, betrachten. Dies ist vor allem im Zusammenhang mit der sensorischen Bewertung von Holzemissionen relevant. Es ist jedoch zu vermuten, dass Holz vor allem dann positive Wirkungen entfalten kann, wenn es mit allen Sinnen wahrgenommen wird. Hier ist wahrscheinlich die visuelle Wahrnehmung von Holz von essentieller Bedeutung. Die ganzheitliche Wahrnehmung von Holz und Holzprodukten führt möglicherweise zu den bisher kaum systematisch untersuchten Wirkungen von holztypischen VOCs. Auch bei der Einhaltung von Richtwerten in Innenräumen und nach einer erfolgreichen sensorischen Bewertung von Holzbauprodukten, können Holz-VOCs chemosensorisch wahrgenommen werden und auf den Menschen wirken. Welche akuten und ggf. gesundheitsrelevanten Wirkungen auf den Menschen entstehen, ist für Holz-VOCs nicht bekannt. Ein gezielter Einsatz von Holzprodukten im Innenraum kann somit womöglich zu einer positiven Wahrnehmung im Wohn- oder Arbeitsumfeld beitragen.

1.1 Stand der Wissenschaft und Technik

In früheren Studien wurde gezeigt, dass eine Holzumgebung die Aktivität des autonomen Nervensystems des Menschen beeinflusst und Stress abbaut (Übersicht von Burnard und Kutnar 2015). Im Allgemeinen scheint Holz einen positiven Effekt auf die Bewohner zu haben. Insbesondere nach der Arbeit haben Menschen gezeigt, dass sie in holzbetonen Umgebungen (Holzkontext) mehr positive Gefühle haben als in nicht-hölzernen Umgebungen (Zhang et al. 2016). Es wurden deutliche Unterschiede in Bezug auf die Gefühle "Anspannung", "Depression" und "Kraft" zwischen den Umgebungen gezeigt. In holzbetonen Umgebungen fördern positive Veränderungen in der Aktivität des Nervensystems, des Gehirns, des endokrinen Systems und des Immunsystems das Wohlbefinden (Ikei et al. 2017).

Darüber hinaus beeinflussen Innenräume aus Holz die Innenraumqualität (IEQ). Es wurde geschätzt, dass die Verbesserung der Gesundheit der Raumnutzer und die Verringerung des Stresses durch die Verbesserung des IEQ siebenmal mehr wirtschaftliche Vorteile bringen können als die Reduzierung des Energieverbrauchs oder anderer Investitionskosten über die 50-jährige Lebensdauer eines Gebäudes (Kats et al. 2003). Holz nimmt als hygroskopisches Material Feuchtigkeit auf, gibt sie ab und stabilisiert somit die Raumfeuchtigkeit. Das Energieeinsparpotenzial aufgrund dieser Hygroskopizität ist, basierend auf der Anforderung einen Raum mit stabiler Feuchtigkeit zu beheizen, bemerkenswert (Nore et al. 2017). Die Art und Weise, wie Menschen ihre Umwelt wahrnehmen und mit ihr interagieren, kann sich auf ihr Wohlbefinden, Stressniveau und die allgemeine Gesundheit auswirken (Wade und Tavris 2000). Diese Auswirkungen der physikalisch-chemischen Umgebung und

des Verhaltens haben einen erheblichen Einfluss auf den Komfort und die Produktivität der Raumnutzer (Al Horr et al. 2016) und zeigen die finanziellen und gesundheitlichen Vorteile eines gesunden Innenraumklimas. Die Steigerung des Wohlbefindens in Innenräumen wirkt sich positiv auf die Verringerung von Fehlzeiten und Krankenstand in Arbeitsumgebungen aus (Edwards und Torcellini 2002). Die Arbeitsproduktivität kann durch Optimierung des Tageslichteinfalls in einem Gebäude um 15 % gesteigert werden (Figueiro et al. 2002, Browning und Romm 1994). Burnard und Kutnar (2015) kommen in ihrer Publikation zu dem Schluss, dass die Verwendung von Holz im Innenbereich einen erholsamen Nutzen und positive Auswirkungen auf die Gesundheit für die Nutzer/Bewohner darstellt. Sie weisen jedoch auch darauf hin, dass aufgrund der geringen Anzahl und Größe der vorhandenen Datensätze weitere Untersuchungen erforderlich sind. So trägt das Projekt weiter zum aktuellen Verständnis bei, wie der Geruch von Holz und Holzprodukten wahrgenommen und verarbeitet wird und welche Rahmenbedingungen, also der Kontext der Geruchswahrnehmung oder Informationen über Holz-VOCs, die möglichen positiven und negativen Wirkungen beeinflussen können. Die Ergebnisse besitzen auch Relevanz für Richtwerte in Innenräumen, da relevante Szenarien experimentell untersucht werden und dabei, neben sensorischen Irritationen, auch Aspekte des Wohlbefindens und der Entspannung untersucht wurden. Basierend auf den Ergebnissen können die geruchliche Wirkung und die Manipulierbarkeit der Geruchswirkung dargestellt werden und Hinweise auf deren Einfluss auf genormte Geruchsprüfungen gegeben werden.

In erster Linie emittieren Holz und Holzwerkstoffe flüchtige Extrakte (Primäremissionen), die vor allem den Raumgeruch beeinflussen. Hier hat sich gezeigt, dass einzelne VOC aus Holz positive Auswirkungen auf die Gesundheit haben. VOCs, die von Innenwänden aus japanischer Zeder emittiert werden, können eine physiologisch messbare Entspannung bewirken (Matsubara und Kawai 2014), während der Duft von Kiefernholz, insbesondere Terpene, die Funktion des Immunsystems verbessern kann (Li et al. 2006). Eine olfaktorische Stimulation mit D-Limonen (einer der VOC von Kiefern) kann physiologische und psychologische Entspannung bewirken (Joung et al. 2014). Andererseits wird angenommen, dass einige flüchtige Bestandteile des Holzes, wie die Aldehyde Hexanal und 2-Octenal (sekundäre Emissionen), schärfere und unangenehme Wahrnehmungen hervorrufen. Diese Wahrnehmungen basieren auch auf der Stimulation von Trigeminus-Nervenfasern und stehen im Zusammenhang mit sensorischer Reizung, einem hochrelevanten Endpunkt bei der Regulierung von Chemikalien im Arbeitsumfeld (Brüning et al. 2014). Aus diesen, rein sensorischen Effekten, können sich manifeste Reizungen der Schleimhäute durch hohe und langandauernde VOC-Expositionen entwickeln.

Die kommerziell vorherrschenden Holzarten sind vornehmlich Nadelhölzer wie Kiefer und Fichte und zunehmend Laubholzarten wie Buche, Birke und Eiche. Die wichtigsten flüchtigen Bestandteile von Nadelholz sind Terpene (v. a. α -Pinen) aus dem Oleoresin des Kiefernholzes (*Pinus sylvestris* L.) oder zu einem geringeren Ausmaß der Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.). Sekundäre Emissionen sind Stoffe, die nicht Teil der Holzextrakte sind, jedoch aufgrund chemischer Reaktionen entstehen und zu einem späteren Zeitpunkt oder je nach Holzbehandlung, wie Temperatur und Trocknungszeit, emittieren können. Typischerweise entsteht ein höherer Gehalt an Aldehyden (v. a. Hexanal) in Kiefernholz durch Autoxidationsprozesse aus Fettsäuren (Makowski et al. 2005). Hemicellulosen können auch hydrolysiert werden, was zu einer höheren Emission von Essigsäure (insbesondere bei Laubhölzern) führen kann. Unbehandeltes Holz bzw. Massivholz emittiert typischerweise niedrige Formaldehydkonzentrationen im Bereich von 0,005 bis 0,02 ppm (Meyer und Böhme 1997), aber die Verklebung von Werkstoffen mit Harzen auf Formaldehydbasis erhöht in der Regel die Konzentration in der Raumluft. Diese verschiedenen Substanzen tragen zur VOC-Emission (VOC-Profil) und zum Geruch der Endprodukte bei. Die VOC-Profilen variieren je nach Holzart und Prozessbedingungen (Ohlmeyer et al. 2008). Holz emittiert jedoch nicht nur VOCs, Holzprodukte können auch Substanzen aus der Umgebungsluft, teilweise auch Luftschadstoffe, adsorbieren.

Die genauen physiologischen und psychologischen Mechanismen der Wirkung von Holz auf den Menschen sind aufgrund der begrenzten Anzahl experimenteller Studien mit Holzgebäuden in realer Größe noch wenig verstanden (Dematté et al. 2018). Bisherige Studien zeigen jedoch mehrere positive Wirkungen von Holzräumen gegenüber nicht-Holzräumen auf physiologische (z. B. Herzfrequenzvariabilität, Blutdruck, Hautleitfähigkeit), kognitive (anhaltende Aufmerksamkeit, positive Einstellungen) und affektive (Stimmungsreaktionen)

Reaktionen. Umweltpsychologische Theorien der „Attention Restoration“ (ART) und der „Stress Reduction“ (SRT) legen nahe, dass der Stressabbau in natürlichen Umgebungen (z. B. Parks und Grünflächen, aber auch in Holzräumen) sowohl durch a) die Wiederherstellung von Aufmerksamkeit als auch durch b) sofortige Stressentlastung erfolgt in Verbindung mit der Verringerung physiologischer und affektiver Reaktionen sowie weiterentwickelten affektiven, kognitiven und Verhaltensreaktionen (Hartig et al. 2014). All dies trägt zu einem besseren Wohlbefinden nach Natureinwirkung bei, hauptsächlich verbesserter Aufmerksamkeitsleistung, besserer Stimmung und Vitalität, gesteigerter Arbeitszufriedenheit und prosozialem Verhalten. Der Geruch von Holz, also die charakteristischen VOC-Emissionen, werden immer als eine Ursache dieser positiven Effekte diskutiert. Es gibt aber nur sehr wenige, gut kontrollierte Experimente, die ausschließlich die Holz-VOC Wirkungen ohne den entsprechenden visuellen oder haptischen Kontext auf den Menschen untersucht haben. Beispielsweise beschäftigten sich Michels et al. (2023) in einer Experimentalstudie mit der Stressreaktion und untersuchten den Einfluss von u. A. Kiefernholz VOCs (Scots pine essential oil (Ladrôme)) auf akute Stressparameter und Essverhalten der Versuchspersonen. Die Ergebnisse zeigten ein uneinheitliches Muster mit einem niedrigeren Cortisolspiegel (Stressindikator) in den mit Geruch exponierten Versuchspersonen der Kontrollbedingung. Jedoch zeigte sich kein Unterschied in Versuchspersonen der Stressgruppe und den subjektiven Stressbewertungen. Somit könnte Kiefernholz bei nicht-gestressten Menschen eine Relaxation noch weiter vertiefen. Für die Effekte auf akute Stressreize sollten laut den Autoren zukünftige Studien mögliche Zusammenhänge replizieren und weiter beleuchten. Anzumerken ist auch, dass nur wenige der Versuchspersonen angegeben haben den Geruch erkannt zu haben. Möglicherweise ist das Erkennen des Geruchs notwendig, um eine stressreduzierende Wirkung bei akutem Stress zu erzeugen. Zusätzlich wurde ein ätherisches Öl zur Geruchsstimulation verwendet, was zum einen das Erkennen erschwert haben könnte und zum anderen einen anderen Einfluss auf eine akute Stressreaktion haben könnte als das VOC-Profil von echtem Holz. Dies verdeutlicht die komplexe Wirkungsweise von Gerüchen auf den Menschen und untermauert die Notwendigkeit für weiterführende Studien, um diese Mechanismen aufzudecken.

Vertieften Aufschluss bieten dabei elektrophysiologische Studien, wie beispielsweise die Messungen der Gehirnaktivität mittels Elektroenzephalographie (EEG). In einem EEG-Experiment betrachteten Nakashima et al. (2023) den Effekt von Holzemissionen auf ereigniskorrelierte Potentiale (EKP) in einem Within-Subject-Design. Hierzu bauten sie zwei optisch identische Testhäuser, eines aus Zedernholz und das andere aus Holzwerkstoffen mit Holzdekorfolie, das eine Zedernholzumgebung vortäuschte. Gaschromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung zeigte einen höheren Terpenanteil im Haus aus Zedernholz. In beiden Testhäusern nahmen die Versuchspersonen an einem visuellen Oddball-Experiment teil, der bekanntermaßen klassische visuelle EKP P1, P3b und occipitale Negativität an den Parieto-Occipitalen Elektroden evoziert. Auf Verhaltensebene (Reaktionszeiten und Fehler) zeigten sich keine signifikanten Effekte zwischen den Häusern. Auch Amplitude oder Latenz der P1 und P3b unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Bei der occipitalen Negativität ergaben sich mehrfach-Interaktionen mit Haus als Faktor für seltene visuelle Oddball-Reize. Dieser Effekt wurde interpretiert, dass die Zedernholz-VOCs die Detektion von seltenen visuellen Stimuli verbessert, dies jedoch auf einer unbewussten und automatisierten Ebene.

Nakayama et al. (2021) untersuchten den Effekt von VOCs (TVOCs) auf subjektive (Fragebögen) und objektive (EEG) Parameter von Entspannung. TVOCs wurden in zwei optisch identischen Laborhäusern (LH) gemessen. LH-A entsprach einer klassischen japanischen Holzbauweise und wies einen hohen TVOC auf. LH-B, was hauptsächlich aus leichter Stahlbauweise bestand, wies einen niedrigen TVOC auf. In einem Between-Subject-Design verbrachten die Versuchspersonen 90 Minuten in einem der beiden Häuser. In dieser Zeit füllten sie Fragebögen bezüglich subjektiver Entspannungsparameter aus und während drei verschiedener Tests wurde ein EEG abgeleitet (Gedächtnis, Rechenaufgaben, Ruhephase). Im Fokus der EEG-Analyse standen das Alpha-Band während der Ruhephase und die prozentuale Veränderung im Alpha- und Beta-Frequenzband von der Ruhe zur Gedächtnis- und Rechenaufgabe als Marker für objektives Entspannungsmaß. Es ergaben sich signifikante Unterschiede in subjektiven und objektiven Parametern zwischen LH-A und LH-B mit der Interpretation einer

höheren Entspannung in LH-B. Es wurde also gezeigt, dass objektiv betrachtet ein Haus mit niedriger TVOC-Konzentration einen höheren Entspannungswert bietet.

Aus diesen Studien kann jedoch häufig nicht abgeleitet werden, ob der Holzgeruch, die visuelle Wahrnehmung von Holz oder deren Kombinationen zu den beobachteten Effekten geführten haben. In der wissenschaftlichen Literatur fehlen Untersuchungen, die systematisch betrachtet haben, welchen Einfluss die verschiedenen Wahrnehmungsmodalitäten auf die Wahrnehmung und Wirkung von Holz haben.

Zu hohe VOC-Konzentrationen verschiedener Holzarten können Reizungen, vor allem sensorische Irritationen, verursachen, die insbesondere das Epithel der Atemwege betreffen, einschließlich der Nase, Bronchien und Lunge, aber auch die Bindegäute der Augen. Darüber hinaus wird angenommen, dass Gerüche eine ausgezeichnete Methode zur Stimmungsinduktion (z. B. Entspannung) sind, da das Riechsystem Teile des Gehirns beeinflusst, die für Erinnerungen und Emotionen verantwortlich sind. Die Auswirkungen einiger holztypischer VOCs auf das Nervensystem können auch durch direkte Wirkungen auf die Neurotransmission, d. h. über einen pharmakologischen Wirkmechanismus erklärt werden. So zeigte eine kürzlich an Mäusen durchgeführte Studie, dass α -Pinen die EEG-Muster während des Schlafes verändert (Yang et al. 2016). Dieser neurophysiologische Befund weist darauf hin, dass dieses Kiefernholzterpen die Schlafqualität von Mäusen verbessert. Die pharmakologischen Mechanismen sind noch nicht vollständig geklärt, und ein tieferer Einblick in die neurophysiologischen Wirkungen von VOC-Gemischen ist erforderlich, die für Innenumgebungen aus Holz von großer Bedeutung sind. Die Rolle der Holzgerüche bei menschlichen Empfindungen und Wohlbefinden ist noch zu analysieren, um die physiologischen und psychologischen Reaktionen auf riechbare, aber nicht sichtbare Holzemissionen zu bestimmen (Kontexteffekt). Diesen wenig erforschten, aber womöglich positiven oder gesundheitsförderlichen Effekten von Holz-VOCs stehen jedoch unterschiedliche Daten (vor allem aus tierexperimentellen Studien) gegenüber, die gesundheitsschädliche Effekte für verschiedene VOCs berichten. Die Verwendung von Holzprodukten im Baubereich wird teilweise durch die Annahme eingeschränkt, dass von den Emissionen der Holzprodukte eine negative gesundheitliche Wirkung (Toxizität) ausgeht. Aus diesem Grund gelten in Innenräumen zwei unterschiedliche Richtwerte, die aus toxikologischen Daten zu einzelnen Chemikalien oder Stoffgruppen (z. B. bipyklische Terpene) abgeleitet werden. Dabei unterscheiden sich der Richtwert I (RW I) und der Richtwert II (RW II) ausschließlich durch die relevanten Extrapolationsfaktoren gemäß des Basisschemas der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte 2012), die bei der Ableitung vom sog. Point of Departure (POD, eine Konzentrationsangabe, bei der keine Toxizität beobachtet wurde) Anwendung finden. So liegt der RW I in der Regel um den Faktor 10 unter dem RW II. Diese extrapolierten Richtwerte können den potenziellen wirtschaftlichen Wert von Holzprodukten im Baubereich reduzieren. Dabei gilt zu berücksichtigen, dass bislang kein System besteht, dass eindeutig von den Emissionen des Bauproduktes auf die VOC-Konzentration im Innenraum schließen kann. Dies hängt damit zusammen, dass vielfältige Faktoren (klimatische Bedingungen, Materialinteraktionen etc.) im Innenraum wirken, welche die VOC-Zusammensetzung der Innenraumluft beeinflussen. Nichtsdestotrotz zeigen Studien, dass Richtwertüberschreitungen (RW I) von einzelnen VOC auftreten, die auch auf Holzprodukte zurückgeführt werden können. Aus Gründen der Vorsorge wird empfohlen bereits im Konzentrationsbereich von RW I und RW II technische oder bauliche Maßnahmen zu ergreifen oder das Nutzerverhalten zu verändern. Allerdings stellt nur der RW II einen wirkungsbezogenen Wert dar, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes unter Berücksichtigung von Unsicherheitsfaktoren stützt. Dementsprechend stellt sich die Frage, inwieweit der Konzentrationsbereich zwischen RW I und RW II als gesundheitlich kritisch bewertet werden sollte. Dabei können wissenschaftliche Erkenntnisse über die neurophysiologischen Mechanismen, die den positiven Auswirkungen natürlicher Holzemissionen zugrunde liegen, genutzt werden, um diesen Konzentrationsbereich neu zu bewerten.

Um eine zufriedenstellende Innenraumluftqualität zu gewährleisten, hat der Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) Richtwerte für Einzelstoffe (Tabelle 1) und Richtlinien für Summenkonzentrationen flüchtiger organischer Verbindungen (TVOC) (Tabelle 2) sowie Empfehlungen für Maßnahmen bei Überschreitung der Werte festgelegt (Fromme et al. 2019). Die Richtwerte wurden auf der Grundlage toxikologischer Daten und Überlegungen

abgeleitet, während es sich bei TVOC um einen Referenzwert handelt, der statistisch aus Konzentrationen abgeleitet wurde, die in einer Referenzpopulation aus den Jahren 1985/86 gemessen wurden (Umweltbundesamt 2007). Eine kritische Bewertung dieser Werte findet sich in Salthammer (2011) und Salthammer (2022). Der RW I gilt als Zielwert, der langfristig unterschritten werden sollte. Der Konzentrationsbereich zwischen RW I und II gilt bereits als unerwünschte Kontamination, bei der Maßnahmen wie z. B. eine verstärkte Lüftung ergriffen werden sollten (Fromme et al. 2019).

Im Allgemeinen liegen die Konzentrationen der in Tabelle 1 aufgeführten Stoffe in Innenräumen überwiegend unter RW I (Birmili et al. 2022, Umweltbundesamt 2003). Die Emissionen von Holzprodukten, die als Baumaterialien verwendet werden, können zu gelegentlichen Überschreitungen von RW I beitragen (Fürhapper et al. 2020). Dies ist insbesondere nach Renovierungen von Gebäuden oder in neu gebauten Häusern der Fall, da in der Regel zunächst hohe Emissionen beobachtet werden, die mit der Zeit abnehmen (Makowski et al. 2005, Umweltbundesamt 2003, Fürhapper et al. 2020, Wallner et al. 2015). Die Emissionen können aber auch durch jahreszeitliche Schwankungen der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit und der Luftwechselraten innerhalb des Gebäudes ansteigen (Salthammer 2022, Schlink et al. 2004, Langer et al. 2016).

Tabelle 1: Auswahl an Richtwerten (RW I und RW II) für die Innenraumluft für VOCs, die potenziell von Holzprodukten emittiert werden

	RW I (mg m ⁻³) ^a Vorsorgerichtwert	RW II (mg m ⁻³) ^a Gefahrenrichtwert	Ableitung von RW I ^b
Σ Bicyklische Terpene (α-Pinen, β-Pinen, 3-Caren)	0,20	2,0	F: 10 (Sagunski und Heinrich 2003) ^d
Σ Monozyklische Monoterpen (Limonen)	1,0	10	F: 10 (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte 2010b) ^d
Σ C ₉ -C ₁₅ Alkylbenzole (z. B. p-Cymol)	0,10	1,0	F: 10 (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte 2012a) ^e
Σ C ₄ -C ₁₁ Aldehyde (gesättigt, azyklisch, aliphatisch)	0,10	2,0	F: 20 ^c (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte 2009) ^d
2-Furaldehyd	0,010	0,10	F: 10 (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte 2011) ^d
Benzaldehyd	0,020	0,20	F: 10 (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte 2010a) ^d
Ethansäure	1,3	3,7	NOAEC (AIR 2023b) ^e

^a Konzentrationen entsprechen den Rundungsregeln für Innenraumrichtwerte des AIR (AIR 2020)

^b F = Ableitung von RW II durch Anwendung eines zusätzlichen Faktors (F), NOAEC = Ableitung von der NOAEC (*no observed adverse effect concentration*)

^c Zusätzlicher Unsicherheitsfaktor (2), der die geringe Geruchswahrnehmungsschwelle der höheren Aldehyde sowie den zum Teil unangenehmen Geruchseindruck berücksichtigt

^d Ableitung gemäß Basisschema 1996 (Ad-hoc-Arbeitsgruppe IRK/AGLMB 1996): Ableitung von RW II durch Anwendung eines zusätzlichen Faktors 10 (= Konvention). Bei geruchsintensiven Substanzen zusätzliche Berücksichtigung von Geruchswahrnehmungsschwellen.

^e Ableitung gemäß Basisschema 2012 (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte 2012b): Ableitung von der NOAEC oder durch Anwendung eines zusätzlichen Faktors (normalerweise 3 bis 10)

Quelle: eigene Darstellung nach den o. g. Quellen

Tabelle 2: TVOC-Konzept zur Bewertung der Innenraumluft

Stufe	TVOC-Konzentration (mg m ⁻³)	Hygienische Bewertung ^a
1	≤ 0,3	Hygienisch unbedenklich (Zielwert)
2	> 0,3 – 1	Hygienisch noch unbedenklich
3	> 1 – 3	Hygienisch auffällig
4	> 3 – 10	Hygienisch bedenklich
5	> 10	Hygienisch inakzeptabel

^a Die Empfehlungen gelten unter der Voraussetzung, dass die Richtwerte von Einzelstoffen nicht überschritten werden

Quelle: Umweltbundesamt (2007), Fromme et al. (2019)

Zusammenfassend kann ein Wissensdefizit konstatiert werden, was (a) die multisensorische, ganzheitliche Wahrnehmung von Holz und Holzprodukten in Innenräumen angeht, (b) die positiven und möglicherweise gesundheitsförderlichen Effekte von Holz bzw. Holz-VOCs sowie deren Modulation betrifft und (c) welche akuten chemosensorischen oder psychophysiologischen Effekte bei Holz-VOC-Expositionen in Höhe der Richtwerte I und II für mehrere Stunden tatsächlich beobachtet werden können. Die verschiedenen Arbeitspakete des Projekts dienen dazu, diese Defizite zu verringern.

1.2 Ziele des Vorhabens

Spezifische VOC-Emissionsprofile, die unterschiedliche Zusammensetzungen und Konzentrationen von VOCs enthalten, werden vom menschlichen Geruchssinn unterschiedlich wahrgenommen und verursachen entweder angenehme oder unangenehme Empfindungen und in einigen Fällen – vor allem in höheren Konzentrationen – treten sensorische Reizungen auf. Der Geruchssinn unterscheidet sich grundsätzlich von den anderen Sinnen des Menschen. So projiziert das olfaktorische System neuroanatomisch betrachtet direkt in die Strukturen des Hippocampus und in limbische Hirnstrukturen. Dadurch können Gerüche besonders gut positive Stimmungszustände (z. B. Entspannung), aber auch negative und ablenkende Gefühle (z. B. Ärger und Ekel) induzieren (Alaoui-Ismaïli et al. 1997). Es wird vermutet, dass VOC-Gemische verschiedener Holzarten in realistischen Konzentrationen positive Stimmungen hervorrufen können, begleitet von spezifischen EEG-Antworten, deren Induktion durch einen kongruenten visuellen Kontext erleichtert bzw. verstärkt wird.

Ziel ist die Bewertung der Wirkung von VOC-Profilen verschiedener Holzarten und Konzentrationen hinsichtlich olfaktorischer Effekte auf die allgemeine sensorische Wahrnehmung, Stimmung und charakteristische Muster im EEG. Diese rein chemische Darstellung von Holz wird von kongruenten visuellen Hinweisen (d. h. Bildern von Holz) oder neutralen Hinweisen (d. h. Bildern von anderen Baumaterialien) begleitet. Damit können die ganzheitlichen Wirkungen der multisensorischen Holzwahrnehmung demonstriert werden.

Darüber hinaus werden die VOC-Profile von Kiefernholz bei realistischen Innenraumkonzentrationen im Bereich des RW I und II getestet, um diesen „Sicherheitsspielraum“ für Holzprodukte im Innenraumbereich hinsichtlich der Auslösung sensorischer Irritationen systematisch zu untersuchen und dabei auch mögliche Geruchseffekte zu erfassen. Ein Mehrebenenansatz (Kleinbeck et al. 2008) wird verwendet, um mit etablierten Verfahren zu prüfen, ob bei Versuchspersonen eine sensorische Reizung durch die Aktivierung trigeminaler Chemorezeptoren (z. B. Augenrötung, Proteinveränderung der Nasallavage etc.) im Übergangsbereichen zwischen diesen Richtwerten verursacht werden. Durch diese realitätsnahe Simulation der geruchlichen Innenraumbedingung im Expositionslabor können Informationen über die sichere und vorteilhafte Verwendung von Holzprodukten erhalten werden. Auch kurzzeitige Anpassungseffekte (Gewöhnung) werden betrachtet, um die chemosensorischen Reaktionen des Menschen auf diese VOC-Profile zu untersuchen.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse dieses Vorhabens sollen zu der Diskussion beitragen, inwieweit eine Geruchsbewertung von Holzprodukten einen Mehrwert für die regulatorische Betrachtung haben. Hier steht die

Produktbewertung und damit die Geruchsprüfung nach dem AgBB-Schema im Fokus. Aber auch die geruchliche Bewertung von Innenräumen bzw. die Berücksichtigung von Geruchsfaktoren für die Festlegung von Richtwerten ist hierbei von Bedeutung.

1.2.1 Teilziel (IfADo): neurophysiologische und chemosensorische Effekte durch repräsentative VOC-Gemische

Ziel war die Bereitstellung von Daten aus experimentellen Studien, die es ermöglichen Wirkungen von Kiefernholz-VOCs, also überwiegend den Holzgeruch, auf der neurophysiologischen Verarbeitungsebene zu messen sowie weitere chemosensorische Effekte (u. a. trigeminale Chemorezeption) zu erfassen.

Im ersten Arbeitspaket lag der Fokus auf der multisensorischen Integration der Geruchsreize im Rahmen eines passenden Holz-Kontexts. Die grundlegende Frage war, ob der Holzgeruch im passenden Kontext effektiver verarbeitet und angenehmer bewertet wird als ohne passenden Kontext. Dies dient der besseren Einordnung der isolierten Bewertung von Geruchsstoffen, wie in diesem Fall der Holz-VOCs, ohne den visuellen Kontext oder andere multisensorische Einflüsse zu berücksichtigen, die bei Bauprodukten oder im Innenraum häufig vorhanden sind, wobei teilweise nicht erkennbar ist, dass Holz verwendet bzw. verbaut wurde und der Geruch nicht eindeutig seiner Quelle zugeordnet werden kann. Diese Fragestellung wurde durch Elektroenzephalographie (EEG) Messungen begleitet, um die neurokognitive Verarbeitung zu erfassen und Verarbeitungsschritte sowie -Unterschiede zu quantifizieren.

Im zweiten Arbeitspaket richtete sich das Augenmerk besonders auf die detaillierte Untersuchung möglicher Effekte von Holz-VOCs in Konzentrationen der RW I und RW II. Diese Richtwerte können ggf. die Verwendung von Holzmaterial einschränken, obwohl häufig wenige und v. a. wenig belastbare Humandaten zu akuten Effekten, insbesondere sensorischer Irritation oder Geruchsbelästigungen, in diesen Konzentrationen vorliegen. So werden für α -Pinen erst bei 450 mg m^{-3} schwache sensorische Irritationen berichtet (Falk et al. 1990), der RW II für bizyklische Terpene liegt allerdings bei 2 mg m^{-3} . Außerdem stehen häufig nur negative, chronische Effekte von VOC-Wirkungen im Vordergrund der Richtwertableitung, die in sehr hohen Konzentrationen oder tierexperimentellen Studien gefunden wurden. In der Wohn- oder Arbeitsumgebung von Menschen wird Holz auch eine positive Wirkung auf das Wohlbefinden, die Stimmung, physiologische Parameter und kognitive Leistung zugeschrieben (Bentley et al. 2023, Lipovac und Burnard 2021). Es wurden bislang weder die positiven noch die negativen Auswirkungen von Kiefernholz-VOCs auf Gesundheit und Befinden systematisch und kontrolliert in einem experimentellen Setting untersucht. Im Vorhaben wurden daher gezielt die Einflüsse auf der Ebene des Erlebens (akute Symptome, Geruchs- und Reizempfindungen), der (neuro)physiologischen Ebene (EEG, EKG, Reiz- vs. Entspannungsindikation) und kognitiven Leistungsfähigkeit (Arbeitsgedächtnis) mit standardisierten Verfahren erfasst.

1.2.2 Teilziel (Thünen): sensorische Prüfung nach standardisierten Methoden mit und ohne Kontextbezug

Die sensorische Prüfung von Bauprodukten wird derzeit nach nationalen und internationalen Ansätzen durchgeführt – zumindest in Deutschland ist dies ein (freiwilliger) Testparameter für die gesundheitsbezogene Bewertung von Bauprodukten (AgBB 2024) und erfolgt gemäß DIN ISO 16000-28:2021. Die Geruchsprüfung gilt als bestanden, wenn eine bestimmte empfundene Geruchsintensität nicht überschritten wird (AgBB 2024). Wenngleich die Geruchsprüfung von Bauprodukten nicht verpflichtend ist, wird ihre Durchführung und damit die Erhebung der Daten vom Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) empfohlen. Die Frage ist, ob derartige Geruchsprüfungen bezüglich der Gesundheitswirkung eines Produktes einen zusätzlichen Nutzen liefern können, der über die reine analytische Bewertung der VOC-Emissionen hinausgeht.

Nicht nur auf der Produktebene, sondern auch bei der Beurteilung der Innenraumluftqualität gilt der Geruch als Bewertungskriterium. Die Bewertungsgrundlage bilden hierbei die auf Basis von Geruchsschwellen abgeleiteten Geruchsleitwerte (GLW) einzelner Stoffe. Sofern Beschwerden über eine Geruchsbelästigung in einem Innenraum vorliegen und die VOC-Konzentrationen einzelner Substanzen über den GLW liegen, wird davon ausgegangen, dass diese Substanzen für die Geruchsbelästigung ursächlich sind (AIR 2023c). Die Frage ist, ob eine Bewertung von Einzelsubstanzen zielführend wäre.

Zudem können geruchliche Aspekte auch bei der Ableitung der Innenraumrichtwerte eine Rolle spielen, wie beispielsweise bei den gesättigten Aldehyden (Tabelle 1). Zusätzlich zum üblichen Faktor 10, der zwischen RW I und RW II liegt, wird ein weiterer Faktor 2 angewendet, um die geringe Geruchswahrnehmungsschwelle der höheren Aldehyde sowie den zum Teil unangenehmen Geruchseindruck zu berücksichtigen (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte 2009). Die Frage ist, ob bei der Ableitung von Richtwerten geruchliche Aspekte einbezogen werden sollten, wenngleich ein Geruch per se keine Gesundheitsgefahr darstellt.

Im Rahmen des Vorhabens sollte mittels Probandenversuchen untersucht werden, ob sich die Geruchsbewertung (Intensität, Hedonik, Vertrautheit) von Holzprodukten (Nadelholz, Laubholz, Holzwerkstoffe) durch unterschiedlichen visuellen Kontext verändert. Während die Geruchsprüfung normalerweise ohne Kenntnis der Geruchsquelle erfolgt (DIN ISO 16000-28:2021), wurden den Versuchspersonen die Gerüche einmal ohne und einmal mit kongruentem Materialbild präsentiert. In einem weiteren Versuch soll die Information nicht visuell vermittelt werden, sondern einem Teil der Versuchspersonen wurde die Materialquelle genannt, dem anderen Teil der Personen nicht. Vorlieben für bestimmte Materialien haben einen Einfluss auf die psychophysiologischen Antworten auf das Material. Daher beeinflussen Vorlieben auch das Geruchsempfinden. Daneben sollte der Einfluss von Vorinformationen (positive bzw. negative Einstimmung auf die Geruchsdarbietung durch Informationen bezüglich der gesundheitlichen Wirkung von VOC aus Bauprodukten) auf die Geruchsbewertung betrachtet werden, um mögliche Aussagen über Placebo/Nocebo-Effekte zu liefern.

2 Material und Methoden

2.1 Versuch *Elektrophysiologische Reaktionen auf VOC-Gemische*

Das Ziel ist es, die Auswirkungen der Gerüche von flüchtigen Holzstoffen auf das Nervensystem des Menschen zu bewerten. Neuropsychologische Studien mittels EEG können Aufschluss über grundlegende kognitive Prozesse, also die Verarbeitung von Gerüchen im Gehirn, liefern. Sie bieten somit eine vielversprechende Methode, um die Geruchsverarbeitung und den Einfluss vom visuellen Kontext auf die Verarbeitung und resultierende Wahrnehmung zu untersuchen.

Das Arbeitspaket umfasst zwei Experimente. In Experiment 1 wurden Kiefernholzgerüche mit einem entweder passenden visuellen Holzkontext (ein Bild, das Holz zeigt) oder einem nicht passenden visuellen Kontext (ein Bild, das kein Holz zeigt) präsentiert. Experiment 2 diente der Sicherstellung, dass die gefundenen Ergebnisse nicht ausschließlich aus parallel verarbeiteten sensorischen Reizen resultierten. Hier wurde Versuchspersonen ein Zitrusgeruch im Holz und Nicht-Holz-Kontext dargeboten. Die Kombination aus Geruch und Bild war also immer inkongruent und stellte sicher, dass die Ergebnisse aus Experiment 1 eine konzept-gebundene Integration der Reize darstellen. Die Studienprotokolle beider Experimente wurden von der Ethikkommission des IfADo genehmigt (Genehmigungsnummer 192).

2.1.1 Versuchspersonen

Die Versuchspersonen wurden hinsichtlich Teilnahmekriterien telefonisch/per E-Mail gescreent. Zur Teilnahme wurden nur Versuchspersonen eingeladen, auf die keins der Kriterien zutraf:

- Rauchen
- Linkshändigkeit (Edinburgh Handedness Inventory)
- Permanente Frisur wie z. B. Glatze, Dreadlocks, die eine EEG-Erhebung erschweren
- Schwangerschaft
- Drogenkonsum
- Eingeschränkte Geruchsfähigkeit (Sniffin' Sticks Identifikation)
- Krankheiten
 - Migräne
 - Atemwege (z. B. Asthma)
 - chronischen Erkrankungen
 - psychische Erkrankungen
 - neurologische Erkrankungen/Kopfverletzungen
- Unter Absprache:
 - Allergien
 - Einnahme von Medikamenten

Die Beschreibungen der Versuchspersonen können Tabelle 3 entnommen werden.

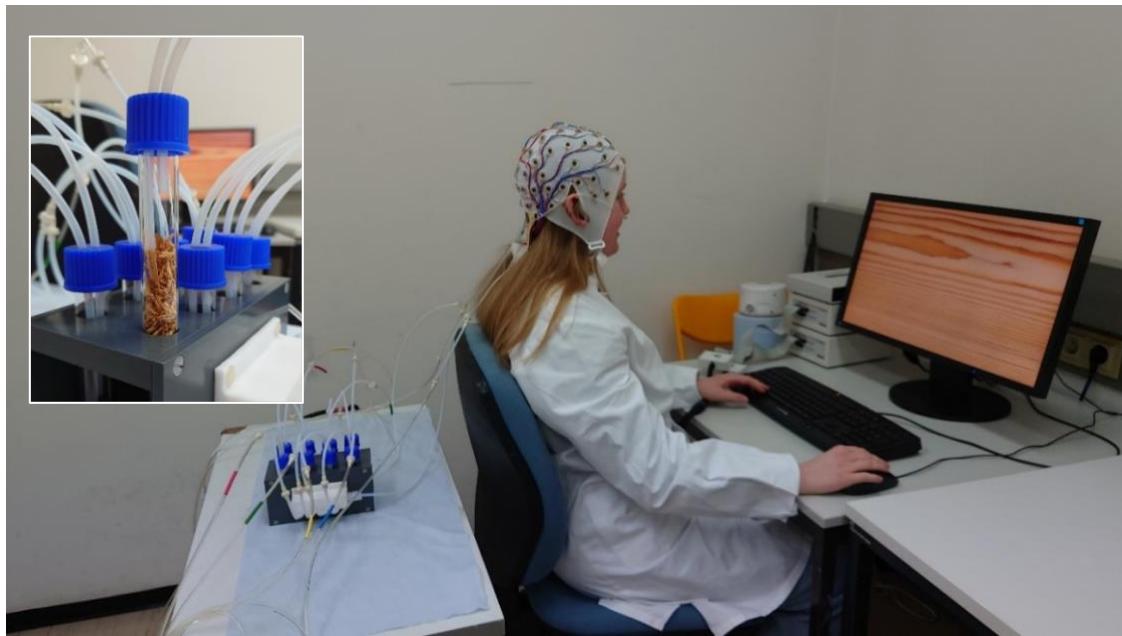
Tabelle 3: Versuchspersonenbeschreibung: EEG-Studie

	Kiefernholz	Citral
N – Teilnahme	27	23
N – Kompletter Datensatz	21	21
Geschlecht	w = 17, m = 4	w = 14, m = 7
Alter	M = 24,00 SD = 4,59	M = 23,19 SD = 4,00
Sniffin' Sicks – Identifikation	M = 11,90 SD = 1,55	M = 12,24 SD = 1,55

Quelle: eigene Darstellung

2.1.2 Geruchsstimulation

Die Gerüche wurden mittels eines Flow-Olfaktometers appliziert (Abbildung 1, NeuroDevice 2.0). Die Pumpe des Olfaktometers leitet kontinuierlich gefilterte Raumluft über Teflon®-Schläuche direkt über eine Nasenbrille in die Nasenlöcher der Versuchspersonen ($2,5 \text{ L min}^{-1}$). Um eine Geruchsprobe zu präsentieren, sendet ein PC-Programm (PsychoPy® v2020.1.3) ein Signal an das Olfaktometer, welches daraufhin den Luftstrom von der Frischluft in zwei 12,5 mL Röhrchen (je 1 pro Nasenloch) umleitet, die den Geruchsstimulus beinhalten. Aus dem Röhrchen wird die mit der Geruchsprobe gesättigte Luft heraus- und über ein Y-Ventil an die Nasenbrille geführt. Sobald die gewünschte Stimulationszeit (1,5 s) abgelaufen ist, schaltet das Olfaktometer zurück auf die Frischluft. Somit kann ein Stimulus nahtlos in den kontinuierlichen Luftstrom eingebettet werden, ohne eine mechanische Veränderung in der Nase herbeizuführen. Diese Art der Stimulation ist für EEG-Untersuchungen essenziell und ermöglicht eine exakte Ableitung von Hirnaktivität, die mit der Geruchsverarbeitung assoziiert ist.

Abbildung 1: Olfaktometer und experimentelles Setup

Versuchsaufbau mit Olfaktometer, welches über Teflon®-Schläuche an die Nasenbrille der Versuchsperson angeschlossen ist und die Gerüche (Kiefernholz – siehe Nahaufnahme – oder Citral) direkt in die Nase appliziert. Die Versuchsperson schaut während der Stimulation auf den PC-Bildschirm, auf dem der visuelle Kontext präsentiert wird. Während des Versuchs werden Spannungsveränderungen auf der Kopfhaut, die indirekt auf Gehirnaktivität zurückzuführen sind, mittels EEG-Elektroden abgeleitet.

Quelle: IfADo/Christine Ida Hucke

2.1.2.1 Kiefernholzgeruch

In Experiment 1 wurden, wie in Abbildung 1 zu erkennen, frische Kiefernholzspäne (*Pinus sylvestris* L.) genutzt, da in Vorversuchen mit synthetischen Mischungen der relevanten Einzelkomponenten (u. a. bizyklische Terpene) diese nicht als holztypischer Geruch wahrgenommen wurden. Die Kiefernholzspäne wurden vom Thünen-Institut in großer Menge bereitgestellt und tiefgefroren bis zum Tag des Versuchs am IfADo aufbewahrt. Somit stammte die Holzprobe jeder Versuchsperson aus der gleichen Charge, um VOC-Variationen zwischen den Personen zu vermeiden. In jedem Röhrchen befand sich 1,7 g Holz. Vor jedem Experimentalblock (siehe Kapitel 2.1.6) wurden die Röhrchen durch frische Proben ersetzt. Als Kontrollbedingung wurde der Luftstrom auf zwei leere Röhrchen umgeleitet (Frischluft).

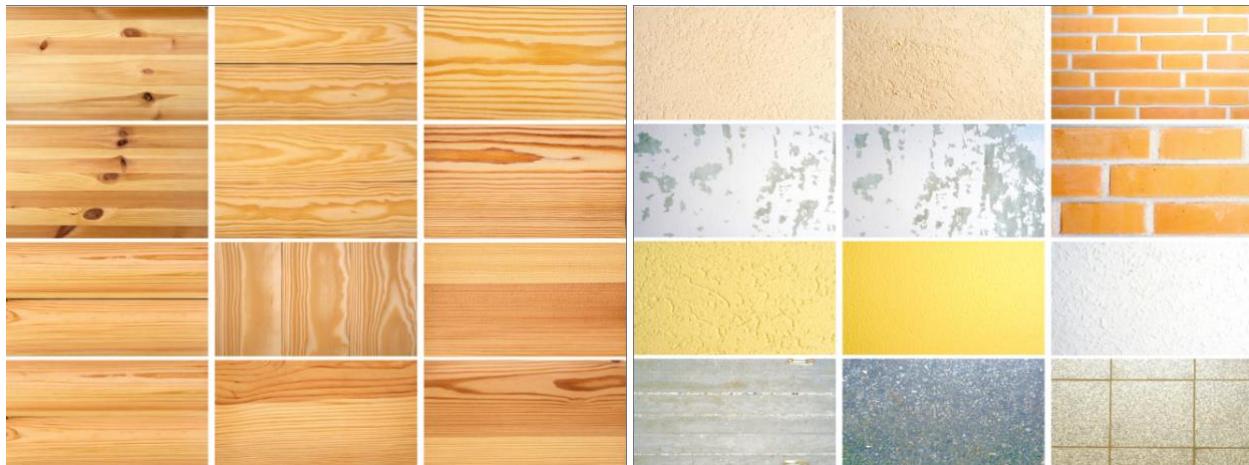
2.1.2.2 Zitrusgeruch

In Experiment 2 war das Ziel einen Geruch zu wählen, der als neutral bis angenehm bewertet wird, sich gut über das Olfaktometer präsentieren lässt, jedoch keine Kongruenz mit dem visuellen Holz-Kontext aufweist. Hierzu wurde in jedes Röhrchen 1 mL Citral gefüllt und über eine mit Löchern, in die je ein Röhrchen passte, versehene Heizplatte auf 37 °C erwärmt, um die Flüchtigkeit zu erhöhen.

2.1.3 Visuelle Stimulation (Kontext)

Der visuelle Kontext wurde durch 24 Fotos von Kiefernholz oder Kontrolltexturen manipuliert (Abbildung 2). Die Bilder wurden hinsichtlich ihres Kontrasts und Luminanz normalisiert. Alle Bilder (27 cm x 27 cm) wurden auf einem 23“ Bildschirm präsentiert (PsychoPy® v2020.1.3). Die Versuchspersonen saßen ca. 60 cm von dem Bildschirm entfernt.

Abbildung 2: Visueller Kontext



Bilder, die den Versuchspersonen randomisiert gepaart mit den Geruchsstimulationen (oder Luft) auf dem Bildschirm präsentiert werden. Diese können entweder einen Holzkontext darstellen (links) oder sind Kontrolltexturen (rechts).

Quelle: Thünen-Institut/Christina Waitkus

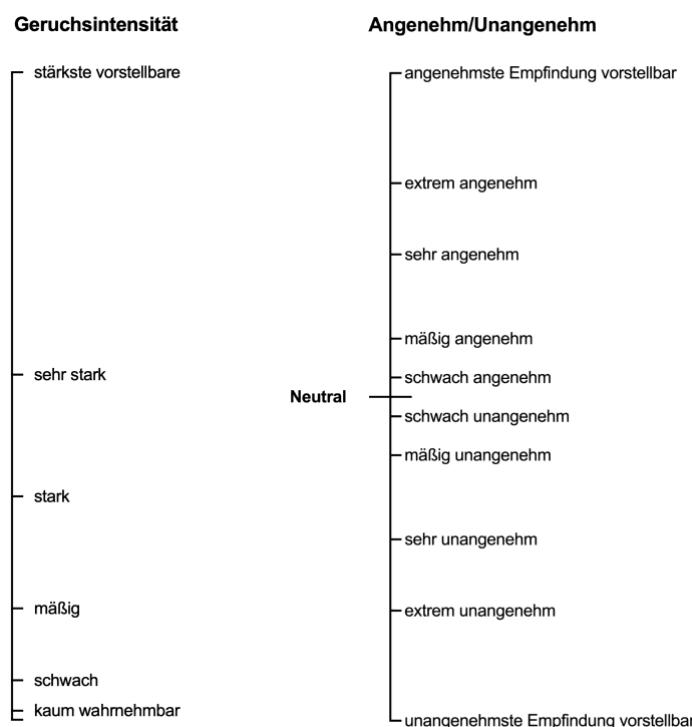
2.1.4 EEG-Messungen

Für die EEG-Ableitung wurde ein 64-Kanal EEG genutzt (64Ch BrainCap, EASYCAP GmbH, Woerthsee-Etterschlag, Germany, Bittium NeurOne System, Bittium Corporation, Oulu, Finland). Die Elektroden waren nach dem 10-10 System in eine flexible Kappe eingebettet, wobei die FCz Elektrode als Onlinereferenz fungierte. Die Daten wurden mit 1 kHz erhoben.

2.1.5 Skalierung der Geruchsbewertung

Nach jeder Stimulation (Holz/Citral oder Luft) wurden die Versuchspersonen gebeten die empfundene Intensität und Hedonik auf einer logarithmischen ‚labeled magnitude scale‘ zu bewerten (Green et al. 1996, Lim et al. 2009) (Abbildung 3). Für die Auswertungen wurde die Intensitätsskala auf Zahlen zwischen 0 bis 1 und die Hedonikskala von -1 bis 1 transformiert.

Abbildung 3: Skalierung EEG-Versuch



Intensitätsskala (links) und Hedonikskala (rechts), die eine kontinuierliche Bewertung der Perzeption mittels Mausklick nach jeder Stimulation ermöglichen.

Quelle: eigene Darstellung

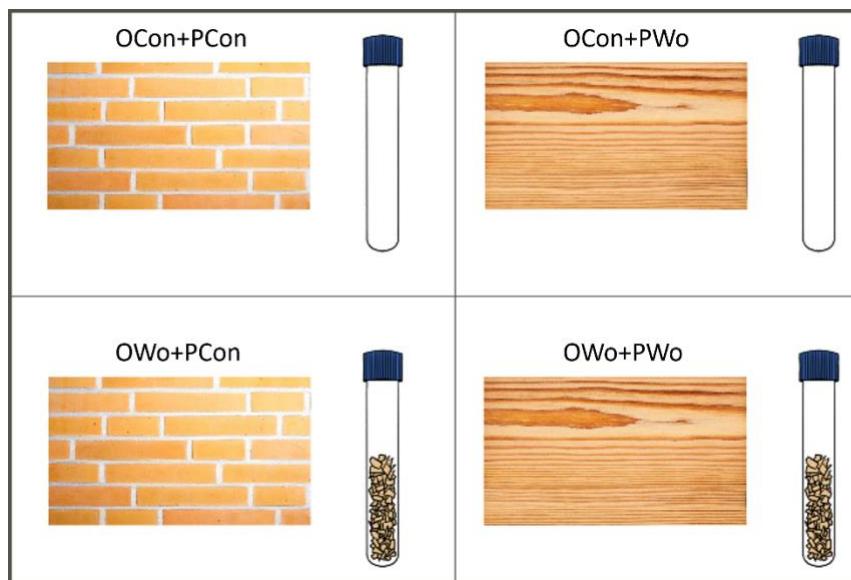
2.1.6 Versuchsablauf

Der Versuch begann damit, dass die Teilnehmenden Fragebögen zu Ausschlusskriterien ausfüllten und ihr schriftliches Einverständnis zur Teilnahme gaben. Anschließend wurde der Sniffin' Sticks Test und eine rhinomanometrische Messung durchgeführt, um adäquaten Nasendurchfluss sicherzustellen. Die EEG-Kappe wurde aufgesetzt und optimiert, bis jeder Kanal eine Impedanz von < 10 kΩ erreichte, und die Teilnehmer:innen wurden über die Nasenbrille an das Olfaktometer angeschlossen. Die Versuchspersonen saßen für die Versuchsdauer vor einem PC-Bildschirm, auf dem die Bilder präsentiert wurden (siehe Kapitel 2.1.3 und Abbildung 1). Sie wurden instruiert auf den Bildschirm zu schauen und sich möglichst wenig zu bewegen, um Artefakte im EEG-Signal zu minimieren.

Nach der Einweisung begann der erste von insgesamt 5 Versuchsblöcken während parallel die EEG-Messung abgeleitet wurde. Ein Block bestand aus 48 Durchgängen, insgesamt umfasste das gesamte Experiment somit 240 Durchgänge. Jeder der fünf Blöcke enthielt eine gleiche Anzahl aller vier möglichen Faktorenkombinationen:

Holzgeruch und Holzbild (OWo+PWo), Holzgeruch und Kontrollbild (OWo+PCon), Luftkontrolle und Holzbild (OCon+PWo) sowie Luftkontrolle und Kontrollbild (OCon+PCon), siehe Abbildung 4¹.

Abbildung 4: Faktorenkombinationen



Vier mögliche Faktorenkombinationen aus Bild (Holzbild oder Kontrollbild; PWo oder PCon) und Geruch (Kiefernholz/Citral oder Luft; OWo/OCit oder OCon).

Quelle: Thünen-Institut/Christina Waitkus und eigene Darstellung

Jeder Durchgang begann mit einem grauen Bildschirm mit einem Fixationskreuz in der Mitte. Dieses Fixationskreuz wurde nach 5 s grün, und die Teilnehmenden wurden angewiesen, von da an bis zum Ende der Bildpräsentation nicht zu blinzeln, um mögliche Artefakte im EEG-Signal zu vermeiden. Nach 1,5 s wurde auf dem Bildschirm eines der Bilder ersetzt, das 6 s lang angezeigt wurde. Bei 50 % der Versuche präsentierte das Olfaktometer parallel für 1,5 s den Holzgeruch, die anderen 50 % der Durchgänge wurden mit Luft gepaart. Die Teilnehmenden wurden gebeten, die Leertaste zu drücken, sobald sie einen Geruch wahrnahmen. OWo-Versuche mit einem Tastendruck und OCon-Versuche ohne Tastendruck wurden als korrekt gewertet. 4 s nach der Bildpräsentation wurden die Teilnehmenden gebeten, die Hedonik und die Intensität des Geruchs zu bewerten (Abbildung 3).

Für die Durchgänge wurden die Teilnehmenden gebeten eine Atemtechnik mit velopharyngealem Verschluss durchzuführen. Nach je 4 Durchgängen hatten die Teilnehmenden die Möglichkeit, normal durch die Nase zu atmen und einen Schluck stilles Wasser zu trinken, bevor sie die nächsten 4 Durchgänge fortsetzten. Zwischen den fünf Blöcken wurde das Holz gegen eine neue Probe ausgetauscht, und die Teilnehmenden durften herumlaufen und eine längere Pause einlegen.

¹ Das gleiche Verfahren wurde für Citral angewendet. Hierbei ändert sich dann dementsprechend die Variablenbenennung zu OCit bei Geruchsstimulation mit Citral.

2.1.7 Datenanalyse

2.1.7.1 Verhaltensanalyse

Es wurden zwei zweifaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung (rmANOVAs) mit dem Paket MANOVA.RM (Friedrich et al. 2019) in R/RStudio (RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA, <http://www.rstudio.com/>.) durchgeführt, eine für die abhängige Variable Hedonik und eine für die Geruchsintensität. Das Paket basiert auf einem Resampling-Ansatz und ist daher robust gegenüber Verletzungen der rmANOVA Voraussetzungen (Friedrich und Pauly 2018). Für die rmANOVAs wurden die Faktoren Geruch und Bild als wiederholte unabhängige Variablen gewählt, der Seed 433 für das Resampling, das Alpha-Niveau 0,05 und eine Permutation von 10.000 Iterationen, wobei die Faktorstufen Holzgeruch vs. kein Geruch (OWo vs. OCon) und Holzbild vs. Nicht-Holzbild (PWo vs. PCon) waren. Auf signifikante rmANOVA-Ergebnisse folgten Post-hoc-Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests. Da sechs Paarvergleiche durchgeführt wurden, wurde das erste Alpha-Niveau auf 0,0083 korrigiert und dann nach Bonferroni-Holm verfahren.

2.1.7.2 EEG-Datenanalyse

Die EEG-Daten wurden mittels Matlab (R2021b, The Math-Works Inc, Natick, USA) basierten EEGLAB 2021.1 (Delorme und Makeig 2004) und fieldtrip (Oostenveld et al. 2011) Funktionen bereinigt und analysiert. Zu den Vorverarbeitungsschritten zählten:

1. Elektrodenpositionen zuordnen anhand des 10-10 System auf dem boundary element model Template (Oostenveld et al. 2003).
2. Re-referenziert zur ‚average reference‘
3. Filtern (Basic FIR Bandpass Filter, Hamming window, 0,1 Hz to 30 Hz, transition bandwidth 25 % of the lower bound, filter order 33 000)
4. Stark verrauschte oder EEG-Kanäle ohne Signal wurden identifiziert und ausgeschlossen (normalisierter Kurtosis > 5 SD)
5. Erneutes Re-referenzieren
6. Daten wurden mittels Independent Component Analysis (ICA) in unabhängige Quellen (ICs) getrennt und Artefaktquellen identifiziert und aus dem Signal herausgerechnet
 - a. Subset des Datensatzes auf 200 Hz heruntersampeln
 - b. 1 Hz High-Pass Filter
 - c. Epochieren (-4 bis +7,5 s) um die Bildpräsentation
 - d. Automatische Epochbereinigung (rejection threshold: 1.000 µV, detection probability: 5 SD, maximum of trials rejected: 5 %)
 - e. ICA-Dekomposition in ICs
 - f. ICLabel klassifiziert ICs nach Wahrscheinlichkeit der Signalquelle und ermöglicht den Ausschuss von Störquellen (Pion-Tonachini et al. 2019, Oostenveld et al. 2003)
7. ICs des Subsets werden auf das originale Set übertragen
8. Kontinuierliche Daten wurden ebenfalls in Segmente um die Bild+Geruchsstimulation herum (-4 s bis + 7,5 s) epochiert
9. Erneute automatische Epochbereinigung
10. IC-Komponenten mit < 30 % Wahrscheinlichkeit nicht Gehirnaktivität zu repräsentieren, werden aus den Daten herausgerechnet
11. Nur Segmente mit richtigem Antwortverhalten (siehe 2.1.6) wurden für die weitere Analyse verwendet

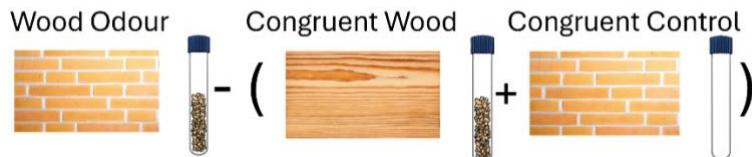
Die bereinigten Daten wurden mittels einer Zeit-Frequenz Dekomposition in ihre Frequenzbänderveränderung (1 bis 30 Hz) über die Zeit aufgeteilt, sogenannte Event-Related Spectral Perturbations (ERSPs). Anschließend wurden die Daten in das gleiche 2 x 2 Format wie die Verhaltensdaten zugeordnet: Holzgeruch und Holzbild (OWo+PWo), Holzgeruch und Kontrollbild (OWo+PCon), Luftkontrolle und Holzbild (OCon+PWo) sowie Luftkontrolle und Kontrollbild (OCon+PCon), siehe Abbildung 4. Durch jeweilige Kombinationen ließen sich im Anschluss durch eine cluster-based permutation (Maris und Oostenveld 2007) die Haupteffekte für die Gerüche und die Bildverarbeitung errechnen. Darüber hinaus wurden Bedingungen so kombiniert, dass der Effekt für kongruente [OWo&PWo – (OWo&PCon + OCon&PWo)] und inkongruente [OWo&PCon – (OWo&PWo + OCon&PCon)] Stimulationspaare miteinander verglichen werden konnte² (Abbildung 5).

Abbildung 5: (In)kongruente Geruch-Bild Kombination

Congruent = OWo&PWo – (OWo&PCon + OCon&PWo)



Incongruent = OWo&PCon – (OWo&PWo + OCon&PCon)



Faktorenkombinationen, um einen Kongruenz- bzw. Inkongruenz-Effekt zu errechnen und diese Effekte auf ERSP-Ebene miteinander zu vergleichen.

Quelle: Thünen-Institut/Christina Waitkus und eigene Darstellung

² Wie bei den Verhaltensdaten wird für Citral OWo zu OCit. Die restliche Berechnung bleibt identisch.

2.2 Versuch *Chemosensorische Effekte im Expositionslabor*

Experimentelle Expositionsstudien mit freiwilligen, gesunden Teilnehmenden bieten einen etablierten, multidimensionalen Ansatz zur Erfassung chemosensorischer Reizstoffeffekte auf verschiedenen Ebenen – Erleben, Verhalten und Physiologie – und stellen ein geeignetes experimentelles Setting dar, um akute Auswirkungen von Holzemissionen erfassen und bewerten zu können. Das Studienprotokoll des Experiments wurde von der Ethikkommission des IfADo genehmigt (Genehmigungsnummer 247).

2.2.1 Versuchspersonen

Interessierte Versuchspersonen wurden vorab telefonisch über das Experiment und den Ablauf aufgeklärt und Versuchspersonen, auf die keine der folgenden Ausschlusskriterien zutraf, wurden zum Training eingeladen:

- Raucher:innen
- Schwangere
- Personen mit Migräne
- Personen mit Asthma
- Personen mit Allergien
- Personen mit anderen chronischen Erkrankungen des kardiopulmonalen Systems
- Personen mit neurologischen Erkrankungen/Kopfverletzungen
- Frisuren, die bei einer EEG-Ableitung hinderlich sind
- Personen, die angeben Drogen zu konsumieren

Die finale Stichprobenbeschreibung ist Tabelle 4 zu entnehmen. Insgesamt nahmen 33 Versuchspersonen am Hauptversuch teil, wovon eine Versuchsperson eine Woche nicht teilnehmen konnte. Somit konnten, wie geplant, 32 vollständige Datensätze erhoben werden. Für den Fall, dass Versuchspersonen für die Auswertungen einzelner Endpunkte ausgeschlossen werden mussten (technische Schwierigkeiten beim EEG oder EKG, falsches Antwortverhalten der Versuchsperson bei Aufgabenbearbeitung etc.) wird dies immer vor den Ergebnissen explizit aufgeschlüsselt.

Die erhobenen Daten zur objektiven (Sniffin' Sticks) und subjektiven Geruchsfähigkeit und Sensitivität legen nahe, dass die vorliegende Stichprobe mit vergangenen Expositionsstudien (Pacharra et al. 2016a, Pacharra et al. 2016b, Pacharra et al. 2016c) vergleichbar ist und gemessen an den publizierten Normwerten (Bailer et al. 2006, Nordin et al. 2003, Oleszkiewicz et al. 2019) im normalen Bereich liegt.

Tabelle 4: Versuchspersonenbeschreibung: Expositionsstudie

Demographie		
N – Teilnahme / Teilnahme alle Wochen	33 / 32	
N – EKG / EEG	28 / 21	
Geschlecht	w = 20, m = 13	
Alter	M = 25,42 SD = 3,60	
Sniffin' Sicks – gesamt (TDI)	M = 34,94 SD = 3,39	Objektiv gemessene Geruchsfähigkeit
Geruchsschwelle (T)	M = 9,97 SD = 2,28	
Diskrimination (D)	M = 12,39 SD = 1,64	
Identifikation (I)	M = 12,58 SD = 1,60	
Fragebogenpaket		
CSS1 „Chemical Sensitivity Scale“ (Nordin et al. 2003)*	M = 29,79 SD = 6,13 10 VPs > Normwert 31,1	Selbst eingeschätzte Geruchssensitivität
Chemical Odor Sensitivity Scale (COSS) (Bailer et al. 2006)*	M = 13,79 SD = 9,08 14 VPs > Normwert 15,6	Selbst eingeschätzte Geruchssensitivität
Cacosmia Summe (Ryan et al. 1988)	M = 17,03 SD = 5,59	Fragebogen zur Geruchswirkung
Trait Teil des State Trait Anxiety Inventory (STAI)	M = 38,09 SD = 8,14	Maß für Ängstlichkeit der Versuchsperson
Chemical and General Environmental Sensitivity Questionnaire (CGES) (Kiesswetter 1999)		Selbst eingeschätzte Umwelt- und chemische Sensitivität
Allgemein	M = 39,58 SD = 12,41	
Körper	M = 7,58 SD = 4,27	
Atmung	M = 19,36 SD = 11,31	
Haut/Allergie	M = 17,15 SD = 16,82	
Odor Awareness Scale (Smeets et al. 2008) – total OAS	M = 120,46 SD = 17,74	Selbst eingeschätzte Geruchspräsenz im Alltag
Negative Odor Awareness	M = 74,58 SD = 10,83	
Positive Odor Awareness	M = 45,88 SD = 7,71	
NEO FFI (Borkenau et al. 2008)		Persönlichkeitsfragebogen
Neurotizismus*	M = 1,71 SD = 0,63	
Extraversion	M = 2,33 SD = 0,57	
Offenheit für neue Erfahrungen	M = 2,79 SD = 0,57	
Verträglichkeit	M = 2,55 SD = 0,53	
Gewissenhaftigkeit	M = 2,68 SD = 0,65	

* Werden als Kovariaten für Sensitivitätsanalysen genutzt, um den möglichen Einfluss von ‚Sensitivität‘ abzuschätzen.

N = Stichprobengröße, EKG = Elektrokardiogramm, EEG = Elektroenzephalographie

Quelle: eigene Darstellung

2.2.2 Expositionsszenarien der kontrollierten Raumluftbedingungen

Die Versuchspersonen wurden im 28 m³ Ganzkörperexpositionsraum (ExpoLab) des IfADo exponiert. Das ExpoLab ist mit einer separaten Toilette und Schleuse ausgestattet, sodass die Versuchspersonen das Labor betreten (und in der Pause zur Toilette gehen können) ohne dass sich die VOC-Konzentrationen des Innenraums verändern. Im ExpoLab befinden sich 4 PC-Arbeitsstationen, von denen zwei genutzt wurden. Das Labor wird über ein Klimagerät in einem Nebenraum mit klimatisierter Luft versorgt (5-facher Luftwechsel, durchschnittliche Innenraumtemperatur: 23 °C, durchschnittliche Luftfeuchtigkeit: 45,8 %). Über diesen Zugang können, wie unten beschrieben, VOCs anteilig in den Innenraum hinzugeführt werden. Die Konzentration der VOCs kann durch Messstellen zur Probenahme, die sich ca. 10 cm unterhalb der Decke befinden kontrolliert werden.

Im Experiment gab es insgesamt drei Expositionsbedingungen, die in den Auswertungen miteinander verglichen wurden:

- Richtwert I für bizyklische Terpene (0,2 mg m⁻³)
- Richtwert II für bizyklische Terpene (2,0 mg m⁻³)
- Null-Exposition mit gefilterter Luft

Die drei Konzentrationen ergeben für die Auswertung und Ergebnisse den Faktor ‚Exposition‘.

Um die angestrebten Konzentrationen im Bereich der Innenraumrichtwerte zu erzeugen, wurden, genau wie im EEG-Experiment, echte Kiefernholzspäne genutzt, die vom Thünen-Institut bereitgestellt wurden. Zur Aufbereitung wurden 200 g Kiefernholzspäne in einem 200 L Bratschlauch schonend für 1 bis 1,5 Stunden bei 50 °C erwärmt, um die Emissionsraten der VOCs und damit ihre Konzentrationen in der Luft des Bratschlauchs zu erhöhen. Die mit Kiefernholz-VOCs angereicherte Luft wurde vom ersten Bratschlauch gefiltert und in einen zweiten Bratschlauch überführt. So wurden Kontaminationen der Luft mit Holzpartikeln vermieden.

Die Konzentration von α -Pinen und 3-Caren im zweiten Schlauch wurde mittels GC-FID (PerkinElmer Clarus® 690 GC) bestimmt (zwischen 5.750 und 11.500 mg m⁻³). Der Schlauch wurde an die Klimaanlage des ExpoLabs angeschlossen (Abbildung 6). Mithilfe einer Pumpe wurde die gefilterte und temperierte Zuluft des ExpoLabs anteilig mit der VOC-haltigen Luft aus dem Bratschlauch gemischt, um die Zielkonzentrationen in der Innenraumluft zu erzeugen.

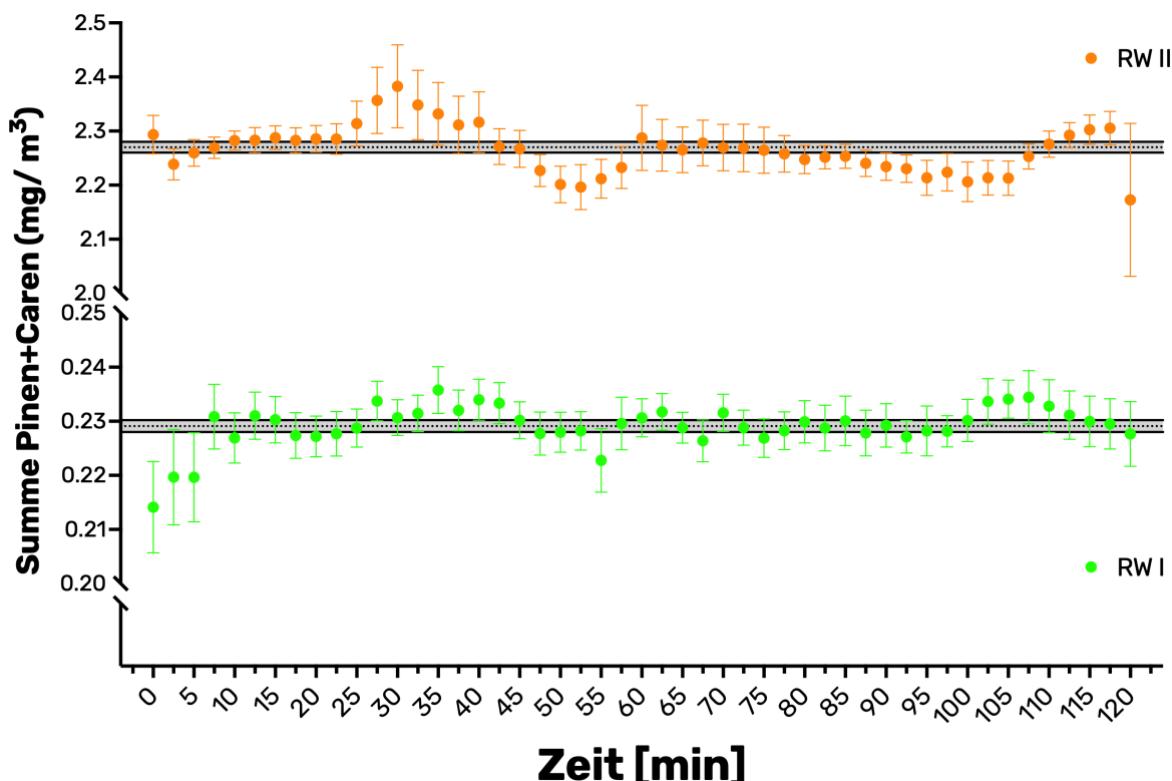
Abbildung 6: Setup für Raumluftkonzentration

Links: Mit Kieferholz-VOC gefüllter Bratschlauch, der an die Zuluft des Expositionslabors angeschlossen ist.
 Rechts: Gaschromatograph mit Flammenionisationsdetektor (GC-FID), der während der Exposition alle 2,5 Minuten eine Luftprobe aus dem Labor analysiert und je nach Messergebnis eine Nachregulierung des VOC:Frischluft Verhältnisses ermöglicht.

Quelle: IfADo/Christina Ida Hucke, IfADo/Christoph van Thriel

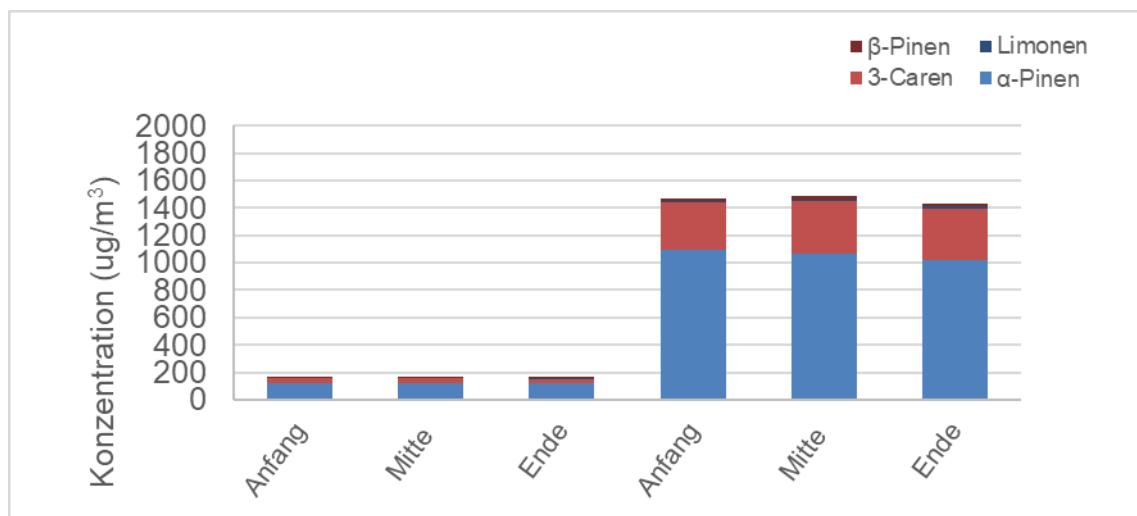
Während jeder laufenden Exposition wurden alle 2,5 Minuten Luftproben aus dem ExpoLab gezogen und mittels Gaschromatographie (GC-FID)-Messungen die Raumluftkonzentrationen von α -Pinen und 3-Caren quasi-online analysiert (Abbildung 7). Somit konnten nach jeder GC-FID-Messung, dynamisch nach Bedarf, die Anteile der VOC-Beutelluft und Frischluft über die Pumpeneinstellung reguliert werden, um möglichst präzise die Innenraumkonzentration im Bereich von RW I und RW II zu halten. Zur Etablierung des Verfahrens wurden mehrere Testläufe durchgeführt und ebenfalls anhand von GC-FID-Messungen begleitet.

Darüber hinaus wurden während der Testläufe und auch stichprobenartig während des Experiments Luftproben mit einer Pumpe über ein Tenax®-Röhrchen von der Innenraumluft gezogen. Die beprobten Röhrchen wurden nach Hamburg ans Thünen-Institut geschickt und mittels Gaschromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung (GC-MS) analysiert, um das VOC-Profil detaillierter bestimmen zu können. Die Ergebnisse bestätigten weitgehend die vorkalkulierten Mengenanteile der VOC-Beutelluft:Frischluft um die beiden gewünschten Konzentrationen der bizarren Terpene zu erreichen und über die 2 Stunden des Versuchs hinweg konstant zu halten (Abbildung 8). Die Abweichung der RW II-Werte lassen sich über die unterschiedlichen Analyseansätze erklären.

Abbildung 7: Online-Messungen der Innenraumkonzentration während des Versuchs

Durchschnittliche Innenraumkonzentration an allen Expositionstagen, gemessen alle 2,5 Minuten und analysiert mittels GC-FID. Zeitverlauf der Summenwerte von α -Pinen und 3-Caren im Bereich den RW I (unten und in grün) und RW II (oben und in orange) für bizyklische Terpene. Punkte repräsentieren Mittelwerte und die Fehlerbalken \pm SEM, die grauen Bereiche kennzeichnen die Mediane und die 95 %-Konfidenzintervalle.

Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 8: GC-MS-Messungen von Luftproben während des Versuchs

Durchschnittliches Terpenprofil, gemessen während jeweils vier RW I und RW II Expositionen, je zu Anfang, in der Mitte und kurz vor Ende der Exposition. Die Luftprobenahme erfolgte über einen Teflon®-Schlauch, der durch einen kleinen Zugang ins ExpoLab führte. Die beprobenen Tenax-Adsorptionsröhren wurden anschließend am Thünen-Institut mittels GC-MS analysiert.

Quelle: eigene Darstellung

2.2.3 Gemessene Endpunkte

Die erhobenen Endpunkte orientierten sich an den am IfADo etablierten Verfahren zur Erfassung sensorischer Irritationen in Humanstudien, wobei auf drei Ebenen (Erleben, Verhalten, Physiologie) mit mehreren Methoden gemessen wird (z. B. unterschiedliche Fragebögen).

2.2.3.1 Erleben

Die Endpunkte des Erlebens beziehen sich überwiegend auf die subjektive Wahrnehmung der unterschiedlichen Expositionsbedingungen und wurden mittels standardisierter Empfindungs-Skalierungen oder der Bewertung akuter Symptome erhoben (Tabelle 5). Diese wurden während der Exposition dreimal (Anfang, Mitte, Ende) abgefragt. Die Wiederholung ergibt für die Auswertung und Ergebnisse den Faktor ‚Messzeitpunkt‘.

Die **Labeled Magnitude Scale LMS** (Green et al. 1996, Lim et al. 2009) bietet die Möglichkeit auf einer quasi-kontinuierlichen logarithmischen Skala 11 chemosensorische Empfindungen (*trigeminal*: stechend, prickelnd, brennend, Niesreiz, scharf, Nasenreizung, Augenreizung, kitzelnd; *olfaktorisch*: Geruch, Lästigkeit, Ekel erregend) in ihrer Intensität jeweils von ‚nicht wahrnehmbar‘ (0) bis ‚stärkste vorstellbare Empfindung‘ (1.000) zu bewerten. Zusätzlich wird auf einer LMS-Skala die *Hedonik* der Innenraumluft von ‚unangenehm vorstellbarste‘ (0) bis ‚angenehm vorstellbarste‘ (1.000) Raumluft bewertet. Eine neutrale Bewertung der Hedonik liegt bei dieser Skala bei 500.

Der **SPES-Fragebogen „akute Symptome“** (Iregren et al. 1996), der durch Seeber et al. (2002) und van Thriel et al. (2003) erweitert wurde, besteht aus 29 Items (z. B. Unwohlsein, Brennende Augen, Schlechter Geschmack im Mund, Husten, ...). Jedes Item wird auf einer Ordinalskala von 0 (nicht im Geringsten) bis 5 (sehr stark) bewertet. Die 29 Items werden für die Auswertung zu 7 Skalen zusammengefasst (unspezifische Symptome, olfaktorische Symptome, Geschmacksmissempfindungen, respiratorische Symptome, irritative Symptome, Nasenreizungen, Augenreizungen).

Die Bewertung des **Befindens** (Seeber et al. 1997) erfolgt anhand von 4 gegenüberstehenden gegenteiligen Beschreibungen (entspannt - angespannt, wach - müde, beschwerdefrei - starke Beschwerden, nicht lästig - lästig), die auf einer Skala von 1 bis 6 bewertet werden.

2.2.3.2 Verhalten

Ein möglicher Expositionseffekt auf das Verhalten wird durch eine Arbeitsgedächtnisaufgabe abgeprüft. Hintergrund ist die mögliche Ablenkung der Aufmerksamkeit von einer Aufgabe durch einen belästigenden oder ekelreagenden Geruch. Der **n-back** ist eine kontinuierliche Arbeitsgedächtnisaufgabe, bei welcher der Versuchsperson auf dem Bildschirm hintereinander Bilder von Objekten präsentiert werden. Die Aufgabe der Versuchsperson ist, mit einem Knopfdruck zu reagieren, wenn das aktuell gezeigte Bild mit dem vorletzten (2-back) oder vorvorletzten (3-back) Bild übereinstimmt. Die Reihenfolge der Items der n-back Aufgaben wurden innerhalb der Versuchspersonen permutiert, um einen Lerneffekt zu minimieren. Beide n-back Aufgaben wurden pro Versuchstag zweimal durchgeführt.

2.2.3.3 (Neuro)Physiologie

Effekte auf der Ebene der Physiologie können Hinweise auf mögliche sensorische Irritationen geben. Es handelt sich dabei um (a) Abwehrreaktionen bzw. neurogene Reflexe (Substanz P, HMGB1), (b) Entzündungsreaktionen (FeNO, **Augenrötung**) oder (c) messbare Veränderungen der **Tränenfilmstabilität** bzw. den Abriss des Tränenfilms als physiologischen Indikator einer Augenreizung. Die Signalmoleküle/-proteine der neurogenen Reflexe, das Neuropeptid **Substanz P** und das Alarmin High-Mobility-Group-Protein B1 (**HMGB1**) wurden in der Nasallavageflüssigkeit mittels Enzyme-linked Immunosorbent Assay (ELISA) bestimmt. Dabei wurden (a) ein

Enzymimmunoassay für die quantitative Bestimmung von HMGB1 (ST 51011, IBL International GmbH, Hamburg) und (b) ein Enzymimmunoassay für die quantitative Bestimmung von Substanz P (Cayman Kit 583751, Biomol GmbH, Hamburg) verwendet. Mit dem NIOX VERO® wurde in der Ausatemluft der Proband:innen das sog. **fraktionierte exhalierte Stickstoffmonoxid (FeNO)** gemessen, ein etablierter Indikator für Entzündungsprozesse an den Atemwegen, der häufig in der Allergologie verwendet wird. Mit dem OCULUS Keratograph 4, einem Gerät zur computergestützten Vermessung der Hornhaut des Auges wurden die Augenrötung und die Aufreibzeit des Tränenfilms gemessen. Veränderungen dieser Parameter gelten als physiologische Indikatoren von Augenreizungen. Alle Messungen dieser Parameter wurden jeweils vor und nach der Exposition erhoben und ermöglichen so die Quantifizierung von Irritationen, die ggf. durch das jeweilige Expositionsszenario ausgelöst wurden.

Als neue experimentelle Methode wurden nach Beendigung der kontrollierten Expositionen mittels **Schirmerstreifen** Proben der Tränenflüssigkeit gewonnen. Diese Tränenflüssigkeit kann mittels Flüssigchromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung (LC-MS) auf unterschiedliche Proteine (proteomics) untersucht werden, die ggf. mit Augenreizungen assoziiert sein können.

Weiterhin wurden **Elektrokardiogramm (EKG)** während gezielter Ruhephasen abgeleitet, um die Herzrate der Versuchspersonen bestimmen zu können (FAROS-EKG, Bittium Biosignals). Dies bietet einen objektiven Marker für An- oder Entspannung auf physiologischer Ebene. Diese „Ruhe“-Herzfrequenz dient somit als Indikator für mögliche Effekte der Exposition auf das autonome Nervensystem, die sich nicht auf der verbalen Ebene (Erleben) der Versuchspersonen widerspiegeln.

Im Rahmen der Arbeiten hat sich die Nutzung von EEG-Messungen bewährt, um neurokognitive Prozesse der Holzwahrnehmung zu untersuchen. Somit wurde zusätzlich ein mobiles 64-Kanal **EEG** (mbraintrain, Smarting PRO X) während der Exposition eingesetzt, um mögliche Effekte von Holzemissionen auf die Neurophysiologie zu ermitteln (Abbildung 9). Die Messungen fanden während der n-back und Ruhephasen statt.

Abbildung 9: Versuchsperson im Expositionslabor



Ausschnitt aus dem ExpoLab. Die Versuchsperson führt eine Bewertung am PC durch und trägt während der Exposition eine mobile EEG-Kappe, die die Spannungsveränderungen auf der Kopfhaut ableitet.

Quelle: IfADo/Viviane Gallus

2.2.4 Ablauf

Die Studie wurde im Messwiederholungsdesign durchgeführt, d. h. alle Versuchspersonen durchliefen alle drei Expositionsszenarien. Vorab nahm jede Versuchsperson an einem Trainingstag teil.

2.2.4.1 Trainingstag

Da die Versuchstage aufwendig und zeitlich eng getaktet waren, wurde jede Versuchsperson vorab zu einem Trainingstag ins IfADo eingeladen. Nur wer am Training teilnahm, hat auch anschließend Termine für den Versuch bekommen. Die Trainingsphase fand im Zeitraum vom 12.02.24 bis 28.02.24 und vom 03.04.24 bis 05.04.24 statt. Während des Trainings wurden die Teilnahmekriterien aller Versuchspersonen abgeprüft. Weiterhin lernten sie alle relevanten Stationen der „Endpunktmessungen“ kennen, die an den Versuchstagen entweder als Prä- und Postmessung oder auch während der Exposition stattfanden. Außerdem füllten die Versuchspersonen ein umfangreiches Fragebogenpaket aus.

Zusätzlich absolvierten alle Versuchspersonen den Sniffin' Sticks Geruchsfähigkeitstest. Hierdurch kann objektiv eine grobe individuelle Einschätzung der Geruchsfähigkeit erfasst werden (Hummel et al. 1997, Oleszkiewicz et al. 2019). Dieser standardisierte Riechtest umfasst drei Subtests. Der Identifikationstest besteht aus 16 unterschiedlichen Gerüchen, die nacheinander präsentiert und von der Versuchsperson aus 4 alternativen Optionen erkannt werden müssen. Der Schwellentest besteht aus 16 Triplets, die jeweils verglichen werden mit dem Ziel den Geruch n-Butanol zu erkennen, damit die individuelle Geruchsschwelle eingeschätzt werden kann. Der Diskriminationstest enthält ebenfalls 16 Triplets, die verglichen werden mit dem Ziel den Geruch einer Probe zu erkennen, der sich von den anderen beiden unterscheidet. Hierdurch kann die Fähigkeit einer Versuchsperson Gerüche zu differenzieren erfasst werden.

2.2.4.2 Hauptversuch

Jeder Expositionstag verlief gleich, lediglich die Raumluftkonzentration unterschied sich zwischen den Tagen. Die Reihenfolge der Expositionsbedingungen wurde zwischen den Versuchspersonen randomisiert. Die Versuchspersonen waren nicht darüber informiert, welche Reihenfolge der Expositionsbedingungen sie durchlaufen würden (Blindstudie). Expositionstage einer Versuchsperson hatten einen zeitlichen Abstand von genau einer Woche. Die Versuchspersonen wurden am Trainingstag mündlich und durch die Einverständniserklärung schriftlich über den Hintergrund der Studie und die Holz-VOCs informiert.

Es konnten immer zwei Versuchspersonen gemeinsam im Expositionslabor getestet und je zwei Versuche pro Tag (morgens - mittags: 08:00 - 12:30 Uhr oder mittags - nachmittags: 11:30 - 16:00 Uhr) durchgeführt werden. Somit ergab sich eine maximale Kapazität von 20 Versuchspersonen pro Woche. Mit drei Versuchsbedingungen und je einer Woche Abstand dauerte somit eine komplette Erhebung für 20 Versuchspersonen 3 Wochen. Daher wurde die Datenerhebung in zwei Phasen à 20 also insgesamt maximal 40 Versuchspersonen aufgeteilt, die sich über 6 Wochen erstreckte. Es konnte hierdurch sichergestellt werden, dass auch wenn nicht alle Tage/Wochen maximal ausgelastet waren oder einzelne Versuchspersonen nicht zu allen Versuchstagen erschienen, wie geplant mindestens 32 vollständige Datensätze erhoben werden konnten. Die Versuchsblöcke fanden zwischen dem 04.03.24 bis 22.03.24 (Phase 1) und dem 08.04.24 bis 26.04.24 (Phase 2) statt.

Der Versuchszeitraum eines Tages von 4,5 Stunden teilte sich in 3 Phasen: Prä-Messungen - 1:20 Stunden, Exposition - 2 Stunden, Post-Messungen - 1:10 Stunden (Tabelle 5, exemplarisch für den Zeitraum morgens-mittags).

Tabelle 5: Ablaufplan des Expositionstages am Vormittag

Dauer	Uhrzeit			
01:20:00	08:00:00*	Prä-Messungen	FeNO, Nasallavage, Keratograph	Physiologie
	09:20:00	Beginn der Exposition		
00:05:00	09:20:00	Skalierung	SPES, Befinden, LMS, Hedonik	Erleben
00:06:00	09:25:00	Pause		
00:10:00	09:31:00	Ruhephase 1	EEG/EKG	(Neuro)physiologie
00:17:00	09:41:00	2-back; 3-back	EEG/Performanz	Verhalten
00:10:00	09:58:00	Ruhephase 2	EEG/EKG	(Neuro)physiologie
00:20:00	10:08:00	Snack-Pause		
00:05:00	10:28:00	Skalierung	SPES, Befinden, LMS, Hedonik	Erleben
00:10:00	10:33:00	Ruhephase 3	EEG/EKG	(Neuro)physiologie
00:17:00	10:43:00	2-back; 3-back	EEG/Performanz	Verhalten
00:10:00	11:00:00	Ruhephase 4	EEG/EKG	(Neuro)physiologie
00:05:00	11:10:00	Skalierung	SPES, Befinden, LMS, Hedonik	Erleben
00:03:00	11:20:00	Pause		
	11:20:00	Ende der Exposition		
01:10:00	12:30:00*	Post-Messungen	FeNO, Nasallavage, Keratograph, Tränenflüssigkeit	Physiologie

* in der Zeit wird auch das EEG/EKG angelegt bzw. abgenommen.

Quelle: eigene Darstellung

Nach der Vorbereitung, welche auch die Montur der EEG-Kappe (Impedanz < 10 kΩ) und EKG-Gurte beinhaltet, betraten die Versuchspersonen, in der Regel zu zweit, das ExpoLab. Während der Exposition saßen die Versuchspersonen vor einem PC-Bildschirm und benutzten Tastaturen, die speziell für das Labor hergestellt wurden (Abbildung 9). In der Nachbereitung konnten die Versuchspersonen sich die Haare waschen, um das EEG-Elektrodengel zu entfernen.

Bedeutung der drei Beobachtungsebenen

Die Angaben auf der Ebene des ‚Erlebens‘ boten hierbei die erste, orientierende Einordnung der Wirkung. Im zweiten Schritt der Analysen ließ sich ableiten, ob positive oder negative Bewertungen von (neuro)physiologischen Markern begleitet wurden, die eher für eine induzierte Entspannung oder Anspannung sprechen und welche Auswirkungen auf die kognitiven Leistungen der exponierten Person zu beobachten waren. Dieses abgestufte Vorgehen würde sich beispielsweise so äußern: Wenn VOCs einen beruhigenden und konzentrationsfördernden Effekt haben, dann wäre zu erwarten, dass die Bewertungen der VOC-Expositionen positiv ausfallen (z. B. angenehmer Geruch) und sich dies ebenfalls in einer sinkenden Herzrate im EKG, der Zu- bzw. Abnahme bestimmter EEG-Frequenzbänder oder einer besseren Leistung in der Arbeitsgedächtnisaufgabe widerspiegelt. Andersherum, wenn die VOC-Exposition einen negativen Effekt auf die Versuchspersonen hat, dann wäre dies in den Bewertungen festzustellen, ebenso wie in einer durch Stress bedingten Erhöhung der Herzrate und einer EEG-Frequenzbandverschiebung sowie in schlechteren Ergebnissen der Arbeitsgedächtnisaufgabe und physiologischen Parametern, die auf akute Reizung hindeuten.

2.2.5 Datenanalyse

2.2.5.1 Analyse (Erleben, Verhalten, Physiologie)

Die erhobenen Endpunkte wurden, insofern die Voraussetzungen erfüllt waren, mittels einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung (rmANOVA) analysiert. Der Faktor *Messzeitpunkt* repräsentiert auf der Ebene des ‚Erlebens‘ die wiederholte Abfrage der Skalierung am Anfang, in der Mitte und am Ende (Tabelle 5). Auf der Ebene des ‚Verhaltens‘ ergeben sich zwei Level von *Messzeitpunkt*, da die n-back Aufgaben je zweimal bearbeitet wurden. Bei Physiologie ist zwischen der EKG-Messung und den restlichen Messungen zu unterscheiden, die auch aus zwei Leveln (Prä- und Post-Messungen) bestanden, da das Ruhe-EKG insgesamt in 4 Ruhephasen abgeleitet und miteinander verglichen wird. Der zweite Faktor repräsentiert die *Expositionsbedingungen* und besteht in allen Analysen aus drei Leveln: Kontrollbedingung, RW I und RW II-Konzentration. Hieraus ergeben sich somit die Möglichkeiten von statistischen Haupteffekten der Zeit (*Messzeitpunkt*) oder der Expositionskonzentration (*Expositionsbedingungen*). Im Weiteren können sich auch Interaktionen der beiden Haupteffekte ergeben. Signifikante Effekte werden im zweiten Schritt mittels Post-hoc-Tests aufgelöst, um zu sehen, welche Faktorstufen sich signifikant voneinander unterscheiden.

In der Regel wurde ein $\alpha < 0,05$ als Grenze für statistische Signifikanz angenommen, was im Falle von multiplen Tests mittels der Bonferroni oder Bonferroni-Holm Methode korrigiert wurde. Vorab wurde die Voraussetzung der Sphärizität geprüft und im Falle einer Verletzung der Annahme wurde entweder eine Greenhouse-Geisser (GG) oder eine Huynh-Feld Korrektur angewendet (bei $\varepsilon > 0,75$). Falls ein parametrisches Verfahren nicht zu verwenden war (z. B. Kategoriale Skala), wurde ein äquivalenter nicht-parametrischer Test verwendet: Friedman-Tests und gezielte Paarvergleichen mittels ‚Dunn’s multiple comparisons tests‘.

2.2.5.2 Analyse (EEG – Neurophysiologie)

Die EEG-Daten wurden, (vergleichbar mit Kapitel 2.1.7.2) mittels Matlab (R2021b, The Math-Works Inc, Natick, USA) Funktionen verarbeitet. Die Analyse orientierte sich an Alyan et al. (2023). Diese Analyse basiert auf Blinzel-gebundenen Event-Korrelierten Potentialen (EKPs), da diese Art der Auswertung Rückschluss auf kognitiven Aufwand im natürlichen Setting zulässt und somit ein Korrelat für Aufwand der Aufgabe und möglichen Einfluss durch die Exposition zeigen könnte. Zur Analyse der Daten waren verschiedene Vorverarbeitungsschritte erforderlich.

Zu den Schritten zählten:

1. Ko-registrieren der EEG-Kanäle auf 10-10 EEG-Positionen
2. Filter: 0,01 Hz High pass (pop_basicfilter)
3. Exkludieren der Pausenzeiten
4. Reduzieren von 50 Hz Noise
5. Datenkanäle mit schlechter Qualität identifizieren und exkludieren
6. Interpolieren der exkludierten Kanäle
7. Re-referenzieren auf ‚average reference‘
8. Subset für ICA bilden
 - a. Filter 1,5 Hz High pass
 - b. AMICA statt einfacher ICA 2000 Iterationen, max thres 4
 - c. Dipole der ICs schätzen
 - d. Kopieren der IC-Lösung auf Originaldatensatz
9. ICLabel um Quellen der ICs zu schätzen
10. Blinzel-Events werden detektiert, um die Analyse zeitlich daran zu orientieren
11. ICs mit weniger als 30 % Wahrscheinlichkeit Gehirnaktivität zu repräsentieren oder ICs, die mit 70 % Wahrscheinlichkeit Linenoise sind, werden aus den Daten entfernt
12. Low-pass Filter 40 Hz
13. Daten werden erneut bereinigt (Funktion: pop_rejcont(EEG, 'elecrange',1:64, 'freqlimit',[20 40], 'threshold',10, 'epochlength',0.5, 'contiguous',4, 'addlength',0.25, 'taper', 'hamming')
14. Epochieren von -1.000 ms bis +2.000 ms bezogen auf einen Blinzler
15. Baseline wird abgezogen (-300 bis -100 ms vor Trigger)
16. Automatische Epochbereinigung (rejection threshold: 1000 µV, detection probability: 5 SD, maximum of trials rejected: 5 %)
17. Ereignis-Korrelierte Potenziale (EKPs)/ Event-Korrelierte Potentiale (ERPs) werden berechnet und mittlere Amplituden werden auf Subjektebene, gebunden am ‚collapsed localizer approach‘ (cla), orientiert extrahiert.
- Zeitfenster um den grand average peak in Klammern
 - a. Frontale P1 (gesucht cla: 0-200 ms, extrahiert: 26 ms um peak)
 - b. Frontale N2 (gesucht cla: 150-250 ms, extrahiert: 50 ms um peak)
 - c. Parietal-Okzipitale N1 (gesucht cla: 0-150 ms, extrahiert: 26 ms um peak)
 - d. Parietale P3b (gesucht cla: 200-400 ms, extrahiert: 50 ms um peak)
18. Analyse der mittleren Amplituden mittels 3 * 3 ANOVA mit Messwiederholung (Aufgabe: Rest, 2-back, 3-back, Exposition: Kontrolle, RW I, RW II)

2.3 Versuch Visueller Kontext

2.3.1 Versuchspersonen

An der Studie nahmen 35 Versuchspersonen (Nichtrauchende; keine Erkrankungen, die den Geruchssinn beeinflussen könnten³) teil. Studierende und Mitarbeitende des Instituts für Holzwissenschaften (Universität Hamburg) sowie des Thünen-Instituts für Holzforschung wurden ausgeschlossen. Die Versuchspersonen wurden gebeten, kein Parfüm, Deodorant, Bodylotion oder Kosmetika mit starkem Eigengeruch zu verwenden, da dies ihre Geruchswahrnehmung stören könnte. Außerdem sollten sie mindestens 30 Minuten vor und während des Experiments nichts essen oder trinken (außer Wasser). Alle Versuchspersonen gaben vor ihrer Teilnahme eine schriftliche Einverständniserklärung ab, dass sie über Art und Umfang der Erhebung und der Datenauswertung informiert wurden. Das Studienprotokoll wurde von der Ethikkommission des IfADo genehmigt (Genehmigungsnummer 202).

Die Riechfähigkeit der Versuchspersonen wurde mit dem „Sniffin' Sticks“ 16-Item-Identifikationstest (Burghart Messtechnik GmbH, Holm, Deutschland) geprüft. Dabei mussten mindestens 10 von 16 alltäglichen Gerüchen aus vier möglichen Antwortoptionen korrekt identifiziert werden. Drei Versuchspersonen wurden ausgeschlossen, da sie den Test nicht bestanden. Die verbliebenen 32 Versuchspersonen (19 Frauen; Altersverteilung: Mittelwert (M) = 41,2 Jahre, Standardabweichung (SD) = 14,44 Jahre, Altersspanne = 18 bis 66 Jahre; Sniffin' Sticks Identifikationsscore: M = 12,7, SD = 1,37) absolvierten den gesamten experimentellen Ablauf.

2.3.2 Gerüche

Fünf verschiedene Holzprodukte wurden als Geruchsquelle verwendet (Tabelle 6). Die Auswahl dieser Materialien basierte auf ihrer häufigen Verwendung als Baumaterialien (Kiefernholz, OSB) oder Innenausbaumaterialien (Eichenholz, Kork). Darüber hinaus repräsentierten sie Materialien, die sich in Bezug auf ihre Emissionszusammensetzung (Terpene, Aldehyde, organische Säuren) deutlich voneinander unterscheiden.

Tabelle 6: Charakterisierung der Gerüche

Geruch (Akronym)	Material	Quelle
Kiefer _{gering}	<i>Pinus sylvestris</i> L.	Getrocknete Bohle aus dem Sägewerk ^a
Kiefer _{hoch}		
Eiche _{gering}	<i>Quercus spec.</i>	Getrocknete Bohle aus dem Sägewerk ^a
Eiche _{hoch}		
OSB _{Ki-gering}	OSB aus <i>Pinus sylvestris</i> L.	Platte direkt vom Hersteller ^b
OSB _{Ki-hoch}		
OSB _{Pappel}	OSB aus <i>Populus spec.</i>	Platte direkt vom Hersteller ^b
Kork	-	Bodenbelag aus dem Baumarkt ^b

^a Die gehobelten Proben wurden bis zur Verwendung in Aluminiumfolie eingewickelt im Gefrierschrank gelagert.

^b Das Probenmaterial wurde bis zur Verwendung in Aluminiumfolie eingewickelt im Gefrierschrank gelagert.

Quelle: eigene Darstellung

³ Das Erfüllen der Teilnahmekriterien wurde vorab per E-Mail abgeklärt.

Die Materialien wurden gemäß DIN EN ISO 16000-9:2008 in Emissionsprüfkammern (23,5 L Glasexsikkatoren) mit konstanter Temperatur (23 ± 2 °C) und relativer Luftfeuchtigkeit (50 ± 5 %) platziert. Der Beladungsfaktor, die Luftwechselrate und der Zeitpunkt des Befüllens der Gasprobenbeutel (Tabelle 7) wurden basierend auf den beabsichtigten TVOC-Konzentrationen der Gerüche, die in Vorversuchen ermittelt wurden, ausgewählt. Die Gerüche sollten in ihrer Intensität deutlich wahrnehmbar sein. Darüber hinaus sollten die Konzentrationen der bizyklischen Terpene und der gesättigten Aldehyde (C₄ - C₁₁) im Bereich zwischen RW I und RW II liegen (Tabelle 1). Von Kiefern- und Eichenholz sowie OSB_{Kiefer} wurden zwei verschiedene hoch konzentrierte Gerüche erstellt. Da relativ hohe VOC-Konzentrationen erforderlich waren, um eine stärkere Intensitätswahrnehmung des zweiten Kieferngeruchs zu erreichen, wurde eine deutliche Überschreitung des RW II für bizyklische Terpene für Kiefer_{hoch} akzeptiert. Die Abluft aus den Emissionsprüfkammern wurde verwendet, um Gasprobenbeutel (Olfasense GmbH, Kiel, Deutschland) zu befüllen. Für jeden Geruch wurden 7 Beutel (60 L, Material: Nalophan™ (PET)) abgefüllt (vor dem endgültigen Befüllen wurden die Beutel mit der Probenluft gespült).

Tabelle 7: Bedingungen in den Emissionsprüfkammern zur Herstellung der Gerüche

Geruch	Luftwechselrate	Beladungsfaktor ^a	Zeitpunkt des Befüllens der Gasprobenbeutel nach Prüfkammerbeladung
Kiefer _{gering}	4,6 h ⁻¹ (3,8 h ⁻¹) ^b	1,3 m ² m ⁻³	6 Tage
Kiefer _{hoch}	4,6 h ⁻¹ (3,8 h ⁻¹) ^b	6,4 m ² m ⁻³	6 Tage
Eiche _{gering}	4,6 h ⁻¹	4,3 m ² m ⁻³	6 Tage
Eiche _{hoch}	4,6 h ⁻¹	12,9 m ² m ⁻³	6 Tage
OSB _{Ki-gering}	3,8 h ⁻¹	1,7 m ² m ⁻³	6 Tage
OSB _{Ki-hoch}	3,8 h ⁻¹	5,1 m ² m ⁻³	6 Tage
OSB _{Pappel}	4,1 h ⁻¹	6,8 m ² m ⁻³	6 Tage
Kork	4,6 h ⁻¹	7,7 m ² m ⁻³	2 Tage

^a Verhältnis der exponierten Oberfläche der Prüfkörper (Seitenkanten mit selbstklebender, nicht emittierender Aluminiumfolie beklebt) im Verhältnis zum Emissionsprüfakkervolumen

^b Reduzierung der Luftwechselrate am 6. Tag zur Erhöhung der VOC-Konzentration

Quelle: eigene Darstellung

Die Bewertung der Gerüche durch die Versuchspersonen fand 3 bis 14 Tage nach dem Befüllen der Beutel statt. Vor der Verwendung wurde die Luft in jedem Beutel hinsichtlich ihrer VOC-Zusammensetzung gemäß DIN ISO 16000-6:2022 analysiert. Die TVOC-Konzentration entsprach der Summe der Konzentrationen der analysierten VOCs (Anhang Tabelle 1). Die Geruchspräsentation erfolgte mit dem Gerät PureSniff XL (Olfasense GmbH, Kiel, Deutschland), das für die standardisierte Darbietung von unverdünnten Geruchsproben konzipiert ist. Die Versuchspersonen lösten die Geruchspräsentation eigenständig aus, indem sie einen Knopf drückten. Dadurch strömte die Geruchsprobe aus dem Gasprobenbeutel (standardisierter Volumenstrom: 0,7 L s⁻¹, konstante Präsentationszeit: 2,5 s) und wurde durch einen Glastrichter zu den Nasen der Versuchspersonen geleitet (Anhang Abbildung 1). Die Geruchsdarbietung wurde gemäß DIN ISO 16000-28:2021 durchgeführt. Den Versuchspersonen wurde die Anweisung gegeben, die Geruchspräsentation für jeden Geruch maximal zweimal auszulösen.

Es wurde ein Within-Subject-Design gewählt, bei dem die Versuchspersonen jeden Geruch zweimal bewerteten (1. und 2. Durchgang). Ein balanciertes Lateinisches Quadrat (Williams-Design, n = 8 (Williams 1949)) diente als Grundlage für die Erstellung von acht Geruchssequenzen, um Positions- und Carry-Over-Effekte zu vermeiden. Die acht Geruchssequenzen wurden unter folgenden Bedingungen unter den 32 Versuchspersonen verteilt (Anhang Abbildung 2):

- (1) Jede Geruchssequenz kam gleich oft vor.
- (2) Die Geruchssequenz im 1. und 2. Durchgang variierte innerhalb jeder Versuchsperson.
- (3) Der letzte Geruch des 1. Durchgangs unterschied sich vom ersten Geruch des 2. Durchgangs.
- (4) Jede Versuchsperson durchlief über die zwei Durchgänge hinweg eine Geruchssequenz, die sich von der der anderen Versuchsperson unterschied.

In einem Durchgang wurde der Geruch zusammen mit dem entsprechendem Materialbild (Tabelle 8) und in dem anderen Durchgang mit einer Zufallszahl (Bereich: 1 bis 20) auf einem PC-Bildschirm (Bildgröße: 19 cm x 12 cm) präsentiert. Ob das Materialbild im ersten oder zweiten Durchgang angezeigt wurde, war zufällig. Es wurde festgelegt, dass mindestens zwei der acht Gerüche während des ersten Durchgangs mit dem passenden Materialbild präsentiert werden mussten. Nach jeder Geruchsbewertung mussten die Versuchspersonen das Labor verlassen und warten, bis sie erneut aufgerufen wurden (Dauer: ca. 30 s). Diese Zeit wurde genutzt, um den nächsten Probenbeutel in das PureSniff XL-Gerät einzulegen. Während dieser Pause hatten die Teilnehmenden zudem die Möglichkeit ihren Geruchseindruck zu neutralisieren, indem sie an Kaffeebohnen rochen.

Tabelle 8: Kongruente Materialbilder zu den Gerüchen

Kiefer _{gering} Kiefer _{hoch}	Eiche _{gering} Eiche _{hoch}	OSB _{Ki-gering} OSB _{Ki-hoch}	OSB _{Pappel}	Kork
				

Quelle: Thünen-Institut/Christina Waitkus und eigene Darstellung

Die Software PsychoPy® (Peirce et al. 2019) wurde verwendet, um entweder das Materialbild oder aber eine zufällige Zahl auf einem Computerbildschirm darzustellen, der neben dem PureSniff XL platziert war. Zudem wurden mit dem Programm die Geruchsbewertungsskalen (jeweils vertikale 190-mm-Linie) präsentiert und die Bewertungen aufgezeichnet. Die Versuchspersonen wurden gebeten, die Hedonik, Intensität und Vertrautheit der präsentierten Gerüche zu bewerten (Anhang Abbildung 3). Die Bewertung der Hedonik („*Stellen Sie sich vor, Sie würden mehrere Stunden täglich der zu bewertenden Luft ausgesetzt. Wie angenehm ist der Geruch?*“) erfolgte auf einer numerischen 9-Punkteskala von -4 „*äußerst unangenehm*“ bis +4 „*äußerst angenehm*“, wobei nur die Endpunkte verbale Beschreibungen enthielten (DIN ISO 16000-28:2021). Für die Intensitätsbewertung („*Stellen Sie sich vor, Sie würden mehrere Stunden täglich der zu bewertenden Luft ausgesetzt. Wie intensiv ist der Geruch?*“) wurde eine standardisierte visuelle Analogskala (Green et al. 1996) verwendet. Diese zeichnete sich durch eine quasi-logarithmische Anordnung ihrer verbalen Label aus („*kaum wahrnehmbar*“, „*schwach*“, „*mäßig*“, „*stark*“, „*sehr stark*“, „*stärkste vorstellbare Geruchsintensität*“). Die Vertrautheit der Gerüche („*Wie vertraut ist Ihnen der Geruch?*“) wurde mit einer 4-stufigen verbalen Bewertungsskala erfasst („*sehr vertraut*“, „*vertraut*“, „*leicht vertraut*“, „*nicht vertraut*“).

2.3.3 Fragebögen

Um den Grad der Verbundenheit der Versuchspersonen zur Natur zu ermitteln, wurde die deutsche Übersetzung (Gallus et al. 2024) der *Nature Relatedness Scale* (NRS) (Nisbet et al. 2009) verwendet. Der Fragebogen besteht aus 21 Aussagen zur Natur und Umwelt (z. B. „Meine Beziehung zur Natur ist ein wichtiger Teil meiner Identität“). Die Teilnehmenden wurden gebeten, auf einer 5-stufigen Skala vom Likert-Typ anzugeben, inwieweit sie jeder Aussage zustimmen oder nicht, wobei 1 für „stimme völlig zu“ und 5 für „stimme überhaupt nicht zu“ stand. Die Antworten wurden umkodiert und der Mittelwert gebildet. Höhere Werte zeigten eine stärkere Naturverbundenheit an. Eine Versuchsperson wurde aufgrund unvollständiger Angaben von der Auswertung ausgeschlossen. Die NRS der verbliebenen Versuchspersonen ergab $M = 3,1$ ($SD = 0,25$).

Darüber hinaus wurde die *Odour Awareness Scale* (OAS) (Smeets et al. 2008) eingesetzt, um individuelle Unterschiede im Bewusstsein für Gerüche in der Umgebung zu erfassen. Der Gesamtwert (OAS) berechnet sich aus der Summe der Bewertungen aller 32 Items und kann zwischen 32 und 158 liegen, wobei höhere Werte auf ein größeres Bewusstsein für Umgebungsgerüche hinweisen. Zudem können durch die Auswahl bestimmter Items zwei Subskalen abgeleitet werden, die die Wahrnehmung von negativen (zu vermeidenden) Gerüchen (nOAS) sowie positiven (anziehenden) Gerüchen (pOAS) ausdrücken. Vier Versuchspersonen wurden aufgrund unvollständiger Angaben von der Auswertung ausgeschlossen. Die OAS, pOAS und nOAS der verbliebenen Versuchspersonen ergaben $M = 119$ ($SD = 13,2$), $M = 43$ ($SD = 5,7$) bzw. $M = 75$ ($SD = 8,5$). Als Referenzwerte geben Smeets et al. (2008) für den pOAS $M = 42$ ($SD = 5,2$) und für den nOAS $M = 73$ ($SD = 8,0$) an.

2.3.4 Versuchsablauf

Der Versuch fand im September 2022 statt. Die Versuchspersonen durchliefen den Versuch einzeln und nacheinander. Sie wurden über den Zweck der Studie informiert: „Bezüglich der Luftqualität stand in den letzten Jahren vorrangig die Außenluft im Fokus. Die meisten Menschen verbringen allerdings einen Großteil ihrer Zeit in Innenräumen. Gerade durch die moderne, luftdichte Bauweise können sich bei unzureichender Lüftung Emissionen von Baustoffen und Einrichtungsgegenständen im Innenraum anreichern. In dieser Studie wird untersucht, wie die Emissionen dieser Produkte geruchlich wahrgenommen und bewertet werden.“

Der Versuch umfasste die folgenden Schritte: Demografischer Fragebogen, „Sniffin' Sticks“ 16-Item-Identifikationstest, Übungsdurchgang zur Geruchsbewertung (um die Versuchspersonen mit dem Bewertungsprozess vertraut zu machen; Gerüche: Zitronengeruch ohne Bild und Orangengeruch mit entsprechendem Materialbild), 1. Durchgang zur Geruchsbewertung, NRS-Fragebogen, 2. Durchgang zur Geruchsbewertung, OAS-Fragebogen. Zwischen den beiden Durchgängen zur Geruchsbewertung gab es eine etwa 10-minütige Pause. Die Versuchspersonen wurden nicht darüber informiert, dass ihnen dieselben Gerüche zweimal präsentiert wurden. Das gesamte Experiment dauerte etwa 1 Stunde und 15 Minuten. Der Versuch wurde mit einer Aufwandsentschädigung vergütet.

2.3.5 Datenanalyse

Die Datenauswertung erfolgte mit der Statistiksoftware R (R Core Team 2021). Das Signifikanzniveau wurde für alle statistischen Tests auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Boxplots (Anhang Abbildung 4) wurden verwendet, um die Verteilung der Messwerte zu visualisieren.

Vertrautheit: Die Vertrautheit der Gerüche wurde anhand einer ordinalen Skala bewertet, sodass für die Auswertung der Daten nicht-parametrische Tests zur Anwendung kamen. Ein nichtparametrisches Äquivalent zu einer zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung ist derzeit nicht verfügbar. Daher wurde die Vertrautheitsskala umcodiert („sehr vertraut“ = 4, „vertraut“ = 3, „leicht vertraut“ = 2, „nicht vertraut“ = 1) und für jede Versuchsperson wurde die Summe der Bewertungen über alle Gerüche, separat für beide Bildbedingungen, berechnet. Die Differenzen zwischen den aufsummierten Vertrautheitsbewertungen für die

Bild- und Nicht-Bild-Bedingung waren gemäß dem Shapiro-Wilk-Test normalverteilt ($W = 0,98, p = 0,771$). Demzufolge wurde ein gepaarter t-Test durchgeführt, um den Einfluss des visuellen Kontextes zu bestimmen. Um den Einfluss des Materialbildes für jeden Geruch einzeln zu bewerten, wurden Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests separat für jeden Geruch durchgeführt (die Verteilung der Differenzen war basierend auf der visuellen Inspektion der Histogramme symmetrisch), wobei die p-Werte mit dem Benjamini-Hochberg (BH)-Verfahren (Benjamini und Hochberg 1995) korrigiert wurden.

Hedonik: Um den Einfluss der Holzgerüche (Innersubjektfaktor mit 8 Stufen) und des visuellen Kontextes (Innersubjektfaktor mit 2 Stufen) auf die Hedonikbewertung der Gerüche zu untersuchen, wurde ein lineares gemischtes Modell unter Verwendung des lmerTest-Pakets (Kuznetsova et al. 2017) erstellt. Das Modell umfasste die Haupteffekte, deren Interaktion sowie die Teilnehmenden (ID) als zufällige Effekte: $\text{Hedonik} \sim \text{Geruch} \times \text{Bild} + (1|\text{ID})$. Die Modellannahmen (Normalverteilung der Residuen, Normalverteilung der zufälligen Effekte, Linearität, Homoskedastizität) wurden visuell überprüft (Anhang Abbildung 5) unter Anwendung der Funktion `check_model()` (performance-Paket (Lüdecke et al. 2021)). Eine ANOVA wurde durchgeführt, um den Einfluss der Faktoren auf die Hedonikbewertung zu ermitteln, gefolgt von Post-hoc-Tests unter Verwendung von `emmeans()` (emmeans-Paket (Lenth 2023)). Im Falle multipler Vergleiche wurden die p-Werte mit der BH-Methode korrigiert.

Intensität: Da die Residuen nicht normalverteilt waren (visuell überprüft mit der Funktion `check_model()`, Anhang Abbildung 6), konnte kein lineares gemischtes Modell ($\text{Intensität} \sim \text{Geruch} \times \text{Bild} + (1|\text{ID})$) berechnet werden, um den Einfluss des visuellen Kontextes und der Gerüche auf die Intensitätsbewertung zu ermitteln. Stattdessen wurde mittels `RM()`-Funktion aus dem MANOVA.RM-Paket (Friedrich et al. 2023) eine ANOVA mit Messwiederholung durchgeführt. Diese Resampling-basierte Analyse (Anzahl der Iterationen: 10.000, Seed: 123) eignet sich für Studien mit Messwiederholung in semi-parametrischen faktoriellen Designs (beispielsweise, wenn keine Normalverteilung der Residuen vorliegt). Mittels Post-hoc-Tests (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests mit BH-korrigierten p-Werten) wurden signifikante Unterschiede hinsichtlich der Intensitätsbewertung zwischen den Gerüchen ermittelt.

Korrelationen zwischen den Geruchsbewertungen: Die Korrelationskoeffizienten von Spearman (signifikant, wenn $p < 0,05$) wurden getrennt für jeden Geruch (Bewertungen mit und ohne Materialbild wurden einbezogen) berechnet, um die Zusammenhänge zwischen den abhängigen Variablen (Hedonik, Vertrautheit, Intensität) zu untersuchen.

2.4 Umfrage auf der Grünen Woche (Messe)

2.4.1 Teilnehmende und Ablauf

Das Thünen-Institut für Holzforschung war auf der Grünen Woche in Berlin (19. bis 28.01.2024), einer Messe für Ernährungswirtschaft, Landwirtschaft und Gartenbau, mit einem Messestand vertreten. Für die Messebesucher:innen wurde eine Umfrage erstellt, in der sie fünf Gerüche von Holzprodukten hinsichtlich ihrer Hedonik bewerten sollten. Wer wollte, konnte zudem einen Fragebogen mit Fragen zur Person ausfüllen (Anhang Abbildung 7). Der Versuch war freiwillig und konnte jederzeit abgebrochen werden. Es wurden keine personenbezogenen Daten erfasst.

Bei den Gerüchen handelte es sich um Kiefern-, Fichten-, Eichen- und Buchenholz sowie einer OSB aus Kiefernholz, die allesamt zerspant wurden. Die Geruchsflaschen wurden damit vollständig (Eiche, Buche, Fichte), zur Hälfte (OSB) bzw. etwa zu einem Viertel (Kiefer) gefüllt (Abbildung 10). Nichtsdestotrotz unterschied sich die Intensität der Gerüche, wobei Kiefernholz und OSB am intensivsten waren. Für die Umfrage wurde ein gemischter faktorieller Versuchsplan (*Mixed-factorial Design*) gewählt – einer Versuchsgruppe wurde jeweils das Holzprodukt genannt, der anderen Versuchsgruppe nicht (Zwischensubjektfaktor: Kontext, Innersubjektfaktor: Geruch). Die Bewertung der Hedonik („*Stellen Sie sich vor, Sie wären mehrere Stunden täglich dem Geruch ausgesetzt. Wie angenehm ist der Geruch?*“) erfolgte auf einer numerischen 9-Punkteskala von -4 „*äußerst unangenehm*“ bis +4 „*äußerst angenehm*“, wobei nur die Endpunkte verbale Beschreibungen enthielten (Anhang Abbildung 8) (DIN ISO 16000-28:2021). Die Reihenfolge der Gerüche war randomisiert. Den Teilnehmenden wurde jeweils eine Geruchsflasche unter die Nase gehalten, und anschließend gaben sie ihre Bewertung ab. Wenn gewünscht, konnte auch wiederholt an den Flaschen gerochen werden. Mehrere Geruchsflaschensets waren verfügbar und wurden getauscht, wenn bei der Versuchsleitung der Eindruck entstand, dass die Geruchsintensität einzelner Gerüche nachließ.

An der Umfrage nahmen 183 Messebesucher:innen teil. Die Bewertung der Gerüche sowie die Beantwortung der Fragen erfolgte über LimeSurvey (LimeSurvey GmbH.) auf einem iPad. Mangels einer kontinuierlichen Internetverbindung gaben 61 Teilnehmer:innen die Antworten in Papierform ab.

Abbildung 10: Geruchsset in Glasflaschen



Kodierung der Geruchsflaschen:

K = Kiefernholz, B = Buchenholz, E = Eichenholz, F = Fichtenholz, O = OSB aus Kiefernholz

Quelle: Thünen-Institut/Katja Butter

2.4.2 Datenanalyse

Die Datenauswertung erfolgte mit der Statistiksoftware R (R Core Team 2021). Das Signifikanzniveau wurde für alle statistischen Tests auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Boxplots (Anhang Abbildung 4) wurden verwendet, um die Verteilung der Messwerte zu visualisieren. Für die Auswertung wurden nur Personen berücksichtigt im

Altersbereich zwischen 15 bis 64 Jahren (n = 144). Ob beide Versuchsgruppen (mit Kontext, ohne Kontext) hinsichtlich der Kriterien des Fragebogens vergleichbar waren, wurde mittels Chi-Quadrat-Tests geprüft.

Die Abhängigkeit der Hedonik von dem Holzprodukt (5 Produkte) und dem Kontext (Mitteilen des Holzproduktes: Ja / Nein) sollte geprüft werden. Aufgrund der Nichteinhaltung der Modellvoraussetzungen (keine Normalverteilung der Residuen, Anhang Abbildung 9) konnte kein lineares gemischtes Modell ($\text{Hedonik} \sim \text{Holzprodukt} \times \text{Kontext} + (1|\text{ID})$) berechnet werden. Stattdessen wurde mittels RM()-Funktion aus dem MANOVA.RM-Paket (Friedrich et al. 2023) eine ANOVA mit Messwiederholung durchgeführt. Diese Resampling-basierte Analyse (Anzahl der Iterationen: 10.000, Seed: 123) eignet sich für Studien mit Messwiederholung in semi-parametrischen faktoriellen Designs (beispielsweise, wenn keine Normalverteilung der Residuen vorliegt). Post-hoc-Tests (für jedes Holzprodukt ein Mann-Whitney-U-Tests, aufgrund Mehrfachtestung erfolgte eine Adjustierung der p-Werte mit BH-Methode) wurden durchgeführt, um festzustellen, bei welchen Holzprodukten sich die Hedonikbewertung zwischen den beiden Versuchsgruppen unterschied.

2.5 Versuch *Psychologischer Kontext*

2.5.1 Videovalidierung (Onlinestudie)

2.5.1.1 Videos

Drei Videos (Tabelle 9) wurden erstellt, die aus Videosequenzen von YouTube sowie selbst erstellten PowerPoint-Folien bestanden, die neu eingesprochen wurden (Transkripte: Anhang Tabelle 2, Anhang Tabelle 3). Das PLACEBO- und NOCEBO-Video gliederte sich in einen allgemeinen Teil, der die Versuchspersonen über Innenräume, VOCs, Gerüche und Bauprodukte informierte, sowie in einen Abschnitt, in dem verstärkt auf die gesundheitlichen Auswirkungen von VOCs bzw. Gerüchen im Innenraumkontext eingegangen wurde. Der wesentliche Unterschied beider Videos bezog sich auf die vorteilhaften (PLACEBO) bzw. nachteiligen (NOCEBO) Wirkungen von VOCs bzw. Gerüchen auf das menschliche Wohlbefinden und die Gesundheit (Tabelle 9). Beide Videos enthielten keine Falschaussagen, stellten aber jeweils nur einen Teil der Wahrheit dar, ließen also bewusst Informationen weg.

Tabelle 9: Erstellte Videos für den Versuch *Psychologische Kontext*

Video	Dauer	Kernaussage
PLACEBO-Video	5:09 min	VOC bzw. Gerüche aus Bauprodukten fördern tendenziell die Gesundheit
NOCEBO-Video	5:34 min	VOC bzw. Gerüche aus Bauprodukten beeinträchtigen tendenziell die Gesundheit
Aufklärungsvideo	2:07 min	Aufklärung der Versuchspersonen über Manipulation durch PLACEBO-/NOCEBO-Video

Quelle: eigene Darstellung

2.5.1.2 Versuchsablauf

Es handelte sich bei dem Versuch um eine Onlinestudie, die über LimeSurvey (LimeSurvey GmbH.) und Psychopy® (Peirce et al. 2019) durchgeführt wurde. Die Versuchspersonen wurden über den Zweck der Studie folgendermaßen informiert: „Zur Aufklärung über die Emissionen von VOC (flüchtige organische Verbindungen) aus Bauprodukten wurde ein Video erstellt, dass im Rahmen eines Forschungsprojektes eingesetzt werden soll. In dieser Online-Studie soll das Video evaluiert werden.“ Für die Studie wurde ein Between-Subject-Design gewählt, sodass ein Teil der Versuchspersonen das PLACEBO-Video und der andere Teil das NOCEBO-Video gesehen hat. Der Versuchsablauf kann Tabelle 10 entnommen werden. Der gesamte Versuch dauerte etwa 1 Stunde und wurde mit einer Aufwandsentschädigung vergütet.

Tabelle 10: Versuchsablauf der Onlinestudie zur Videovalidierung

PF	Quelle	Akronym	Aufbau	Charakterisierung
1.	L	-	-	Demografischer Fragebogen
2.	L (Borkenau und Ostendorf 2007)	NEO-FFI	60 Aussagen über die eigene Person, deren Zutreffen auf einer 5-stufigen Skala (starke Zustimmung, Zustimmung, neutral, Ablehnung, starke Ablehnung) erfolgt	Fragebogen (<i>NEO-Fünf-Faktoren-Inventar</i>) zur Selbstbeschreibung, der die sogenannten „Big Five“ erfasst: Neurotizismus, Extraversion, Offenheit für Erfahrungen, Verträglichkeit und Gewissenhaftigkeit
3.	L (Breyer und Bluemke 2016)	(Pre-) PANAS	20 Adjektive, die Gefühle und Empfindungen ausdrücken; Übereinstimmung, inwiefern diese im Moment zutreffen auf einer 5-stufigen Skala (<i>gar nicht, ein bisschen, einigermaßen, erheblich, äußerst</i>)	Fragebogen (<i>Positive and Negative Affect Schedule</i>) zur Erfassung von Emotionen und Gemütszuständen
4.	P	-	Video	Sehen des PLACEBO- oder NOCEBO-Videos
5.	L Siehe (Pre-) PANAS	(Post-) PANAS	Siehe (Pre-)PANAS	Siehe (Pre-)PANAS
6.	P Siehe Kapitel 2.5.1.3	ODOR-IAT	Reaktionszeit, die Versuchspersonen benötigen, um Wörter bestimmten Kategorien zuzuordnen	Impliziter Assoziationstest, angewendet auf Konzept Geruch und Krankheit versus Gesundheit, zur Erfassung impliziter Einstellungen zu Gerüchen aus Bauprodukten und Gesundheit
7.	P	Explizite Einstellung	3 Aussagen zur gesundheitlichen Wirkung von Gerüchen aus Bauprodukten; Bewertungsskala von 0 (stimme überhaupt nicht zu) bis 100 (stimme vollständig zu)	Explizite Einstellung zur gesundheitlichen Wirkung von Bauproduktgerüchen
8.	P	-	Video	Sehen des Aufklärungsvideos

PF = Plattform, L = LimeSurvey, P = Psychopy®

Quelle: eigene Darstellung

2.5.1.3 Impliziter Assoziationstest: ODOR-IAT

Mit einem impliziten Assoziationstest (IAT) wurde untersucht, inwieweit Gerüche intrinsisch eher mit den Konzepten Gesundheit oder aber Krankheit assoziiert werden. Der IAT wurde von Greenwald et al. (1998) entwickelt und von Bulsing et al. (2009) angewandt, um die implizite Assoziation zwischen Geruch und Krankheit zu erfassen (ODOR-IAT). In der vorliegenden Studie wurde ein den Studienzielen angepasster ODOR-IAT eingesetzt, um festzustellen, ob die beiden Versuchsgruppen nach dem Anschauen der Videos unterschiedliche Assoziationen zwischen Geruch und Krankheit aufwiesen.

Wörter

Während des ODOR-IAT wurden auf dem Bildschirm Wörter aus vier Kategorien (*Geruch, Kleidung, krank, gesund*) präsentiert. Die Versuchspersonen mussten die Wörter so schnell wie möglich einer von zwei Kategorien zuordnen, indem sie die linke oder rechte Antworttaste („E“ bzw. „O“ auf der Tastatur) drückten. In einem Durchgang waren Wörter, die *Geruch* und *gesund* präsentierten, mit derselben Taste zu bestätigen. In einem weiteren Durchgang mussten hingegen Wörter, die *Geruch* und *krank* präsentierten, mit der gleichen Taste

zugeordnet werden. Aus der Reaktionsgeschwindigkeit in beiden Bedingungen lassen sich Rückschlüsse darauf ziehen, welche Konzepte stärker miteinander assoziiert sind.

Die Zielkonzepte (*Geruch* und *Kleidung*) und die dazugehörigen Beispielwörter entsprachen denen von Bulsing et al. (2009). *Kleidung* stellte eine neutrale Referenzkategorie dar, da angenommen wurde, dass weder das Konzept noch die Beispielwörter intrinsisch mit den Zuschreibungen gesund oder krank assoziiert werden. Die Beispielwörter der Zuschreibungskategorien (*gesund* und *krank*) wurden in Anlehnung an Bulsing et al. (2009) ausgewählt, jedoch an den Kontext der aktuellen Studie angepasst und mit den Begriffen, die in den Videos verwendet wurden, in Einklang gebracht. Eine unabhängige Versuchspersonengruppe (Studierende und Mitarbeitende des Instituts für Holzwissenschaften (Universität Hamburg) sowie des Thünen-Instituts für Holzforschung, $n = 25$, 14 Frauen, Alter: $M = 30,2$ Jahre, $SD = 11,3$ Jahre, Altersspanne: 20 bis 59 Jahre) bewertete in einer Onlinestudie über LimeSurvey (LimeSurvey GmbH.) die Konzeptwörter sowie die dazugehörigen Beispielwörter hinsichtlich ihrer Gesundheit auf einer 5-stufigen Skala (1 = „ungesund“, 3 = „neutral“, 5 = „gesund“). Basierend auf den Wortbewertungen (Anhang Tabelle 4) sowie der Überprüfung von Wortlänge und Worthäufigkeit (Leipzig Corpora Collection 2022), um vergleichbare Wortkategorien in den Ziel- und Zuschreibungskonzepten zu gewährleisten, wurden die finalen Beispielwörter für den ODOR-IAT festgelegt (Tabelle 11).

Tabelle 11: Ziel- und Zuschreibungskonzepte mit den entsprechenden Beispielwörtern des ODOR-IAT

Zielkonzepte		Zuschreibungskonzepte	
Geruch	Kleidung	gesund	krank
Hauch	Mantel	lebendig	Allergie
Aroma	Hose	Entspannung	krebsfördernd
riechen	Socken	wohltuend	schädlich
Nase	Schuhe	erholt	giftig
Duft	Hemd	vital	unwohl

Quelle: eigene Darstellung

Bezüglich der Gesundheit wurden die Konzeptwörter *Geruch* und *Kleidung* sowie die dazugehörigen Beispielwörter als neutral bewertet, wohingegen die Konzeptwörter *gesund* und *krank* sowie die dazugehörigen Beispielwörter als gesund bzw. ungesund bewertet wurden (Tabelle 12).

Tabelle 12: Bewertung der Gesundheit der Konzeptwörter und der Beispielwörter des Konzeptes

Wörter	Bewertung	Wörter	Bewertung
Kategorie Kleidung	$M = 3,0$, $SD = 0,0$	Kategorie krank	$M = 1,0$, $SD = 0,2$
Beispielwörter Kleidung	$M = 3,1$, $SD = 0,4$	Beispielwörter krank	$M = 1,4$, $SD = 0,7$
Kategorie Geruch	$M = 3,4$, $SD = 0,8$	Kategorie gesund	$M = 4,9$, $SD = 0,4$
Beispielwörter Geruch	$M = 3,4$, $SD = 0,7$	Beispielwörter gesund	$M = 4,5$, $SD = 0,7$

5-stufige Bewertungsskala, 1 = „ungesund“, 3 = „neutral“, 5 = „gesund“

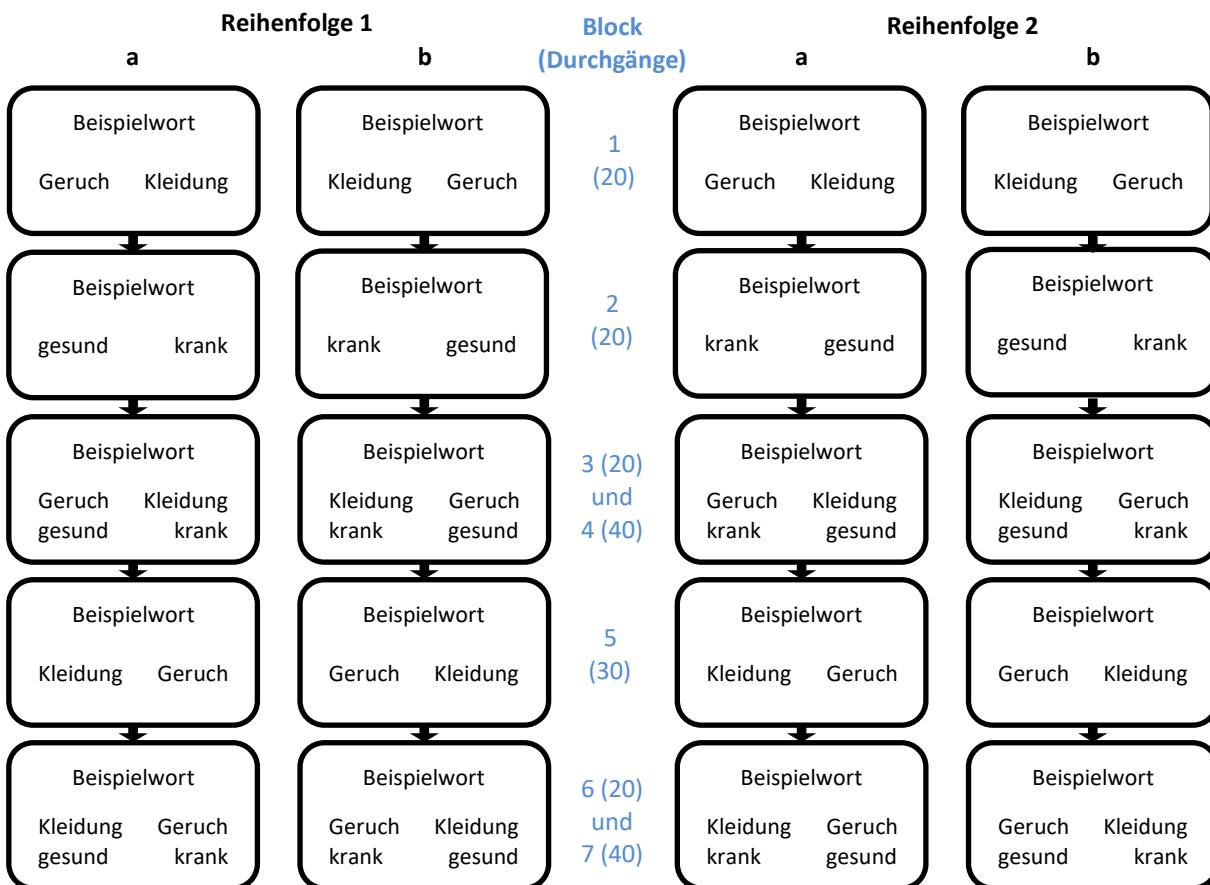
Quelle: eigene Darstellung

Ablauf

Der Ablauf des ODOR-IAT erfolgte gemäß Greenwald et al. (2022) (Abbildung 11). Die Durchführung des ODOR-IAT erfolgte online (Vollbild-Modus) mit der Software Psychopy®. Die Zielkonzepte mit den dazugehörigen Beispielwörtern wurden in schwarzer und die Zuschreibungseffekte mit den dazugehörigen Beispielwörtern in blauer Schriftfarbe präsentiert. In den kombinierten Blöcken (Block 3, 4, 6 und 7) war die Anzahl der aufeinander folgenden Durchgänge, bei denen die gleiche Taste gedrückt werden musste, auf vier beschränkt. Das Intervall zwischen dem Drücken einer Taste in Durchgang n und der Präsentation des nächsten Wortes (Durchgang $n+1$)

betrug 400 ms. Die Versuchspersonen bekamen die Instruktion, so schnell wie möglich die Zuordnung der Wörter zu den Kategorien durchzuführen und dabei aber so wenig Fehler wie möglich zu machen. Wenn die Versuchspersonen bei der Zuordnung einen Fehler machten, erschien „FALSCH“ auf dem Bildschirm und der Durchgang war damit beendet. Die Reihenfolgen des ODOR-IAT (Abbildung 11) waren über die Versuchspersonen ausbalanciert (Tabelle 13) – ob Variante a oder b ausgeführt wurde, war allerdings zufällig. Der D-Wert, der als Maß für die Assoziationsstärke dient, wurde aus den Reaktionszeiten der Durchgänge in den Blöcken 3, 4, 6 und 7 berechnet. Versuchspersonen, die in mehr als 10 % der Durchgänge in diesen Blöcken eine Reaktionszeit von weniger als 300 ms benötigten, wurden von der Auswertung ausgeschlossen. Bei fehlerhaften Durchgängen setzte sich die Reaktionszeit aus den durchschnittlichen Reaktionszeiten der korrekten Durchgänge des jeweiligen Blockes zuzüglich einer zusätzlichen Zeitstrafe von 600 ms zusammen.

Abbildung 11: Design des ODOR-IAT



Anmerkung: Nacheinander werden von den Versuchspersonen die einzelnen Blöcke ausgeführt. In jedem Block müssen sie die in der Mitte des Bildschirms angezeigten Beispielwörter den entsprechenden Kategorien zuordnen (Taste „E“ für die linke Kategorie und Taste „O“ für die rechte Kategorie). In den Blöcken 3 und 4 sowie 6 und 7 wird abwechselnd ein Wort aus den Ziel- und Zuschreibungskonzepten präsentiert. In den Blöcken 3 und 4 wird entweder zuerst *Geruch* und *gesund* mit derselben Taste bestätigt (Reihenfolge 1) oder zuerst *Geruch* und *krank* (Reihenfolge 2). In den Blöcken 6 und 7 erfolgt die Zuordnung dann umgekehrt. Innerhalb jeder Reihenfolge gibt es zwei Varianten (a und b), je nachdem, welche Kategorien den Tasten „E“ oder „O“ zugewiesen sind.

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 13: Ausbalanciertes Design des ODOR-IAT über die Versuchsgruppen

	PLACEBO-Versuchsgruppe	NOCEBO-Versuchsgruppe
Versuchspersonenanzahl - Reihenfolge 1	40	41
Versuchspersonenanzahl - Reihenfolge 2	40	41

Quelle: eigene Darstellung

Vortest zur Testvalidierung

Zur Testvalidierung und Erzeugung eines Referenzwertes wurde ein Online-Vortest durchgeführt, in dem eine unabhängige Versuchspersonengruppe (Studierende und Mitarbeitende des Instituts für Holzwissenschaften (Universität Hamburg) sowie des Thünen-Instituts für Holzforschung sowie Bekannte, n= 40, 18 Frauen, Alter: M = 39,8 Jahre, SD = 11,6 Jahre, Altersspanne: 18 bis 59 Jahre) den ODOR-IAT (Ablauf: wie bereits beschrieben, Dauer: ca. 10 min, Reihenfolgen: ausbalanciert) durchgeführt hat. Die Versuchspersonen wurden darüber informiert, dass es sich um einen Pretest handelt, dessen Ergebnisse benötigt werden für einen späteren weiteren Test mit einer anderen Versuchspersonengruppe.

2.5.1.4 Versuchspersonen

An der Studie nahmen 185 Versuchspersonen (Teilnahmevoraussetzungen: 18 Jahre, Deutschkenntnisse auf muttersprachlichem Niveau, rekrutiert über das Online-Verwaltungssystems für Studien des IfADo) teil. Alle Personen willigten der Studienteilnahme und der Datenverarbeitung ein. Nur die Ergebnisse von 162 Versuchspersonen wurden in die Datenauswertung einbezogen, weil einzelne Personen aus den folgenden Gründen ausgeschlossen wurden:

- (1) 4 Versuchspersonen: Mehrmaliges Durchführen des Versuchs
- (2) 10 Versuchspersonen: zu lange Dauer des gesamten Tests bzw. einzelner Testabschnitte
- (3) 9 Versuchspersonen: Kriterien des ODOR-IAT wurden nicht erfüllt (siehe Kapitel 2.5.1.3)

2.5.1.5 Datenanalyse

Die Datenauswertung erfolgte mit der Statistiksoftware R (R Core Team 2021). Das Signifikanzniveau wurde für alle statistischen Tests auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Boxplots (Anhang Abbildung 4) wurden verwendet, um die Verteilung der Messwerte zu visualisieren.

Alter- und Geschlechtsverteilung: Um zu überprüfen, ob die Geschlechtsverteilung in beiden Gruppen gleich war, wurde ein Chi-Quadrat-Test durchgeführt. Da gemäß Shapiro-Wilk-Test (PLACEBO: W = 0,79, p < 0,001, NOCEBO: W = 0,74, p < 0,001) keine Normalverteilung des Alters vorlag, wurde ein Mann-Whitney-U-Test durchgeführt, um zu testen, ob sich das Alter in beiden Gruppen signifikant voneinander unterschied.

NEO-FFI-Fragebogen: Die Bewertungsskala wurde umcodiert („Starke Ablehnung“ = 0, „Ablehnung“ = 1, „Neutral“ = 2, „Zustimmung“ = 3, „Starke Zustimmung“ = 4). Die Verschlüsselungsrichtung von 27 Items, bei denen eine starke Zustimmung im Sinne einer geringen Merkmalsausprägung gewertet wurde, musste anschließend umgepolt werden. Zuletzt mussten die Summenwerte getrennt für die fünf Skalen (bestehend aus je 12 Items) gebildet werden (Borkenau und Ostendorf 2007). Um Gruppenunterschiede in den Persönlichkeitsmerkmalen zu ermitteln, wurden t-Tests für unabhängige Stichproben (Testvoraussetzungen waren erfüllt, Tabelle 14) separat für jedes der fünf Merkmale durchgeführt, wobei die p-Werte mit dem BH-Verfahren (Benjamini und Hochberg 1995) korrigiert wurden.

Tabelle 14: NEO-FFI: Voraussetzungen für t-Tests für unabhängige Stichproben

	Neurotizismus	Extraversion	Offenheit für Erfahrungen	Verträglichkeit	Gewissenhaftigkeit
Normalverteilung	P: W = 0,98, p = 0,394 N: W = 0,98, p = 0,375	P: W = 0,99, p = 0,827 N: W = 0,99, p = 0,480	P: W = 0,99, p = 0,454 N: W = 0,98, p = 0,402	P: W = 0,98, p = 0,149 N: W = 0,99, p = 0,855	P: W = 0,98, p = 0,376 N: W = 0,98, p = 0,273
Varianzhomogenität	F(1,160) = 0,22, p = 0,643	F(1,160) = 2,57, p = 0,111	F(1,160) = 0,01, p = 0,914	F(1,160) = 0,01, p = 0,912	F(1,160) = 2,13, p = 0,146

Test auf Normalverteilung: Shapiro-Wilk-Test

Test auf Varianzhomogenität: Levene-Test

Quelle: eigene Darstellung

PANAS-Fragebogen: Die Bewertungsskala wurde umcodiert ("gar nicht" = 1, "ein bisschen" = 2, "einigermaßen" = 3, "erheblich" = 4, "äußerst" = 5). Jeweils 10 Adjektive erfassten die Dimensionen *Positiver Affekt* (PA) und *Negativer Affekt* (NA), wobei für jede Dimension der Mittelwert gebildet wurde. Der Fragebogen wurde bevor (Pre-PANAS) und nachdem (Post-PANAS) das Video angesehen wurde, ausgefüllt. Die Datenauswertung erfolgte getrennt für die beiden Dimensionen PA und NA.

Um den Einfluss der Videos (Zwischensubjektfaktor mit 2 Stufen: PLACEBO, NOCEBO) und der Zeitpunkte (Innersubjektfaktor mit zwei Stufen: Pre, Post) auf die PA zu untersuchen, wurde ein lineares gemischtes Modell unter Verwendung des lmerTest-Pakets (Kuznetsova et al. 2017) erstellt. Das Modell umfasste die Haupteffekte, deren Interaktion sowie die Teilnehmenden (ID) als zufällige Effekte: PA ~ Video × Zeitpunkt + (1|ID). Die Modellannahmen (Normalverteilung der Residuen, Normalverteilung der zufälligen Effekte, Linearität, Homoskedastizität) wurden visuell überprüft (Anhang Abbildung 10) unter Anwendung der Funktion check_model() (performance-Paket (Lüdecke et al. 2021)). Eine ANOVA wurde durchgeführt, um den Einfluss der Faktoren auf die PA zu ermitteln.

Da Normalverteilung der Residuen und zufälligen Effekte nicht gegeben waren (visuell überprüft mit der Funktion check_model()), konnte kein lineares gemischtes Modell (NA ~ Video × Zeitpunkt + (1|ID)) berechnet werden, um den Einfluss der Videos und der Zeitpunkte auf die NA zu ermitteln. Stattdessen wurde mittels RM()-Funktion aus dem MANOVA.RM-Paket (Friedrich et al. 2023) eine ANOVA mit Messwiederholung durchgeführt. Diese Resampling-basierte Analyse (Anzahl der Iterationen: 10.000, Seed: 123) eignet sich für Studien mit Messwiederholung in semi-parametrischen faktoriellen Designs (beispielsweise, wenn keine Normalverteilung der Residuen vorliegt). Anschließend wurde ein Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test (mit BH-korrigierten p-Werten) separat für jede Versuchspersonengruppe (PLACEBO, NOCEBO) durchgeführt (die Verteilung der Differenzen war basierend auf der visuellen Inspektion der Histogramme symmetrisch), um den Einfluss des Zeitpunktes (Pre, Post) auf die NA zu ermitteln.

ODOR-IAT: Ein t-Test für unabhängige Stichproben wurde durchgeführt, um zu prüfen, ob die beiden Versuchsgruppen unterschiedliche D-Werte aufwiesen. Normalverteilung der Daten innerhalb der Gruppen (Shapiro-Wilk-Test, PLACEBO: W = 0,99, p = 0,891, NOCEBO: W = 0,98, p = 0,420) und Varianzhomogenität (Levene-Test, F(1,160) = 0,09, p = 0,762) waren gegeben. Zudem wurde eine einfaktorielle ANOVA (Normalverteilung der Residuen Shapiro-Wilk-Test, W = 1,00, p = 0,841, Varianzhomogenität: Levene-Test, F(2,199) = 1,70, p = 0,186) berechnet, um zu prüfen, ob sich die D-Werte zwischen dem Vortest (ohne Videobeeinflussung) und den beiden Versuchsgruppen mit Videobeeinflussung unterschieden. Anschließend erfolgten Mittelwertvergleiche unter Verwendung von emmeans() (emmeans-Paket (Lenth 2023)) mit korrigierten p-Werten nach BH.

Explizite Einstellung zur gesundheitlichen Wirkung von Bauproduktgerüchen: Inwiefern sich die expliziten Einstellungen gegenüber der gesundheitlichen Wirkung von Bauprodukten infolge der Videos zwischen beiden Versuchsgruppen unterschieden, wurde mittels t-Test für unabhängige Stichproben bzw. dem nicht-parametrischen Pendant ermittelt, wobei die p-Werte mit dem BH-Verfahren korrigiert wurden. Alle Tests wurden einseitig durchgeführt, da konkrete Vermutungen bestanden, welche Gruppen (PLACEBO, NOCEBO) eher den Aussagen zustimmen (Tabelle 15).

Tabelle 15: Explizite Einstellung: Voraussetzungen für Tests auf Gruppenunterschiede

	Aussage 1: „Ich bin besorgt über die gesundheitliche Wirkung von Gerüchen aus Bauprodukten.“	Aussage 2: „Gerüche von Bauprodukten können die Gesundheit negativ beeinflussen.“	Aussage 3: „Gerüche von Bauprodukten können die Gesundheit fördern.“
Normalverteilung	P: W = 0,95, p = 0,004 N: W = 0,97, p = 0,041 Q-Q-Plot: normalverteilt	P: W = 0,95, p = 0,002 N: W = 0,93, p < 0,001 Q-Q-Plot: normalverteilt	P: W = 0,88, p < 0,001 N: W = 0,77, p < 0,001 Q-Q-Plot: nicht normalverteilt
Varianzhomogenität	F(1,160) = 0,59, p = 0,445	F(1,160) = 2,09, p = 0,150	F(1,160) = 29,96, p < 0,001
Test	t-Test für unabhängige Stichproben	t-Test für unabhängige Stichproben	Mann-Whitney-U-Test
Alternativhypothese	M (NOCEBO) > M (PLACEBO)	M (NOCEBO) > M (PLACEBO)	Mittlere Ränge (NOCEBO) < mittlere Ränge (PLACEBO)

P = PLACEBO-Versuchsgruppe, N = NOCEBO-Versuchsgruppe

Test auf Normalverteilung: Shapiro-Wilk-Test sowie visuelle Prüfung des Q-Q-Plots

Test auf Varianzhomogenität: Levene-Test

Quelle: eigene Darstellung

2.5.2 Hauptversuch

2.5.2.1 Versuchspersonen

An der Studie nahmen 66 Versuchspersonen (Nichtraucher:innen; keine Erkrankungen, die den Geruchssinn beeinflussen könnten; keine Teilnahme am Versuch zum visuellen Kontext und an der Online-Studie zur Videovalidierung⁴) teil. Studierende und Mitarbeitende des Instituts für Holzwissenschaften der Universität Hamburg sowie des Thünen-Instituts für Holzforschung wurden ausgeschlossen. Die Versuchspersonen wurden gebeten, kein Parfüm, Deodorant, Bodylotion oder Kosmetika mit starkem Eigengeruch zu verwenden, da dies ihre Geruchswahrnehmung stören könnte. Außerdem sollten sie mindestens 30 Minuten vor und während des Experiments nichts essen oder trinken (außer Wasser). Alle Teilnehmenden gaben vor ihrer Teilnahme eine schriftliche Einverständniserklärung ab, dass sie über Art und Umfang der Erhebung und der Datenauswertung informiert wurden. Die Videos (NOCEBO, PLACEBO, Aufklärungsvideo) wurden im Vorfeld von der Ethikkommission des IfADo geprüft. Ein gesonderter Ethikantrag bzw. Addendum war nach Rücksprache mit dem Vorsitzenden nicht erforderlich, da sich der Versuchsablauf des Experiments zum Versuch *Visueller Kontext* (Genehmigungsnummer 202) im Wesentlichen lediglich durch das zusätzliche Zeigen der Videos unterschied.

Die Riechfähigkeit der Versuchspersonen wurde mit dem „Sniffin' Sticks“ 16-Item-Identifikationstest (Burghart Messtechnik GmbH, Holm, Deutschland) geprüft. Dabei mussten mindestens 10 von 16 alltäglichen Gerüchen aus vier möglichen Antwortoptionen korrekt identifiziert werden. Zwei Personen wurden ausgeschlossen, da sie den Test nicht bestanden. Die verbliebenen 64 Versuchspersonen (Sniffin' Sticks-Ergebnis: $M_{PLACEBO} = 13,6$, $SD = 1,13$, $M_{NOCEBO} = 12,8$, $SD = 1,35$) absolvierten den gesamten experimentellen Ablauf.

2.5.2.2 Gerüche

Die gleichen Holzprodukte wie im Versuch *Visueller Kontext* (Kapitel 2.3.2, Tabelle 6) wurden verwendet (OSB_{Pappel}, OSB_{Kiefer} und Kork stammten aus der gleichen Produktions- bzw. Paketcharge; die Kiefern- und Eichenholzproben stammten hingegen von anderen Bohlen). Es wurde angestrebt, dieselbe Zusammensetzung und Konzentration der VOCs in den Gerüchen zu erzeugen. Die Methode zur Bereitstellung der Gerüche, indem

⁴ Das Erfüllen der Teilnahmekriterien wurde vorab per E-Mail abgeklärt.

Emissionsprüfkammern beladen und Gasprobenbeuteln mit der Abluft dieser Kammern befüllt wurden, blieb unverändert (Beladungsfaktor und Luftwechselrate wurden im Vergleich zu Tabelle 7 in Abhängigkeit von der Materialverfügbarkeit angepasst). Aufgrund von Schwankungen im Emissionsverhaltens der einzelnen Materialien war es teilweise notwendig, die Luftwechselrate am fünften Tag nach dem Befüllen der Prüfkammern anzupassen, um am sechsten Tag, dem Zeitpunkt des Abfüllens der Beutel, die beabsichtigten TVOC-Konzentrationen der Gerüche zu erzielen.

Aufgrund der Tatsache, dass die Essigsäurekonzentration in der Beutelluft mit zunehmender Lagerdauer der Beutel abnahm (Kapitel 3.3.1), wurde entschieden, die maximale Lagerdauer der Beutel vor ihrer Verwendung zur Geruchsprüfung auf sechs Tage zu beschränken. Dadurch musste der Versuch auf vier Versuchswochen verteilt werden, um eine ausreichende Anzahl an Versuchspersonen den Versuch durchlaufen zu lassen. Zudem wurde im ersten Versuch *Visueller Kontext* beobachtet, dass die Essigsäurekonzentrationen in der Beutelluft unmittelbar nach dem Befüllen im Vergleich zur Konzentration in der Emissionsprüfammer bereits reduziert war infolge von Interaktionen mit der Beutelwand (Kapitel 3.3.1). Um diesen Effekt möglicherweise zu verringern, wurden die Gasprobenbeutel dieses Mal bis zu dreimal wiederverwendet, allerdings immer für denselben Geruch. Die analytische VOC-Auswertung jedes verwendeten Geruchsbeutels sowie die Präsentation der Gerüche ohne und mit kongruentem Materialbild entsprach der Vorgehensweise wie im Versuch *Visueller Kontext* (Kapitel 2.3.2).

Ein gemischter faktorieller Versuchsplan (*Mixed-factorial design*) wurde eingesetzt, wobei Video (PLACEBO, NOCEBO) als Zwischensubjektfaktor und Geruch (8 Gerüche) sowie Bild (mit bzw. ohne Materialbild) als Innersubjektfaktoren betrachtet wurden. Den Teilnehmenden jeder Versuchsgruppe (PLACEBO, NOCEBO) wurden die Geruchssequenzen entsprechend dem Versuchsaufbau zum Visuellen Kontext (Anhang Abbildung 2) zugeordnet.

2.5.2.3 Versuchsablauf

Die vier Versuchswochen fanden im Zeitraum von Dezember 2023 bis Juni 2024 statt. Der Versuchsablauf entsprach im Allgemeinen dem Ablauf des Versuchs zum Visuellen Kontext (Kapitel 2.3.4). Es wurden jedoch folgende Ergänzungen vorgenommen:

- (1) Nach bestandenem „Sniffin' Sticks“ 16-Item-Identifikationstest (zur Überprüfung der Riechfähigkeit) wurde den Versuchspersonen das Video gezeigt (Windows Media Player, Vollbildmodus, Audio über Kopfhörer) mit der Information, dass sie darin über flüchtige organische Verbindungen und Gerüche aus Bauprodukten aufgeklärt werden. Es wurde abwechselnd entweder das PLACEBO- oder das NOCEBO-Video gezeigt. In den letzten beiden Versuchswochen wurde die Reihenfolge der Videos vereinzelt angepasst, um eine ähnliche Geschlechter- und Altersstruktur in beiden Versuchsgruppen sicherzustellen. Anschließend wurde die explizite Einstellung der Versuchspersonen zur gesundheitlichen Wirkung von Bauproduktgerüchen erfasst (Plattform: Software Psychopy®, siehe Onlinestudie zur Videovalidierung, Kapitel 2.5.1.2).
- (2) Nach dem Ausfüllen des NRS-Fragebogens sollten die Versuchspersonen eine offene Frage beantworten: „*Welche gesundheitlichen Wirkungen können VOC-Emissionen aus Bauprodukten haben? Antworten Sie in kurzen Stichpunkten.*“ Diese Frage diente dazu, dass sich die Versuchspersonen vor dem 2. Durchgang der Geruchsbewertung das Video mit seinen Inhalten erneut ins Gedächtnis rufen.
- (3) Nach Abschluss des Versuchs sahen die Versuchspersonen das Aufklärungsvideo, um sie über den Zweck der Studie und die während des Experiments durchgeführte Manipulation zu informieren.

Das gesamte Experiment dauerte etwa 1 Stunde und 30 Minuten. Der Versuch wurde mit einer Aufwandsentschädigung vergütet.

2.5.2.4 Datenanalyse

Die Datenauswertung erfolgte mit der Statistiksoftware R (R Core Team 2021). Das Signifikanzniveau wurde für alle statistischen Tests auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Boxplots (Anhang Abbildung 4) wurden verwendet, um die Verteilung der Messwerte zu visualisieren.

Alters- und Geschlechterverteilung, NRS und OAS: Um zu überprüfen, ob sich die Geschlechterverteilung in beiden Gruppen unterschied, wurde ein Chi-Quadrat-Test durchgeführt. Je nachdem, ob die Testvoraussetzungen erfüllt waren, wurde ein Mann-Whitney-U-Test bzw. ein t-Test für unabhängige Stichproben verwendet, um Unterschiede in den Versuchsgruppen bezüglich Alter, NRS, OAS, pOAS und nOAS zu erfassen (Tabelle 16).

Tabelle 16: Voraussetzungen für t-Tests für unabhängige Stichproben

	Alter	NRS	OAS	pOAS	nOAS
Normalverteilung	P: W = 0,91, p = 0,009 N: W = 0,94, p = 0,066	P: W = 0,97, p = 0,493 N: W = 0,98, p = 0,844	P: W = 0,97, p = 0,401 N: W = 0,97, p = 0,571	P: W = 0,97, p = 0,559 N: W = 0,97, p = 0,379	P: W = 0,95, p = 0,183 N: W = 0,97, p = 0,492
Varianzhomogenität	F(1,160) = 0,22, p = 0,643	F(1,62) = 0,08, p = 0,775	F(1,62) = 0,67, p = 0,415	F(1,62) = 0,38, p = 0,538	F(1,62) = 1,66, p = 0,202
Test	Mann-Whitney-U-Test	t-Test für unabhängige Stichproben (p-Werte mit dem BH-Verfahren korrigiert bei OAS, nOAS und pOAS)			

Test auf Normalverteilung: Shapiro-Wilk-Test

Test auf Varianzhomogenität: Levene-Test

Quelle: eigene Darstellung

Explizite Einstellung zur gesundheitlichen Wirkung von Bauproduktgerüchen: Inwiefern sich die expliziten Einstellungen gegenüber der gesundheitlichen Wirkung von Bauprodukten infolge der Videos zwischen beiden Versuchsgruppen unterschieden, wurde mittels t-Test für unabhängige Stichproben bzw. dem nicht-parametrischen Pendant ermittelt, wobei die p-Werte mit dem BH-Verfahren korrigiert wurden. Alle Tests wurden einseitig durchgeführt, da konkrete Vermutungen bestanden, welche Gruppen (PLACEBO, NOCEBO) eher den Aussagen zustimmen (Tabelle 17).

Tabelle 17: Explizite Einstellung: Voraussetzungen für Tests auf Gruppenunterschiede

	Aussage 1: „Ich bin besorgt über die gesundheitliche Wirkung von Gerüchen aus Bauprodukten.“	Aussage 2: „Gerüche von Bauprodukten können die Gesundheit negativ beeinflussen.“	Aussage 3 ^a : „Gerüche von Bauprodukten können die Gesundheit fördern.“
Normalverteilung	P: W = 0,93, p = 0,034 N: W = 0,91, p = 0,009	P: W = 0,92, p = 0,017 N: W = 0,77, p < 0,001	P: W = 0,92, p = 0,016 N: W = 0,77, p < 0,001
Varianzhomogenität	Q-Q-Plot: normalverteilt F(1,62) = 0,74, p = 0,394	Q-Q-Plot: nicht normalverteilt F(1,62) = 3,59, p = 0,063	Q-Q-Plot: nicht normalverteilt F(1,60) = 2,32, p = 0,133
Test	t-Test für unabhängige Stichproben	Mann-Whitney-U-Test	Mann-Whitney-U-Test
Alternativhypothese	M (NOCEBO) > M (PLACEBO)	Mittlere Ränge (NOCEBO) > mittlere Ränge (PLACEBO)	Mittlere Ränge (NOCEBO) < mittlere Ränge (PLACEBO)

^a 2 Versuchspersonen (NOCEBO-Versuchsgruppe) hatten keine Bewertung bei Aussage 3 abgegeben

P = PLACEBO-Versuchsgruppe, N = NOCEBO-Versuchsgruppe

Test auf Normalverteilung: Shapiro-Wilk-Test sowie visuelle Prüfung des Q-Q-Plots

Test auf Varianzhomogenität: Levene-Test

Quelle: eigene Darstellung

Offene Frage zur gesundheitlichen Wirkung von Bauproduktemissionen: Die Antworten der Versuchspersonen wurden umkodiert in Abhängigkeit davon, inwiefern die Antworten mit der Grundaussage der Videos übereinstimmten (Tabelle 18).

Tabelle 18: Kodierung der Antworten auf die offene Frage „Welche gesundheitlichen Wirkungen können VOC-Emissionen aus Bauprodukten haben? Antworten Sie in kurzen Stichpunkten.“

Wertung	Bedeutung
Kongruent	Antworten auf Frage = Grundaussage Video
Ambivalent	Antworten auf Frage = Grundaussage Video <u>und</u> ≠ Grundaussage Video
Inkongruent	Antworten auf Frage ≠ Grundaussage Video

Quelle: eigene Darstellung

Korrelationen zwischen Konzentrationen der VOC-Substanzklassen und Lagerdauer der Gerüche in den Gasprobenbeuteln nach dem Abfüllen: Die Pearson-Korrelationskoeffizienten (signifikant, wenn $p < 0,05$) wurden separat für jeden Geruch berechnet, um den Einfluss der Lagerdauer der Gasprobenbeutel auf die VOC-Konzentrationen zu untersuchen.

Vertrautheit: Die Vertrautheit der Gerüche wurde anhand einer ordinalen Skala bewertet, sodass für die Datenanalyse nichtparametrische Tests zum Einsatz kamen. Ein nichtparametrisches Äquivalent zu einer dreifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung existiert derzeit nicht. Daher wurde die Vertrautheitsskala umcodiert („sehr vertraut“ = 4, „vertraut“ = 3, „leicht vertraut“ = 2, „nicht vertraut“ = 1) und für jede Versuchsperson wurde die Summe der Bewertungen über alle Gerüche hinweg separat für beide Bildbedingungen berechnet. Um den Einfluss der Videos (Zwischensubjektfaktor mit 2 Stufen: PLACEBO, NOCEBO) und des visuellen Kontextes (Innersubjektfaktor mit 2 Stufen: Bild, kein Bild) auf die aufsummierten Vertrautheitsbewertungen zu untersuchen, wurde ein lineares gemischtes Modell unter Verwendung des lmerTest-Pakets (Kuznetsova et al. 2017) erstellt. Das Modell umfasste die Haupteffekte, deren Interaktion sowie die Teilnehmenden (ID) als zufällige Effekte: Summenwert der Vertrautheit \sim Video \times Bild + (1|ID). Die Modellannahmen (Normalverteilung der Residuen, Normalverteilung der zufälligen Effekte, Linearität, Homoskedastizität) wurden visuell überprüft (Anhang Abbildung 12) unter Anwendung der Funktion check_model() (performance-Paket (Lüdecke et al. 2021)). Eine ANOVA wurde durchgeführt, um den Einfluss der Faktoren zu ermitteln.

Hedonik: Um den Einfluss der Videos (Zwischensubjektfaktor mit 2 Stufen), der Holzgerüche (Innersubjektfaktor mit 8 Stufen) und des visuellen Kontextes (Innersubjektfaktor mit 2 Stufen) auf die Hedonikbewertung der Gerüche zu untersuchen, wurde ein lineares gemischtes Modell unter Verwendung des lmerTest-Pakets (Kuznetsova et al. 2017) erstellt. Das Modell umfasste die Haupteffekte, deren Interaktionen sowie die Teilnehmenden (ID) als zufällige Effekte: Hedonik \sim Video \times Geruch \times Bild + (1|ID). Zudem wurde ein weiteres Modell berechnet: Hedonik \sim Versuch \times Geruch \times Bild + (1|ID), wobei die Daten der Versuche zum visuellen Kontext (Kapitel 2.3) und zum Psychologischen Kontext einflossen. Die Modellannahmen (Normalverteilung der Residuen, Normalverteilung der zufälligen Effekte, Linearität, Homoskedastizität) wurden visuell überprüft (Anhang Abbildung 13, Anhang Abbildung 14) unter Anwendung der Funktion check_model() (performance-Paket (Lüdecke et al. 2021)). Die Normalverteilung der Residuen wurde zusätzlich mit der Funktion check_normality() getestet (Modell 1: $p = 0,071$, Modell 2: $p = 0,147$, Normalverteilung bestätigt). Eine ANOVA wurde durchgeführt, um den Einfluss der Faktoren auf die Hedonikbewertung zu ermitteln, gefolgt von Post-hoc-Tests unter Verwendung von emmeans() (emmeans-Paket (Lenth 2023)) mit Adjustierung der p-Werte nach BH.

Intensität: Da die Residuen nicht normalverteilt waren (visuell überprüft, Anhang Abbildung 15) konnte kein lineares gemischtes Modell (Intensität \sim Video \times Geruch \times Bild + (1|ID)) berechnet werden, um den Einfluss der einzelnen Faktoren auf die Intensitätsbewertung zu ermitteln. Stattdessen wurde eine ANOVA mit

Messwiederholung unter Verwendung der Funktion RM() aus dem MANOVA.RM-Paket (Friedrich et al. 2023) durchgeführt. Diese Resampling-basierte Analyse (Anzahl der Iterationen: 10.000, Seed: 123) eignet sich für Studien mit Messwiederholung in semi-parametrischen faktoriellen Designs (beispielsweise, wenn keine Normalverteilung der Residuen vorliegt). Die gleiche Methode wurde angewendet, um die Daten der Versuche zum visuellen Kontext (Kapitel 2.3) und zum Psychologischen Kontext zu vergleichen (Modellvoraussetzungen für lineares gemischtes Modell waren ebenfalls nicht erfüllt, Anhang Abbildung 16). Bei zwei Versuchspersonen fehlte jeweils eine der 16 Intensitätsbewertungen. Da die Analyse nur vollständige Datensätze verarbeitet, mussten diese zwei Versuchspersonen ausgeschlossen werden ($n = 62$). Die grafische Darstellung der Daten basiert jedoch auf dem vollständigen Datensatz ($n = 64$). Als Post-hoc-Tests wurden Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests und Mann-Whitney-U-Tests mit BH-korrigierten p-Werten verwendet.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Versuch *Elektrophysiologische Reaktionen auf VOC-Gemische*

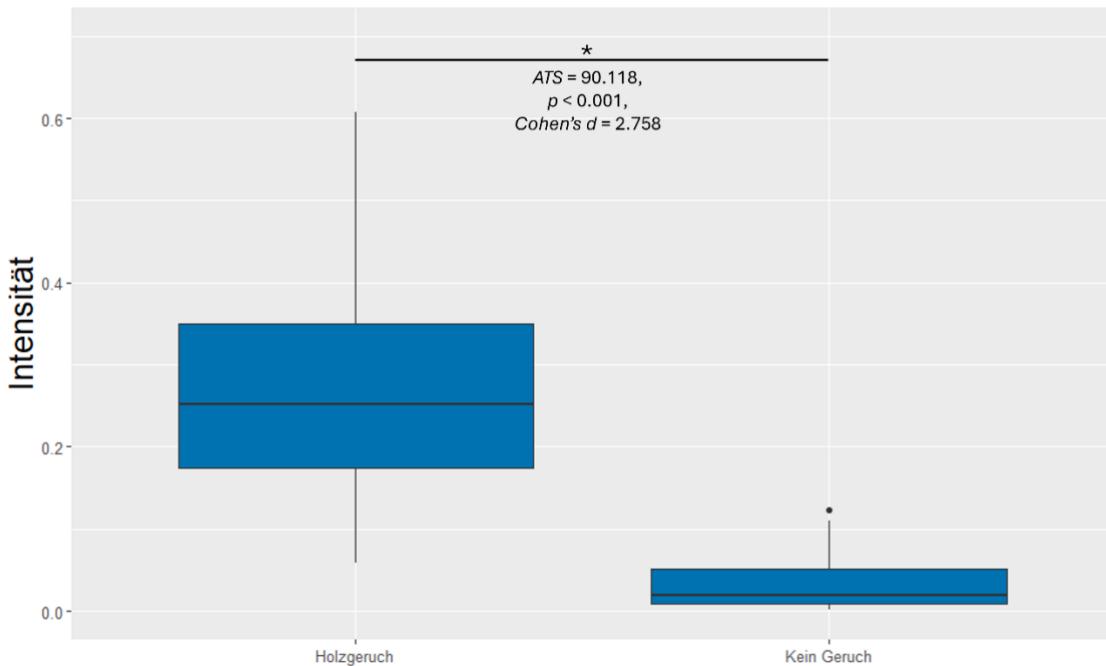
3.1.1 Ergebnisse Verhalten

3.1.1.1 Kiefernholz

Die durchschnittliche Performanz (korrekte Identifikation der Geruchsdurchgänge durch Tastendruck und kein Tastendruck bei Luftdurchgängen, siehe Kapitel 2.1.6) lag bei 76,55 % (SD = 8,82 %). Die durchschnittliche Reaktionszeit lag bei 1696 ms (SD = 488 ms).

Die Ergebnisse der Intensitätsbewertung zeigen, dass der Holzgeruch wahrgenommen wurde (Abbildung 12). Dies wird durch einen sehr starken, statistisch signifikanten Haupteffekt ‚Geruch‘ verdeutlicht (ATS = 90,118, $p < 0,001$, Cohen’s $d = 2,758$ ⁵). Der visuelle Kontext hatte keinen Einfluss auf die Intensitätsbewertung, denn weder der Haupteffekt ‚Bild‘ (ATS = 1,435, $p = 0,231$, Cohen’s $d = 0,027$) noch die Interaktion (ATS = 0,043, $p = 0,836$, Cohen’s $d = -0,965$) war signifikant.

Abbildung 12: Kiefernholz Intensitätsbewertung



Signifikant intensivere (Bereich: 0-1) Bewertung von Kiefernholzgeruch, * $p < 0,001$.

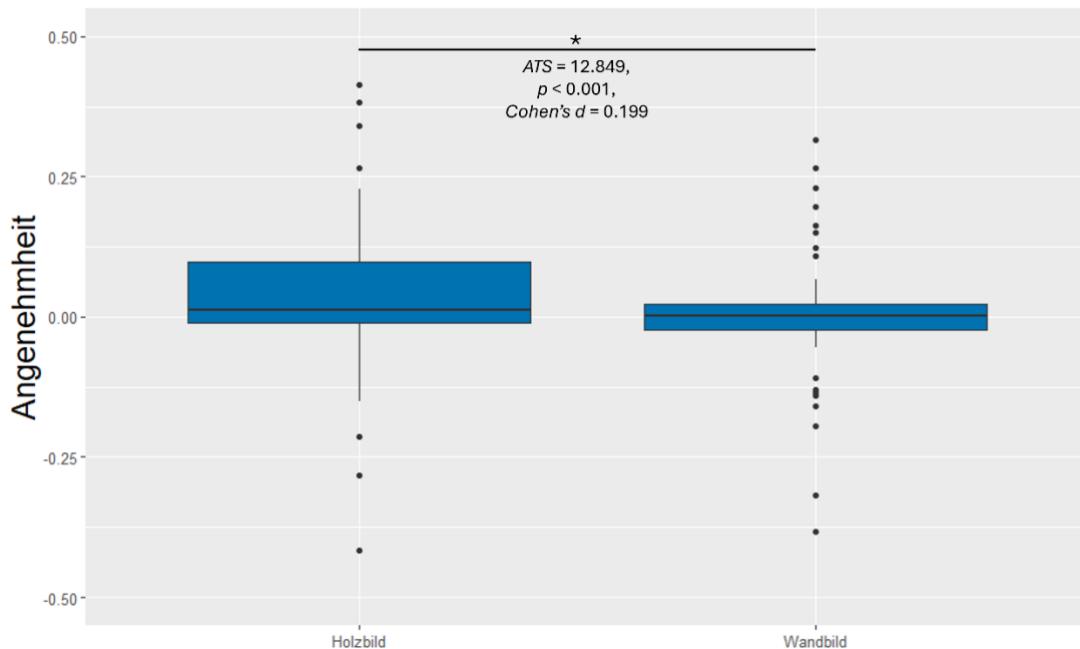
Quelle: eigene Berechnung

Darüber hinaus wurde erwartet, dass die Stimulation mit Holzgeruch als generell angenehm wahrgenommen wird. Zu erwarten ist also auch hier einen Haupteffekt ‚Geruch‘. Weiterhin ist zu erwarten, dass der visuelle Kontext einen Einfluss auf die Geruchsbewertung hat. Somit ist ebenfalls eine signifikante Interaktion erwartbar, mit der angenehmsten Bewertung bei der kongruenten Kombination Holzgeruch+Holzbild.

⁵ ATS: Nicht-parametrische ANOVA Type Statistic, $p < 0,05$ gilt als signifikant, Cohen’s d spiegelt die Stärke des Effekts wider: $d < 0,5$ – kleiner Effekt, $0,5 – 0,8$ – mittelgradiger Effekt, $d > 0,8$ – großer Effekt.

Allerdings zeigte sich bei den Ergebnissen ein anderes, überraschendes Muster: Kiefernholzgeruch allein wird nicht grundsätzlich als angenehm bzw. positiv bewertet. Der Haupteffekt 'Geruch' war also entgegen den Erwartungen nicht signifikant, $ATS = 0,097$, $p = 0,756$, Cohen's $d = 0,091$. Einen signifikanten Effekt hat jedoch das Holzbild im Faktor 'Bild', $ATS = 12,849$, $p < 0,001$, Cohen's $d = 0,199$ (Abbildung 13). Die Interaktion war wiederum wie erwartet signifikant, $ATS = 5,987$, $p = 0,014$, Cohen's $d = 0,054$ (Abbildung 14). Die weitere Prüfung der Interaktion mittels paarweiser post-hoc-Wilcoxon-Tests zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen den Bedingungen OWo&PWo vs. OWo&PCon ($z = -3,112$, $p = 0,002$, $r = 0,679$). Nur ein weiterer Vergleich zwischen den Bedingungen OCon&PWo vs. OCon&PCon zeigte einen signifikanten Unterschied, $z = -3,245$, $p = 0,001$, $r = 0,708$.

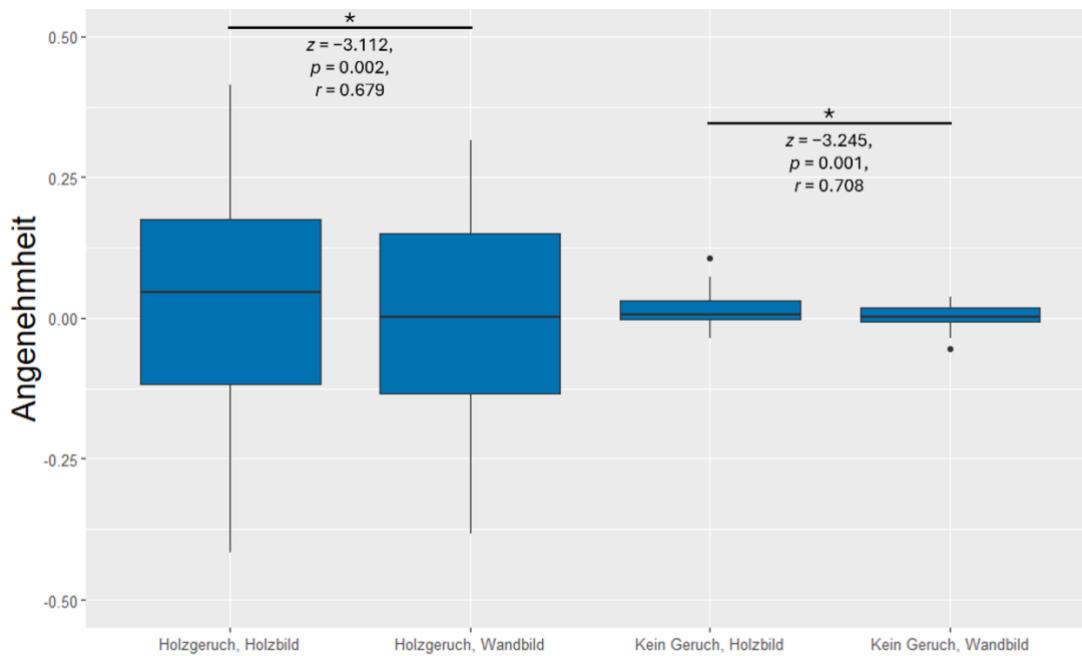
Abbildung 13: Kiefernholz Hedonikbewertung: Haupteffekt 'Bild'



Signifikant angenehmere (Bereich: -1 bis 1) Bewertung von Stimulationen, wenn ein Holzbild parallel zur Holz/Luft-Stimulation dargeboten wird. * $p < 0,001$.

Quelle: eigene Berechnung

Abbildung 14: Kiefernholz Hedonikbewertung: Interaktion



Signifikante Interaktionen der Hedonikbewertungen, die den Bild-Haupteffekt untermauern.

Alle weiteren Vergleiche waren nach Post-hoc-Korrektur nicht mehr signifikant. * $p < 0,01$.

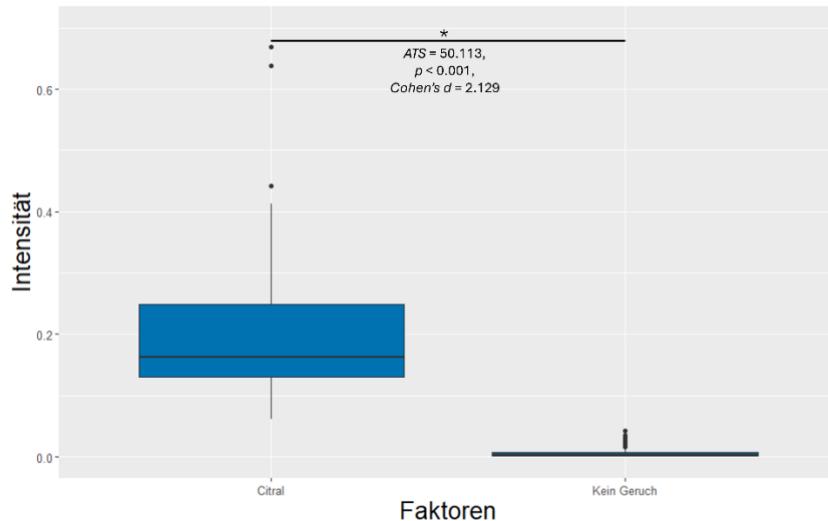
Quelle: eigene Berechnung

Dies bedeutet, dass die parallele Darbietung eines Holzbildes einen Einfluss auf die Geruchsbewertung hat. Holzgeruch mit einem Holzbild gepaart wird als angenehmer wahrgenommen, als wenn der Geruch ohne passendes Bild präsentiert wird. Das gleiche gilt allerdings auch für die Stimulation mit Luft, wo eigentlich gar kein Geruch präsentiert wurde. Wenn eine Luftprobe mit einem Holzbild kombiniert wird, dann wird die Luft als angenehmer bewertet, als wenn die Luft mit einem neutralen Bild präsentiert wird. Interessanterweise unterscheidet sich die Bewertung von Holzgeruch und Luft, wenn sie mit einem neutralen Bild gepaart sind, nicht voneinander. Beide werden als gleich neutral riechend bewertet. Obwohl die Versuchspersonen instruiert waren den Geruch zu bewerten, floss also die visuelle Wahrnehmung signifikant mit in die Bewertung ein. Das heißt, eine wesentliche Prämissen dieser Studie, dass ein Holzgeruch allein angenehm wahrgenommen wird, kann durch die vorliegende Untersuchung nicht bestätigt werden. Andersherum betrachtet zeigt es, dass Holz als Konzept ganzheitlich und multisensorisch verarbeitet wird und diese gesamtheitliche Verarbeitung der Sinne nicht trennbar ist. Dabei spielt die Kongruenz eine kleinere, die Dominanz des visuellen Sinnes gegenüber der Olfaktorik jedoch eine weitaus größere Rolle als angenommen.

3.1.1.2 Citral

Die durchschnittliche Performanz lag für Citral bei 89,05 % ($SD = 7,20\%$). Die durchschnittliche Reaktionszeit lag bei 2374 ms ($SD = 986\text{ ms}$).

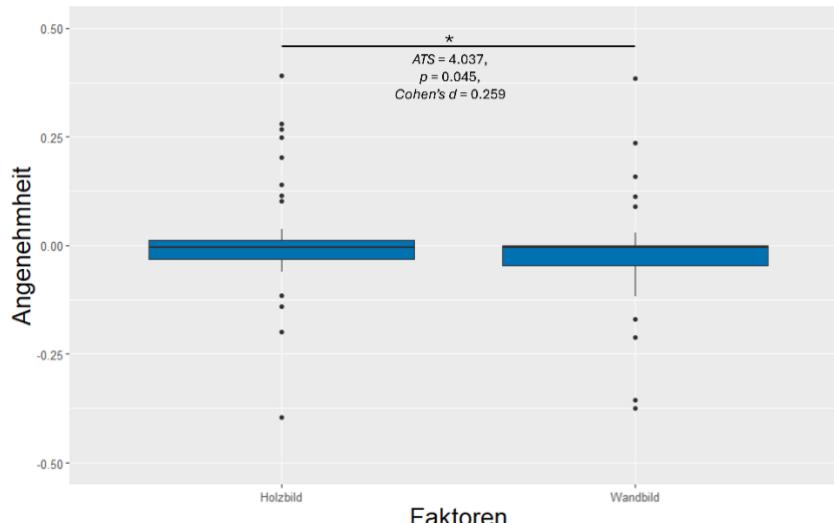
Die Intensitätsbewertungen zeigen auch im Falle von Citral, dass der Geruch wahrgenommen wurde (Abbildung 15). Dies verdeutlicht sich durch einen signifikanten Haupteffekt ‚Geruch‘, $ATS = 50,113$, $p < 0,001$, Cohen's $d = 2,129$. Auch für Citral gab es bei den Intensitätsbewertungen weder einen signifikanten Effekt vom Holzbild ($ATS = 0,632$, $p = 0,427$) noch eine Interaktion der beiden Faktoren, $ATS = 1,44$, $p = 0,23$.

Abbildung 15: Citral Intensitätsbewertung

Signifikant intensivere (Bereich: 0-1) Bewertung von Citralgeruch, * p < 0,001.

Quelle: eigene Berechnung

Bei der Hedonikbewertung zeigt sich jedoch wieder ein signifikanter Effekt für das Bild darauf, wie angenehm die Stimulation bewertet wurde, ATS = 4,037, p = 0,045, Cohen's d = 0,259 (Abbildung 16). Wie schon bei Kiefernholz gab es keinen signifikanten Geruchs-Haupteffekt, ATS = 0,041, p = 0,84. Jedoch war in diesem Fall die Interaktion nicht signifikant, ATS = 3,547, p = 0,06. Dies zeigt, dass das Holzbild generell einen positiven Effekt auf die Geruchsbewertung hat und es bei der Hedonikbewertung keinen Unterschied macht, ob Citral oder Luft präsentiert wurde.

Abbildung 16: Citral Hedonikbewertung

Signifikant angenehmere (Range: -1 bis 1) Bewertung von Stimulationen, wenn ein Holzbild parallel zur Citral/Luft-Stimulation dargeboten wird. * p < 0,001.

Quelle: eigene Berechnung

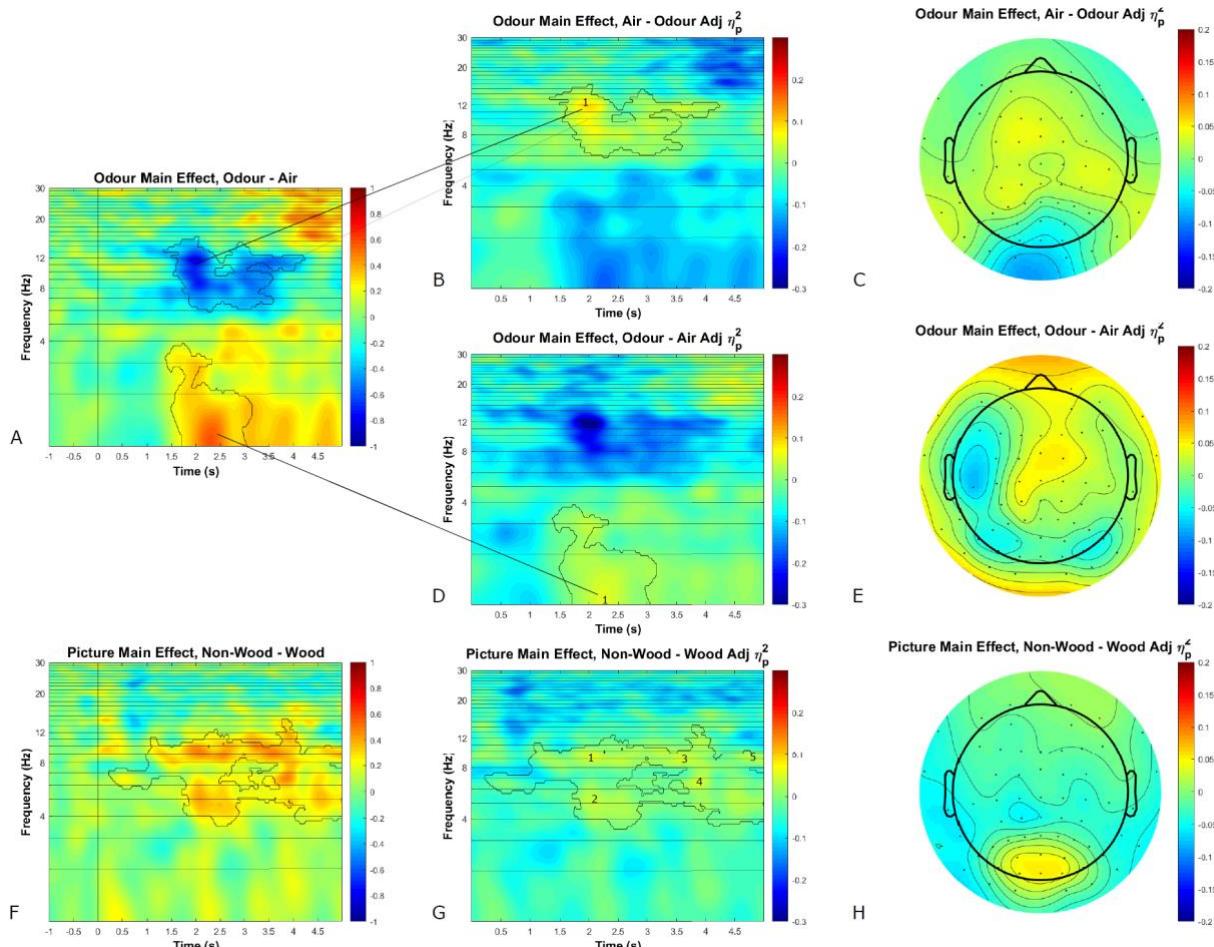
3.1.2 Ergebnisse EEG

3.1.2.1 Kiefernholz

Mit den Analysen der elektrophysiologischen Daten ist es möglich, die neuronalen Verarbeitungsschritte zu beschreiben und zu analysieren. So lassen sich Prozesse erkennen und darstellen, die sich im Gehirn der Versuchspersonen abspielen, wenn der Geruch verarbeitet wird (Haupteffekt). Es kann jedoch auch gezeigt werden, ob das gleichzeitig präsentierte Holzbild diese Verarbeitungsprozesse beeinflusst. Es können somit auf neuronaler Ebene Interaktionen zwischen den Bildern und den Geruch identifiziert und interpretiert werden (siehe Abbildung 5). Der Vergleich zum Haupteffekt ‚Geruch‘ (Geruch vs. Luft) erbrachte zwei signifikante Ergebnisse (Abbildung 17 A-E). Der erste Effekt stimmt mit einer signifikanten Desynchronisierung im Alpha- und hohen Theta-Frequenzband (6 – 14 Hz) zwischen 1660 ms bis 2870 ms überein. Das Cluster Minimum konnte bei 1981 ms und 11,9 Hz lokalisiert werden ($adj \eta^2_p = 0,099$). Der zweite Effekt korrespondiert mit einem positiven Cluster im Delta-Frequenzband (1 – 1,5 Hz) zwischen 2080 ms und 2440 ms, mit dem Maximum bei 1 Hz und 2260 ms ($adj \eta^2_p = 0,064$). Beide Effekte waren am stärksten in den zentralen Elektroden.

Zusätzlich dazu gab es auch einen Haupteffekt für ‚Bild‘, welcher mit einem okzipitalen, also den Hinterkopf betreffenden Cluster mit insgesamt fünf lokalen Maxima übereinstimmt (Siehe Abbildung 17 F-H).

Abbildung 17: EEG-Analysen Kiefernholz: Haupteffekt ‚Geruch‘



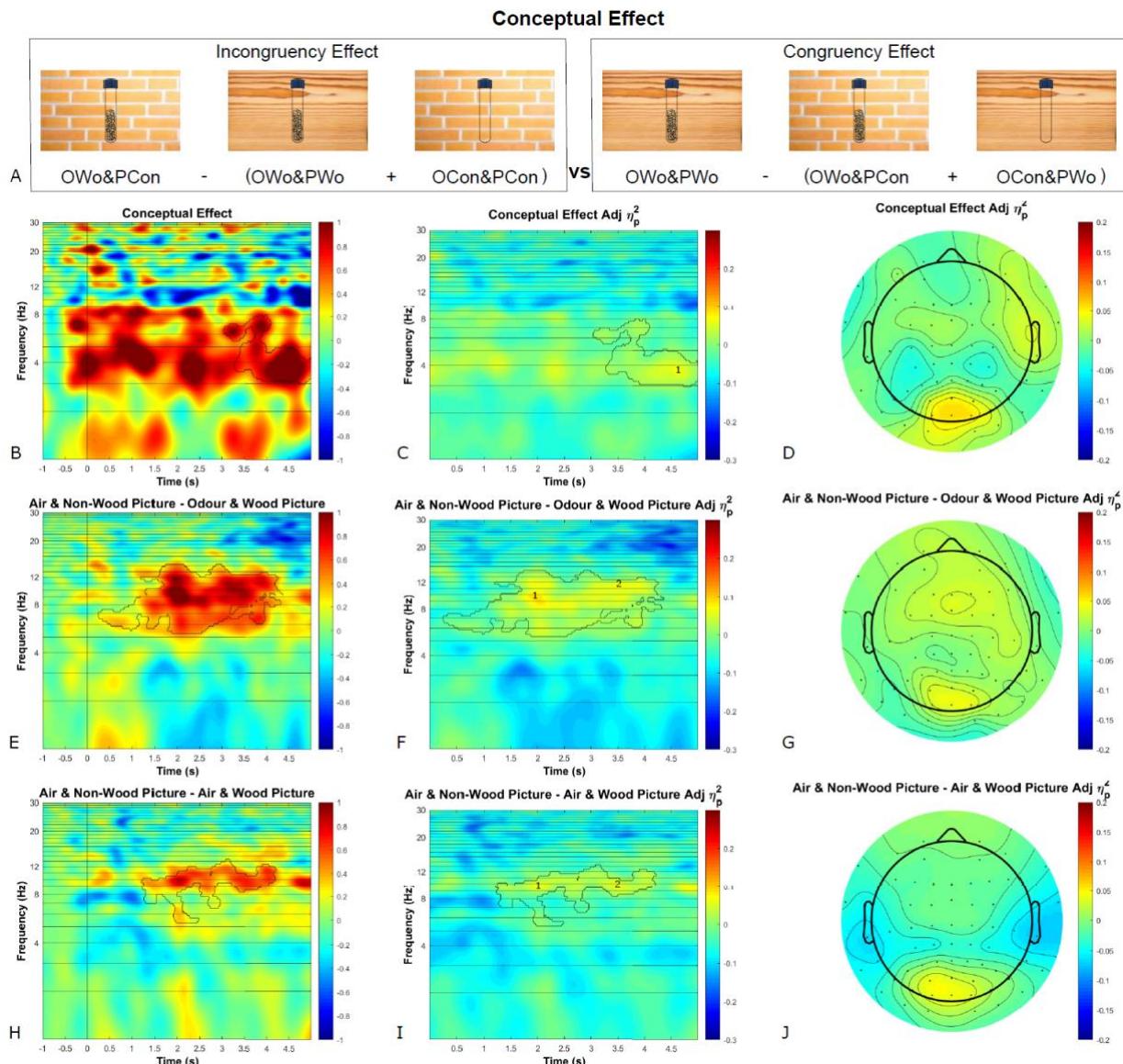
Zeit-Frequenz Abbildungen, signifikante Cluster und Topografien der Effekte von A-E Geruchs-Haupteffekt und F-H Bild-Haupteffekt. Die senkrechte Linie kennzeichnet den Beginn der Bild+Geruchs-Präsentation. A,F Farbkodierung entspricht Power-Veränderung relativ zur Baseline (dB). B,C,D,E,G,H Farben repräsentieren Effektstärke ($adj \eta^2_p$).

Quelle: eigene Berechnung

Der Kontexteffekt setzt sich aus der Kontrastierung zweier anderer Effekte (Inkongruenter Effekt vs. Kongruenter Effekt) zusammen. Der kongruente Effekt wird hierbei verstanden als der Effekt von inhaltlich zusammenpassender Stimulation (Holzbild und Kiefernholzgeruch) kontrastiert zu den Effekten, die nur von unidimensionaler Stimulation (Holzbild ODER Kiefernholzgeruch) hervorgerufen werden. Der inkongruente Effekt ist ein Äquivalent bezüglich der nicht zusammengehörigen Stimulation. Da beide Vergleiche auch Effekte zeigen, welche lediglich durch gleichzeitige, multisensorische Stimulation unabhängig von inhaltlichem Zusammenhang oder Nichtübereinstimmung entstehen, ist es wichtig die beiden zu kontrastieren, um solche Effekte herauszufiltern und nur den semantischen Kontexteffekt zu erhalten. Dieser konzeptabbildende Effekt (Inkongruenter Effekt vs. Kongruenter Effekt, Abbildung 18 A-D) zeigte sich in einem signifikanten Cluster im Theta-Frequenzband (4530 ms bis 4710 ms und zwischen 3,5 Hz und 3,9 Hz). Das Maximum lag bei 4635 ms und 3,7 Hz ($adj\ n^2_p = 0,064$).

Zwei paarweise Vergleiche resultierten in signifikanten Ergebnissen. Der Vergleich zwischen OCon&PCon vs. OWo&PWo verdeutlicht den signifikanten Geruchseffekt im Alpha-Frequenzband (Abbildung 18 E-G) und der Vergleich OCon&PWo vs. OCon&PCon unterstreicht den Bild-Haupteffekt (Abbildung 18 H-J), sowohl durch den Frequenzbereich, als auch die Topografie.

Abbildung 18: EEG-Analysen Kiefernholz Interaktion: (In)Kongruenz-Effekt



Zeit-Frequenz Abbildungen, signifikante Cluster und Topografien der Kongruenz-Effekte (A-D) und paarweisen Vergleiche (E-J). Die senkrechte Linie kennzeichnet den Beginn der Bild+Geruchs-Präsentation. **B,E,H** Farbkodierung entspricht Power-Veränderung relativ zur Baseline (dB). **C,D,F,G,I,J** Farben repräsentieren Effektstärke (adj η_p^2).

Quelle: eigene Berechnung

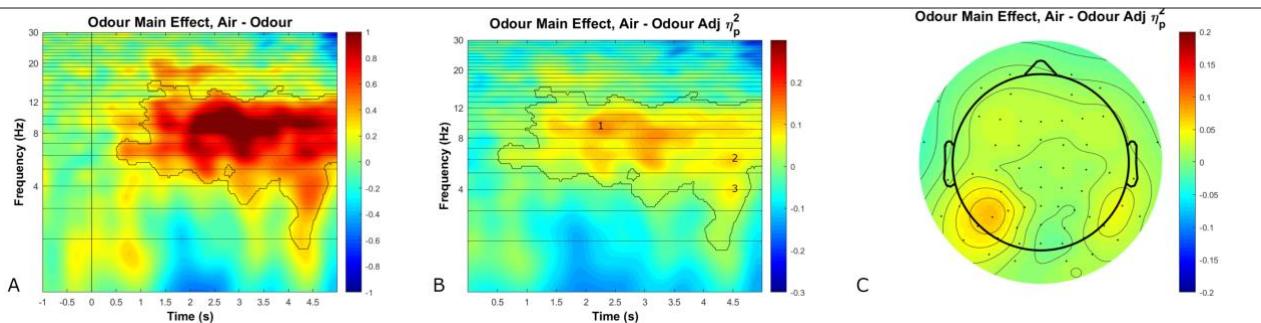
3.1.2.2 Citral

Es gab einen signifikanten Haupteffekt 'Geruch', der mit einem Cluster überlappt, der bei etwa 1260 ms begann und bis zum Ende des Durchgangs andauerte. Der erste Effekt erreichte sein Maximum bei 2242 ms und 9,3 Hz (adj η_p^2 = 0,148). Der Effekt war in den Alpha- und Theta-Bändern am stärksten ausgeprägt, seine Frequenzen reichten von 4,6 Hz bis 12,7 Hz (Abbildung 19 A). Dieser Effekt war mit einer stärkeren Desynchronisierung beim Citralgeruch im Vergleich zur Luftbedingung verbunden. Es gab einen zweiten Peak bei 4474 ms und 6 Hz (adj η_p^2 = 0,101), wobei sich der Effekt von 3650 ms bis 5000 ms und 4,9 Hz bis 7 Hz erstreckte. Ein dritter Peak lag ebenfalls bei 4474 ms, aber bei 4 Hz (adj η_p^2 = 0,085), wobei die Wirkung kürzer anhielt, nämlich von 4250 ms bis 4640 ms und von 3,2 Hz bis 4,8 Hz (Abbildung 19 B). Diese beiden späteren Effekte waren mit einem Poweranstieg

bei OCon verbunden. Das Cluster war an den links-okzipitalen Elektroden am stärksten ausgeprägt (Abbildung 19 C).

Im Gegensatz zum Kiefernholzexperiment gab es weder einen signifikanten Haupteffekt für Bild noch für den Vergleich zwischen Kongruent und Inkongruent. Die paarweisen Vergleiche verdeutlichen nur den Geruchs-haupteffekt.

Abbildung 19: EEG-Analysen Citral: Haupteffekt 'Geruch'



Zeit-Frequenz Abbildung, signifikante Cluster und Topografie des Geruch-Haupteffekts für Citral. **A** Die senkrechte Linie kennzeichnet den Beginn der Bild+Geruchs-Präsentation. Farbkodierung entspricht Power-Veränderung relativ zur Baseline (dB). **B,C** Farben repräsentieren Effektstärke (adj η^2_p).

Quelle: eigene Berechnung

3.1.3 Interpretation

Die Ergebnisse zeigten, dass mittels EEG (Zeit-Frequenz-Analysen) typische Aktivierungsmuster, die mit Geruchswahrnehmung assoziiert sind, auch durch die geruchliche Verarbeitung von Kiefernholz-VOCs evoziert werden kann (Huart et al. 2012, Schriever et al. 2017). Weiterhin konnte durch das Kiefernholz-Experiment gezeigt werden, dass Versuchspersonen, auch wenn sie die Instruktion erhalten haben, nur den Geruch zu bewerten, den visuellen Kontext nicht ausblenden konnten. Dies zeigte sich zum einen in der höheren Bewertung der Hedonik und zum anderen auf der neuronalen Verarbeitungsebene im EEG (Kongruent vs. Inkongruent). Durch die inkongruente Geruch-Bild Präsentation zeigte sich ein spätes Cluster im Theta/Delta-Frequenzband, das mit den Ergebnissen anderer EEG-Studien verglichen werden kann. Eine solche Power-Veränderung wurde in vorangegangenen Studien mit multisensorischer (In)kongruenz (Balconi 2016, Ergern 2014, Gao 2021), aber auch mit kognitiver Kontrolle und internem Fokus und Arbeitsgedächtnis assoziiert (Harmony 2013). Somit zeigte sich, dass wenn der Geruch und der visuelle Kontext nicht miteinander übereinstimmen, ein erhöhter kognitiver Aufwand nötig ist, um den Holzgeruch zu verarbeiten. Dieser erhöhte Verarbeitungsaufwand steht möglicherweise auch im Zusammenhang mit Geruchsbelästigungen, die auftreten, wenn die Geruchsquelle nicht bekannt oder sichtbar ist. Die visuellen und olfaktorischen Signale, die von Holz oder Holzprodukten ausgehen, werden im Gehirn zu einem Konzept zusammengefügt und entfalten so ihre Wirkung auf das Befinden des Menschen. Werden nur die Holz-VOCs olfaktorisch präsentiert, so fehlt ein Teil des Konzepts und unser Gehirn muss ergänzende Verarbeitungsschritte ausführen, die Auswirkungen auf die Bewertung und anschließend auf die Wirkung des Geruchs haben können.

Der Bildhaupteffekt auf die Hedonikbewertungen aus sowohl dem Kiefernholz-EEG als auch dem Citral-EEG Experiment weist nach, dass Holztexturen einen angenehmen, sinnesübergreifenden Effekt haben. Auch die Präsentation von Luft oder Zitrusgeruch, wenn sie mit einem Holzbild gepaart wurden, sind als angenehmer wahrgenommen worden. Es untermauert die allgemeine positive Konnotation von Holz als sichtbar verbautes Produkt in Innenräumen. Dies kann bei der Innenraumgestaltung im Allgemeinen berücksichtigt werden, um unabhängig vom Geruch ein angenehmes „Raumklima“ zu erzeugen. Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass gerade, wenn Holz-VOCs im Innenraum vorhanden bzw. messbar sind, in Betracht gezogen werden sollte, dass

auch die Holztexturen sichtbar eingebaut werden, um den erhöhten kognitiven Arbeitsaufwand bei Inkongruenz (Holzgeruch aber kein Holz sichtbar) zu vermeiden und eine kongruente, konzeptbezogene Verarbeitung zu fördern. Die vorliegenden Ergebnisse zu Citral legen die Vermutung nahe, dass auch andere VOCs/Gerüche in sichtbaren Holzumgebungen angenehmer wahrgenommen und bewertet werden. Dazu sind jedoch weitere Forschungsarbeiten notwendig.

Generell stellt sich nun die Frage, wie objektiv und ‚absolut‘ eine Geruchsbewertung sein kann, wenn sie sich (in diesem Versuch wiederholt gezeigt) trotz expliziter Instruktionen nur auf den Geruch zu achten von einem auf einem PC-Bildschirm präsentierten Bild beeinflussen lässt. Dies wirft Zweifel an der Integration von Geruchsbewertungen für Innenraum-Richtwerte auf, was bei den Aldehyden zu einem zusätzlichen Unsicherheitsfaktor von 2 geführt hat (siehe Tabelle 1). Dies gilt insbesondere für die Erfassung unangenehmer Geruchseindrücke, also für die Hedonik.

3.2 Versuch *Cchemosensorische Effekte im Expositionslabor*

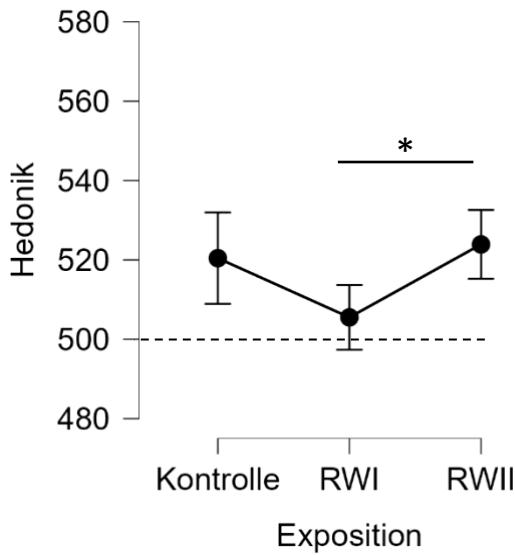
3.2.1 Ergebnisse Erleben

3.2.1.1 Hedonik (LMS: angenehm - unangenehm)

Abbildung 20 verdeutlicht, dass die zwei untersuchten Holz-VOC-Bedingungen entgegen der Erwartung nicht als angenehm, sondern eher neutral bewertet wurden. In der statistischen Analyse mittels rmANOVA zeigt sich allerdings ein Haupteffekt für die Expositionsbedingung, $F(2,62) = 3,680$, $p = 0,031$, $\eta_p^2 = 0,106$. Die Dauer der Expositionsbedingung, also der Faktor Messzeitpunkt besaß weder als Haupteffekt noch als Interaktion mit der Bedingung einen signifikanten Einfluss auf die Hedonikbewertung. Die Post-hoc-Vergleiche zwischen den drei VOC-Konzentrationsbedingungen legen ausschließlich eine signifikant niedrigere Hedonikbewertung während der RW I ($M = 505,5$, $SD = 64,4$) im Vergleich zur RW II-Expositionsbedingung ($M = 523,9$, $SD = 54,4$), $t(30) = -2,553$ $p_{\text{Bonf}} = 0,039$, $d = -0,27$ (Abbildung 20) nahe. Dieser signifikante Unterschied von knapp 20 Punkten auf einer Skala von 0 bis 1000, was gerade einmal 0,02 % des möglichen Bewertungsbereichs entspricht, ist extrem gering und den insgesamt sehr schwachen und homogenen Bewertungen (siehe 95 %-Konfidenzintervalle) geschuldet.

Dennoch ist dieses Ergebnis als überraschend zu bewerten, da kein linearer und somit konzentrationsabhängiger Einfluss der Exposition auf die Hedonik zu finden war, sondern nur einen Unterschied zwischen den beiden Expositionsbedingungen RW I und RW II. Die Bewertung der Null-Kontrollbedingung liegt genau zwischen den anderen Bedingungen, unterscheidet sich jedoch nicht signifikant von diesen.

Abbildung 20: Hedonikbewertung (LMS)



Hedonikbewertung von verbalen Ankerpunkten auf einer Skala von 0-1000 transformiert, wobei 500 das Label „neutral“ (gestrichelte Linie) repräsentiert. Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen der RW I und RW II-Expositionsbedingung, * $p < 0,05$, Fehlerbalken repräsentieren ein 95 %-Konfidenzintervall.

Quelle: eigene Berechnung

Da sich ein vergleichbares Muster der Ratings auch in weiteren Skalen (LMS: Lästigkeit, SPES: unspezifische Symptome, Befinden: Lästigkeit) finden ließ, wurden im Anschluss an die Ergebnisdarstellung einige Sensitivitätsanalysen durchgeführt, um eine mögliche Erklärung für die nicht-linearen Hedonikunterschiede/ Rating-Effekte zu finden. Die Ergebnisse werden in Kapitel „Sensitivitätsanalysen“ berichtet.

3.2.1.2 Intensitätsangaben geruchlicher und trigeminaler Empfindungen

Bei den intranasalen trigeminalen Empfindungen – stechend, Ekel erregend, prickelnd, brennend, scharf, Nasenreizung oder kitzelnd – hatten weder Expositionsbedingung noch Messzeitpunkt oder deren Interaktion einen signifikanten Einfluss. In der Bewertung für Niesreiz zeigte sich zunächst eine Interaktion zwischen Expositionskonzentration und Messzeitpunkt, ohne jedoch einen Haupteffekt. Auch im Post-hoc-Vergleich finden sich keine signifikanten Unterschiede mehr.

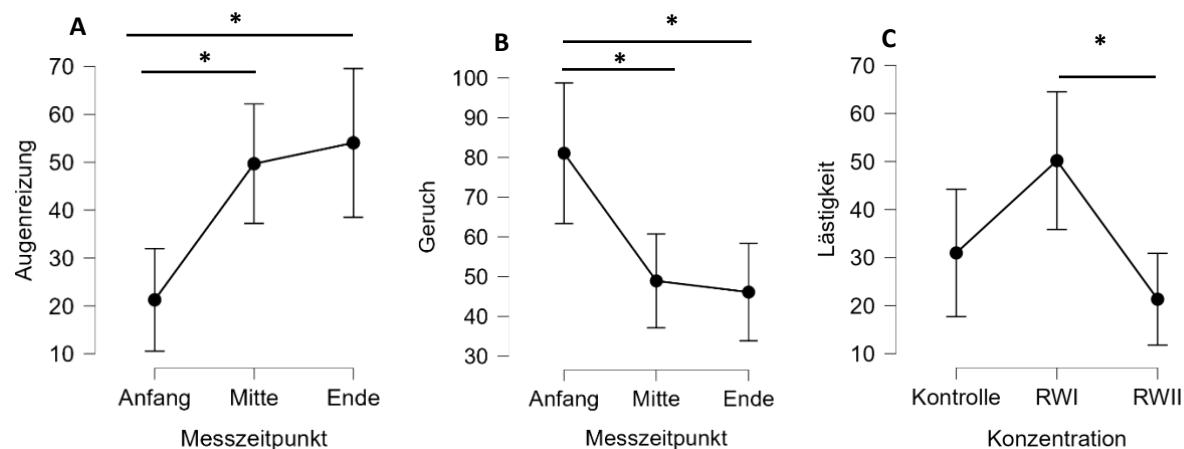
Bei den Intensitätsangaben der Augenreizung (Abbildung 21: Chemosensorische Empfindungsstärken A) zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt des Messzeitpunktes (Zeit im Labor), $F(1,66;51,579)_{\text{Huynh-Feld}} = 7,443, p = 0,003, \eta_p^2 = 0,194$. Weder Konzentration noch die Interaktion zwischen Zeit und Konzentration sind signifikant. Der Post-hoc-Vergleich bestätigt einen Unterschied zwischen dem Anfang und sowohl der Mitte ($t(31) = -3,080, p_{\text{Holm}} = 0,006, d = -0,488$) als auch dem Ende des Versuchs ($t(31) = -3,553, p_{\text{Holm}} = 0,002, d = -0,488$).

Bei der Geruchsintensitätsbewertung mittels LMS zeigte sich kein Haupteffekt für den Faktor Konzentration. Jedoch hat wieder der Messzeitpunkt einen signifikanten Einfluss auf die Bewertung (Abbildung 21: Chemosensorische Empfindungsstärken B), $F(1,237;38,351)_{\text{GG}} = 8,183, p = 0,004, \eta_p^2 = 0,209$. Hier zeigte sich ebenfalls der signifikante Unterschied zwischen dem ersten und sowohl zweiten [$t(31) = 3,348, p_{\text{Holm}} = 0,003, d = 0,427$] als auch dritten Messzeitpunkt, $t(31) = 3,641, p_{\text{Holm}} = 0,002, d = 0,464$.

Die Lästigkeitsbewertung der LMS ähnelt dem Muster der Hedonikbewertungen (siehe Abbildung 20), indem sich ein signifikanter Effekt der Expositionsbedingung zeigte, $F(1,77;55,053)_{\text{Huynh-Feld}} = 4,158, p = 0,025, \eta_p^2 = 0,118$, mit den höchsten Lästigkeitsbewertungen der RW I-Expositionsbedingung (Abbildung 21: Chemosensorische Empfindungsstärken C). Dies bestätigt sich auch in der signifikanten Post-hoc-Analyse. Der Unterschied zwischen den beiden Expositionsbedingungen (RW I vs. RW II) ist statistisch signifikant, $t(31) = 2,832, p_{\text{Holm}} = 0,019, d = 0,432$. Dieser nicht-konzentrationsabhängige Effekt wird im Anschluss ebenfalls in einer Sensitivitätsanalyse beleuchtet, um mögliche Einflussfaktoren identifizieren zu können.

Bei allen drei Bewertungen muss trotz der signifikanten Unterschiede berücksichtigt werden, dass die Bewertungen einem Intensitätseindruck entsprechen, der zwischen den verbalen Labeln schwach (14) bis mäßig (61) lag. Starke Empfindungsintensitäten sind bei der LMS mit Werten ab 170 verbunden.

Abbildung 21: Chemosensorische Empfindungsstärken



Chemosensorische Empfindungsstärken (LMS-Skalen, Bereich: 0-1000), deren Bewertungen signifikant durch die Faktoren Messzeitpunkt oder Expositionskonzentration beeinflusst wurden. **A** Augenreizung, **B** Geruchsintensität und **C** zu Lästigkeit. * $p < 0,05$, Fehlerbalken repräsentieren ein 95 %-Konfidenzintervall.

Quelle: eigene Berechnung

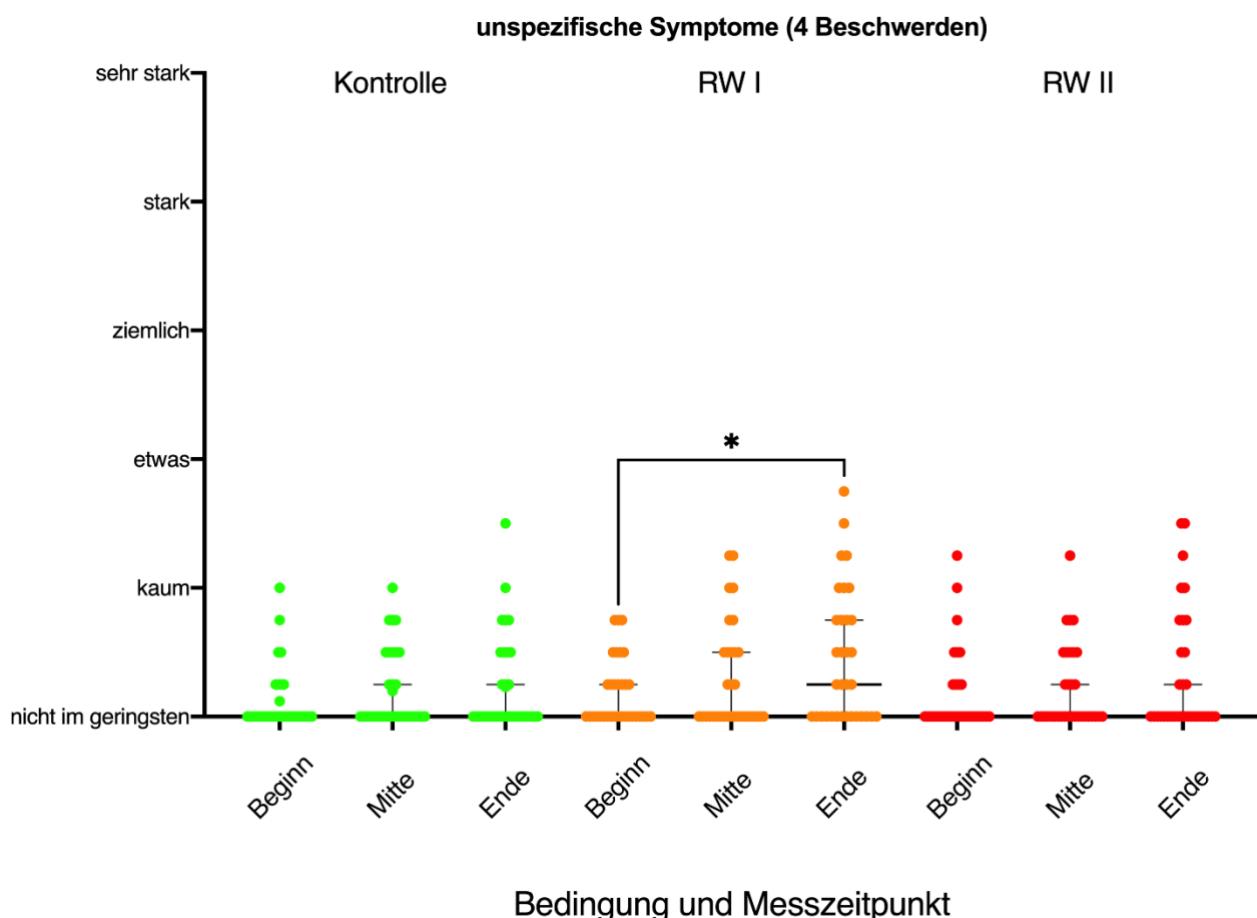
3.2.1.3 Fragen zu akuten Symptomen (SPES)

Bei den Angaben zu den akuten Symptomen handelt es sich um eine kategoriale Skala, die mit nicht-parametrischen Verfahren ausgewertet werden sollte. Es werden in einem ersten Analyseschritt die neun Messungen verglichen, die sich aus den drei Expositionsbedingungen und den drei Messzeitpunkten pro Bedingung ergeben. Die Paarvergleiche ermöglichen eine gezielte Überprüfung möglicher Effekte der Expositionsdauer (Anfang, Mitte, Ende) innerhalb einer Bedingung. In der zweiten Analyse können die zusammengefassten Ratings der drei Expositionsbedingungen oder der drei Messzeitpunkte mit Friedman-Tests und gezielten Paarvergleichen analysiert werden. Dieses Vorgehen ist analog zu den Haupteffekten der Varianzanalysen.

Für die akuten Symptombereiche Geschmacksmissempfindungen, respiratorische Symptome, irritative Symptome und Nasenreizungen zeigten die nicht-parametrischen Analysen keinen signifikanten Einfluss von Messzeitpunkt, den Expositionsbedingungen oder deren mittels ‚Dunn's multiple comparisons tests‘ geprüften Interaktionen.

Für die unspezifischen Symptome (bestehend aus: Schwächegefühl, Kopfschmerz, Schwindel, Unwohlsein) zeigte sich eine schwache, aber signifikante Zunahme der Ratings über die Dauer der der RW I-Bedingung (Abbildung 22).

Abbildung 22: SPES-Fragebogen: unspezifische Symptome

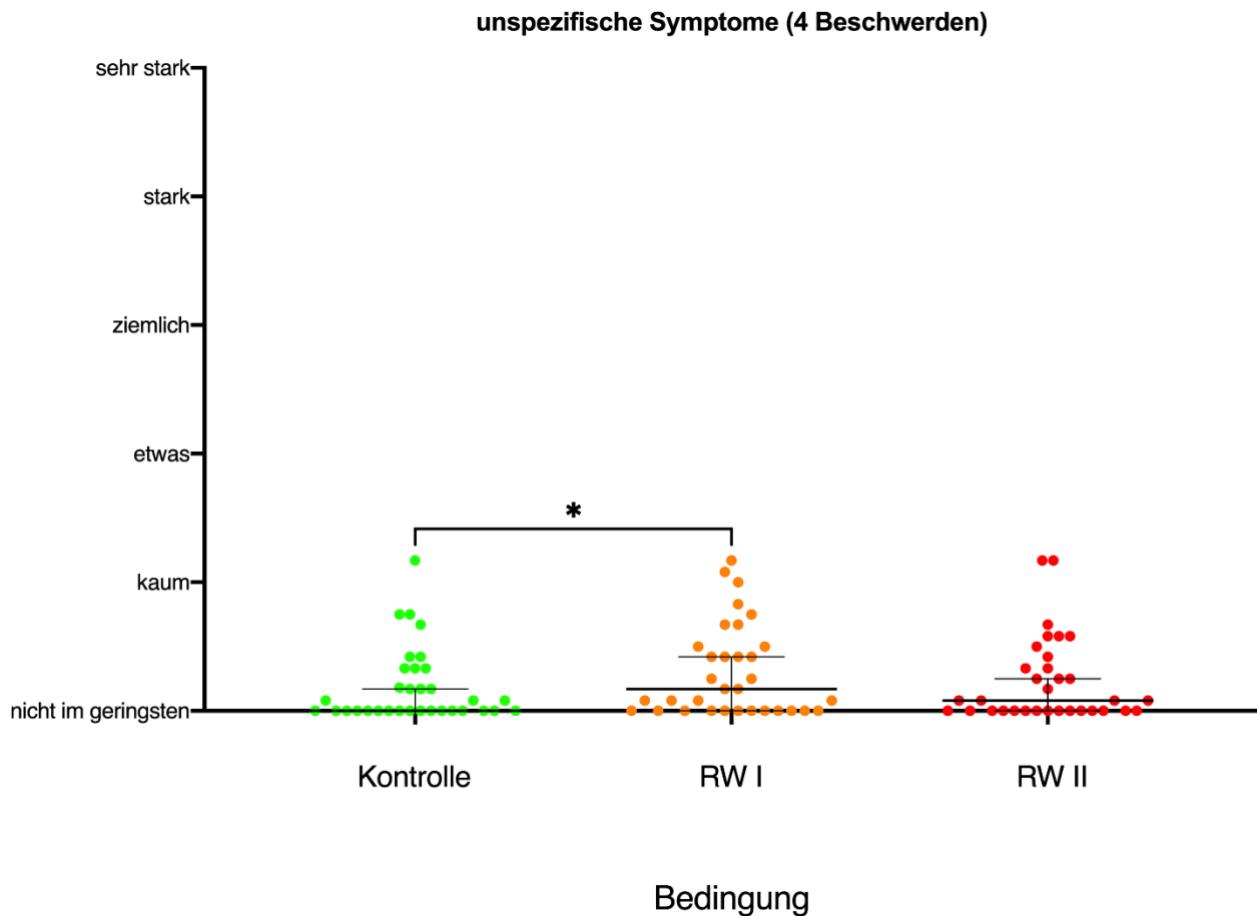


Bewertungen der akuten Symptome aus dem Bereich ‚unspezifische Symptome‘ für die Expositionsbedingungen und Messzeitpunkte, dargestellt als Einzelwerte, Median und 95 %-Konfidenzintervall. * $p < 0,05$.

Quelle: eigene Berechnung

Der Friedman-Test verdeutlichte signifikante Unterschiede zwischen den neun dargestellten Messungen ($Q = 31, p < 0,001$), der ausschließlich durch die Zunahme der Symptomangaben zum Ende der RW I-Expositionsbefindung zu Stande kommt. Durch diese Zunahme der Ratings der unspezifischen Symptome in dieser Bedingung ist auch der statistische Vergleich der drei Bedingungen signifikant ($Q = 9,17, p = 0,01$), wie in Abbildung 23 dargestellt.

Abbildung 23: SPES-Fragebogen: unspezifische Symptome in Abhängigkeit von der Raumluftbedingung



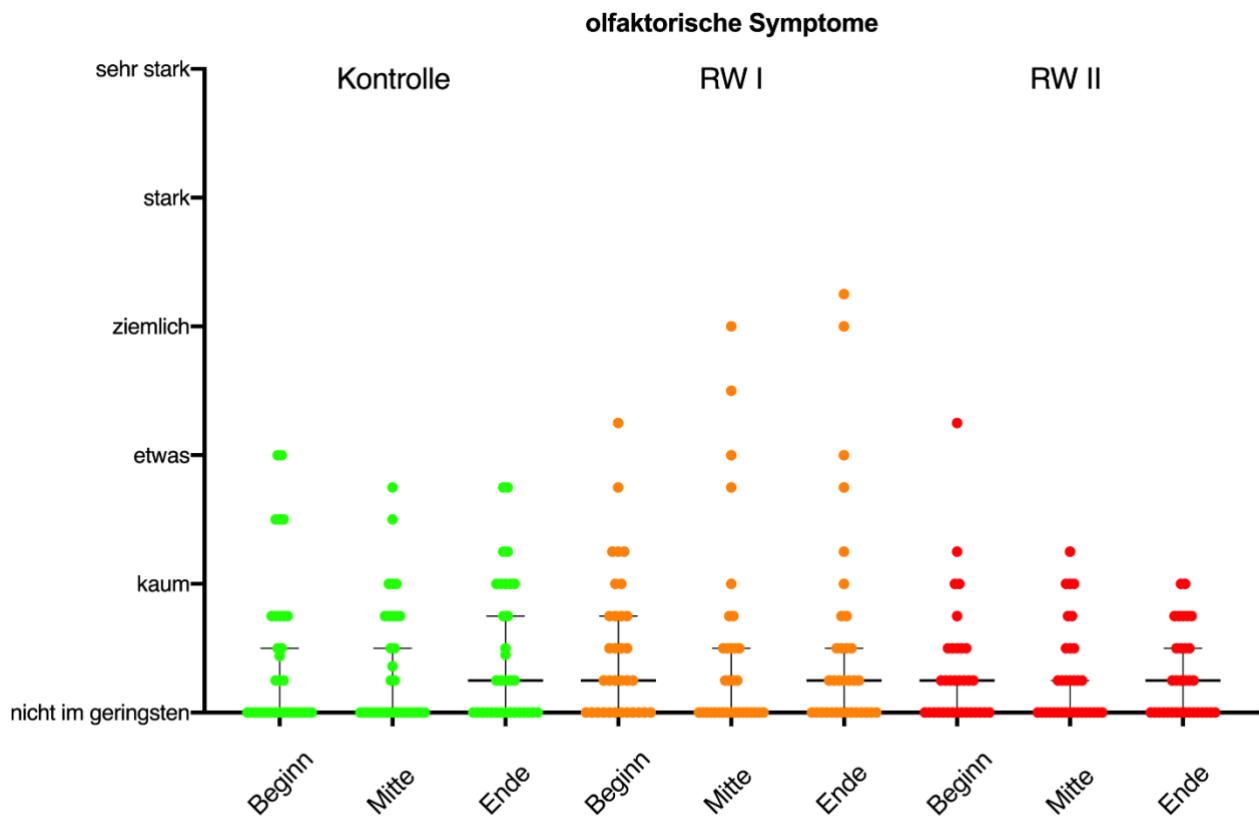
Bedingung

Bewertungen der akuten Symptome aus dem Bereich „unspezifische Symptome“ für die drei Expositionsbefindungen, dargestellt als Einzelwerte, Median und 95 %-Konfidenzintervall. * $p < 0,05$.

Quelle: eigene Berechnung

Ein weiterer signifikanter Effekt ($Q = 15,62, p = 0,048$) ergab sich für die olfaktorischen Symptome, die sich aus den vier Beschwerden „Empfinden schlechter Luft“, „üblicher Geruch“, „unangenehmer Geruch“ und „Gestank“ zusammensetzten. In Abbildung 24 wird deutlich, dass die individuellen Ratings der Versuchspersonen sehr stark variieren, teilweise zum Ende (Kontrolle und RW II) und teilweise zu Beginn und Ende (RW I), wo die höchsten Symptomangaben zu beobachten waren. Im Vergleich zur RW I-Bedingung waren die Variationen der Ratings in der RW II-Bedingung zu allen Messzeitpunkten geringer und insgesamt niedriger. Die gezielten, paarweisen Vergleiche wurden jedoch nicht signifikant, so dass sich kein signifikanter Zeittrend für eine oder alle Bedingungen ergibt (vergleiche Abbildung 21 B für die LMS-Geruchsintensität). Bei den ohnehin sehr niedrigen Symptomangaben ist die Erfassung von Zeittrends, die auf eine Adaptation an den Geruch hindeuten, nicht zu erwarten.

Abbildung 24: SPES-Fragebogen: olfaktorische Symptome



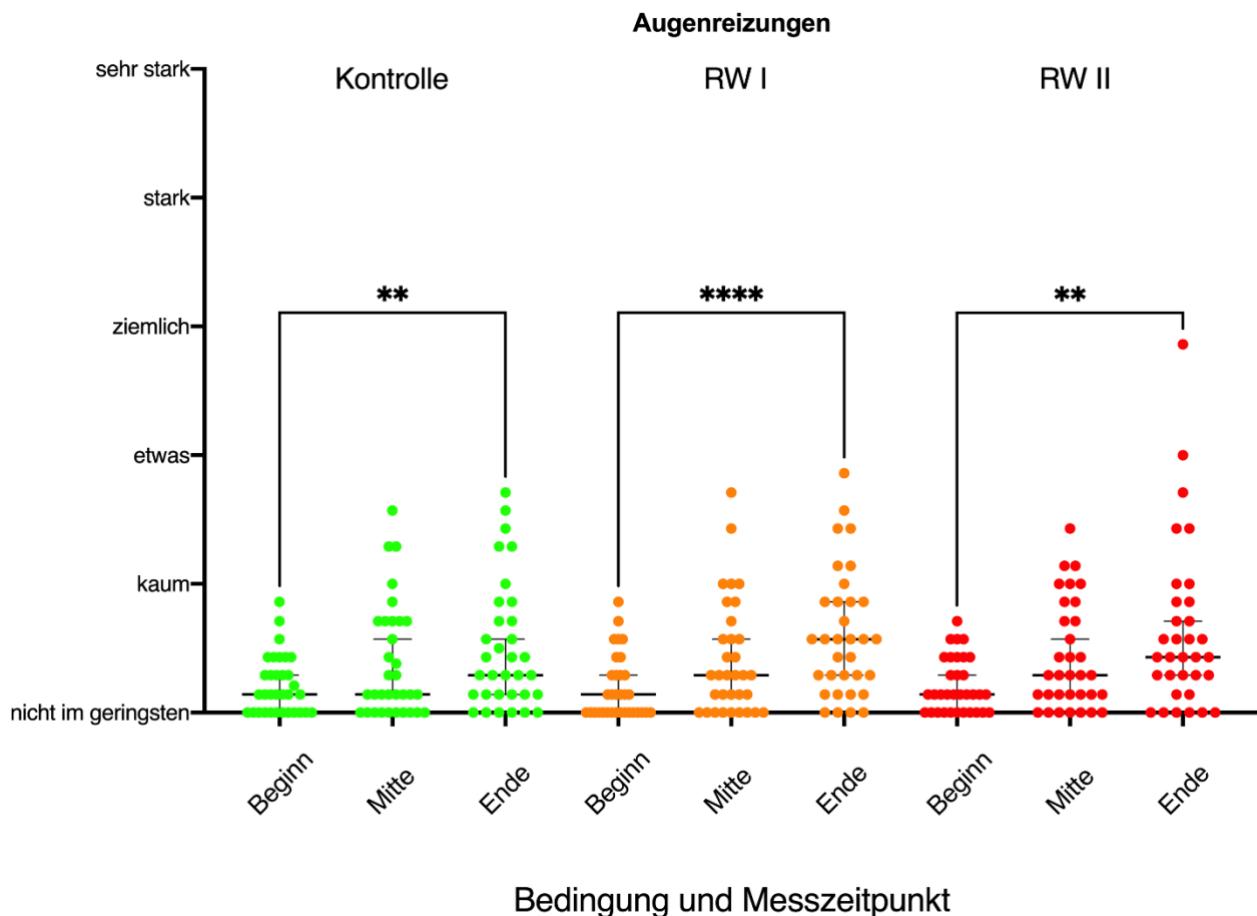
Bedingung und Messzeitpunkt

Bewertungen der akuten Symptome aus dem Bereich 'olfaktorische Symptome' für die Expositionsbedingungen und Messzeitpunkte, dargestellt als Einzelwerte, Median und 95 %-Konfidenzintervall.

Quelle: eigene Berechnung

Für die sieben Symptome aus dem Bereich Augenreizungen (Ermüdung der Augen, juckende Augen, brennende Augen, Reizungen der Augen, trockene Augen, tränende Augen, Rötungen der Augen) konnte in allen Bedingungen (Abbildung 25) eine signifikante Zunahme über die Zeit beobachtet werden ($Q = 69,2$, $p < 0,0001$).

Abbildung 25: SPES-Fragebogen: Augenreizungen



Bedingung und Messzeitpunkt

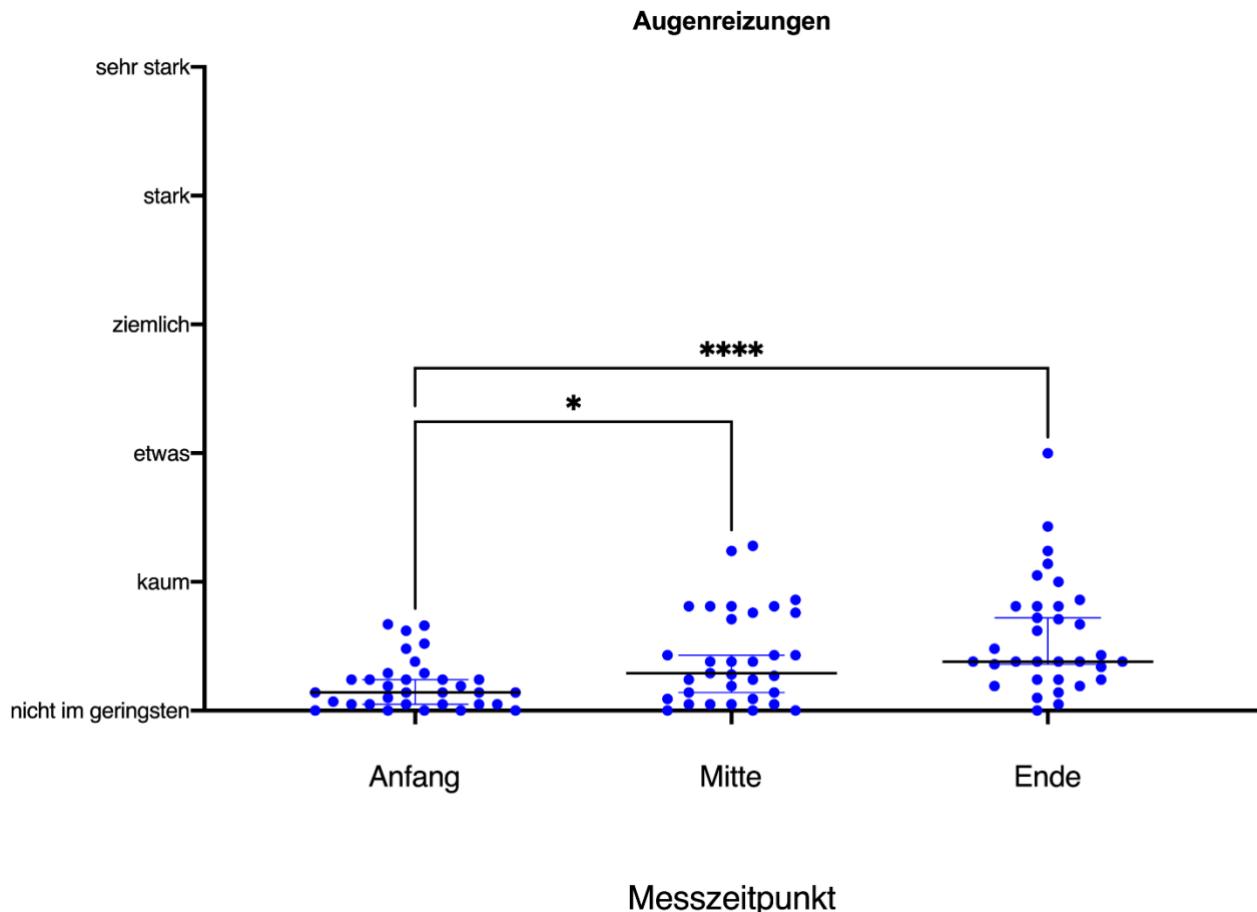
Ratings der akuten Symptome aus dem Bereich ‚Augenreizungen‘ für die Expositionsbefindungen und Messzeitpunkte, dargestellt als Einzelwerte, Median und 95 %-Konfidenzintervall.

** $p < 0,01$, **** $p < 0,0001$.

Quelle: eigene Berechnung

Aus den paarweisen Vergleichen ergibt sich kein Hinweis auf stärkere Effekte bei den Expositionsbefindungen mit Holzemissionen, da sich die Ratings der Augenreizungen am Ende der drei Bedingungen nicht signifikant voneinander unterscheiden. Es handelt sich also um einen generellen Haupteffekt der Zeit (Abbildung 26).

Abbildung 26: SPES-Fragebogen: Augenreizungen in Abhängigkeit vom Messzeitpunkt



Ratings der akuten Symptome aus dem Bereich „Augenreizungen“ für die drei Messzeitpunkte, dargestellt als Einzelwerte, Median und 95 %-Konfidenzintervall. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, **** $p < 0,0001$.

Quelle: eigene Berechnung

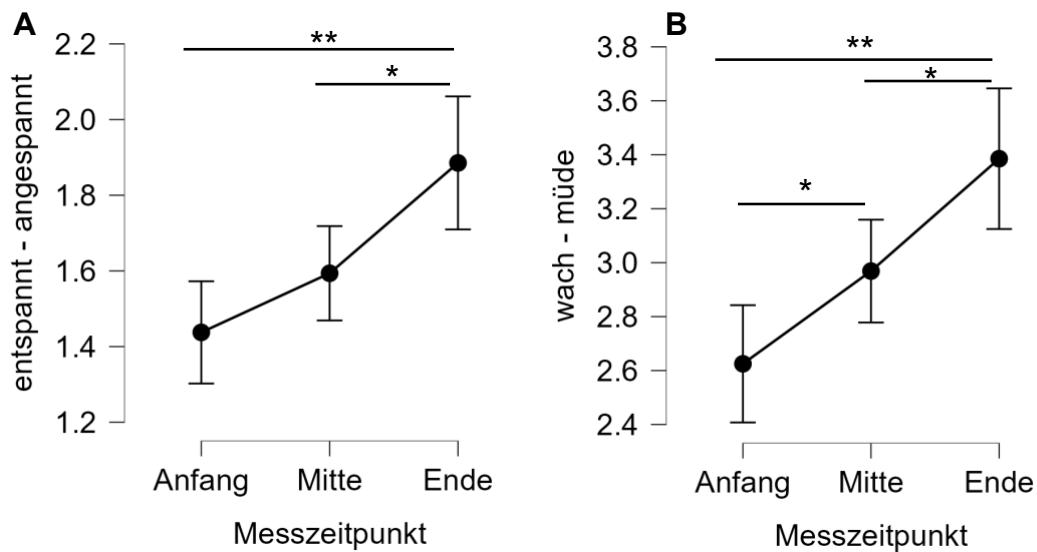
3.2.1.4 Befinden

Die rmANOVA ergab weder für die Expositionsbedingung noch die Interaktion einen signifikanten Effekt auf die Entspannungswerte. Es zeigte sich wiederum ein signifikanter Anstieg und somit ein Wechsel von entspannt zu angespannt über die Messzeitpunkte hinweg, $F(1,623;50,312)_{\text{Huynh-Feld}} = 10,304$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,249$ (Abbildung 27A). Die Post-hoc-Vergleiche verdeutlichen einen signifikanten Unterschied zwischen Anfang und Ende, $t(31) = -4,472$, $p_{\text{Holm}} < 0,001$, $d = -0,571$, und Mitte und Ende, $t(31) = -2,912$, $p_{\text{Holm}} = 0,010$, $d = -0,372$.

Ein vergleichbares Muster zeigte sich bei den Bewertungen von wach bis müde. Auch hier besteht ein signifikanter Haupteffekt ‚Messzeitpunkt‘, $F(2,62) = 11,500$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,271$ (Abbildung 27B). Post-hoc-Vergleiche bestätigen, dass die Versuchspersonen über das Experiment hinweg zunehmend angaben müder zu werden (Anfang vs. Mitte: $t(31) = -2,165$, $p_{\text{Holm}} = 0,034$, $d = -0,284$; Mitte vs. Ende: $t(31) = -2,624$, $p_{\text{Holm}} = 0,02$, $d = -0,344$; Anfang vs. Ende: $t(31) = -4,788$, $p_{\text{Holm}} < 0,001$, $d = -0,628$).

Bei den Beschwerdeangaben (beschwerdefrei – starke Beschwerden) zeigt sich ebenfalls kein Effekt der Expositionskonzentration oder eine Interaktion mit Messzeitpunkt, jedoch wieder ein Haupteffekt Messzeitpunkt, $F(2,62) = 3,262$, $p = 0,045$, $\eta_p^2 = 0,095$. Allerdings bleibt in den Post-hoc-Vergleichen nach Korrektur für Mehrfachvergleiche kein signifikanter Unterschied zwischen den Messzeitpunkten.

Abbildung 27: Befinden (entspannt – angespannt / wach – müde)

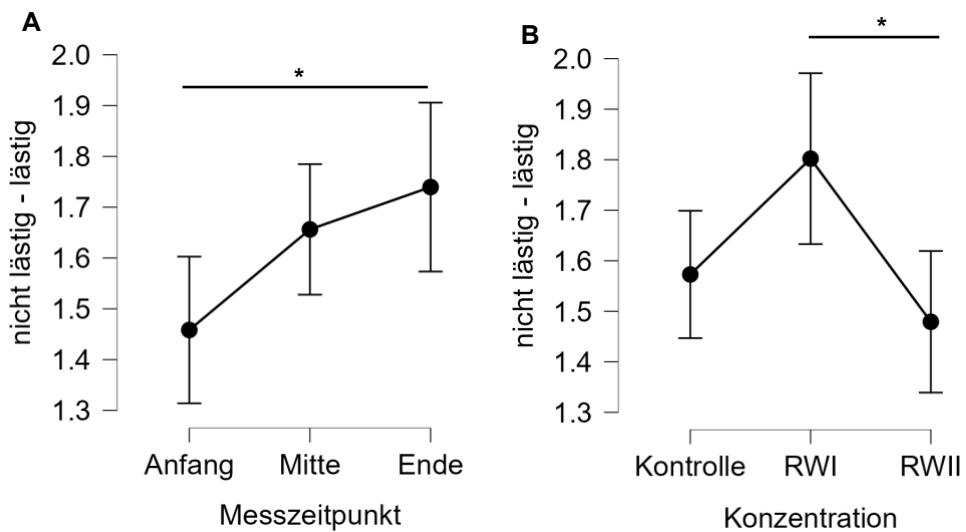


Befindlichkeit (Bereich: 1-7) von **A** entspannt zu angespannt und **B** wach zu müde. Es zeigt sich ein signifikanter Anstieg über den Versuchszeitraum hinweg, * $p < 0,05$, ** $p < 0,001$. Fehlerbalken entsprechen 95 %-Konfidenzintervall.

Quelle: eigene Berechnung

Bei den Angaben zur Lästigkeit (nicht lästig - lästig) findet sich ebenfalls ein signifikanter Effekt von Messzeitpunkt auf die Lästigkeitsbewertung, $F(1,355;41,998)_{GG} = 3,856$, $p = 0,044$, $\eta_p^2 = 0,111$. Die Post-hoc-Vergleiche zeigten hier den einzigen signifikanten Unterschied zwischen dem ersten und letzten Messzeitpunkt, $t(31) = -2,703$, $p_{Holm} = 0,027$, $d = -0,310$ (Abbildung 28A). Zusätzlich zeigte sich aber auch ein Einfluss der Expositionskonzentration, $F(1,398;43,337)_{GG} = 4,294$, $p = 0,032$, $\eta_p^2 = 0,122$ (Abbildung 28B). Der Post-hoc-Vergleich verdeutlichte, dass der signifikante Unterschied zwischen der RW I und RW II Expositionsbereichung besteht, mit einer signifikant höheren Lästigkeitsbewertung der RW I-Konzentration, $t(31) = -2,848$, $p_{Holm} = 0,018$, $d = -0,356$. Dieses Muster wurde, wie auch für die Lästigkeit ermittelt mit der LMS und für die unspezifischen Symptome des SPES-Fragebogens, in einer Sensitivitätsanalyse (Kapitel 3.2.2) näher beleuchtet. Zwischen den Faktoren bestand keine Interaktion, $p > 0,525$.

Abbildung 28: Befinden (nicht lästig – lästig)



Lästigkeitsbewertung (Bereich: 1-7, nicht lästig – lästig) ist beeinflusst von **A** der Expositionsduer, also dem Messzeitpunkt und **B** von der Expositionskonzentration. Zwischen diesen beiden Faktoren besteht keine Interaktion.
 * $p < 0,05$. Fehlerbalken entsprechen 95 %-Konfidenzintervall.

Quelle: eigene Berechnung

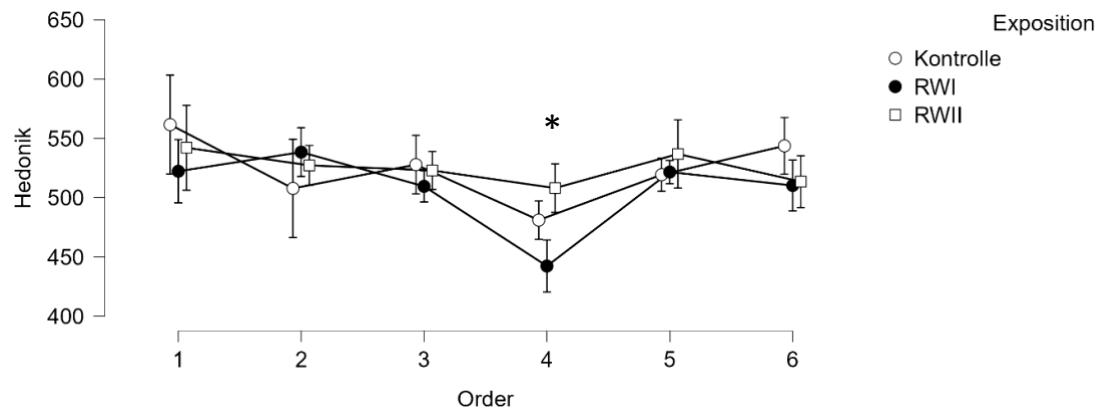
3.2.2 Sensitivitätsanalysen

Bei allen Analysen der Hedonik, Lästigkeit (ermittelt sowohl mit der LMS als auch der Ordinalskala) und unspezifischen Symptomen des SPES-Fragebogens zeigten sich Haupteffekte zur Expositionsbefindung, wobei die Post-hoc-Vergleiche die (größten) signifikanten Unterschiede zwischen den beiden RW-Expositionsbefindungen aufzeigten. Interessanterweise wurde RW I als weniger angenehm und lästiger empfunden und die neutrale Kontrollbedingung lag zwischen den beiden Expositionsbefindungen. Die Ergebnisse der Bewertungen legten Sensitivitätsanalysen mit weiteren Kontrollvariablen als Zwischensubjektfaktor oder Kovariablen anstelle des Faktors ‚Messzeitpunkt‘ nahe. Zu diesen Variablen zählten ‚Versuchsphase‘ (Phase 1 vs. Phase 2), ‚Tageszeit‘ (Morgengruppe vs. Mittagsgruppe), ‚Reihenfolge‘ der Expositionsszenarien über die Wochen, aber auch relevante Kovariablen aus dem Fragebogenpaket, die möglicherweise besondere chemosensorische Sensitivität (CSS1 und COSS) oder bestimmte Persönlichkeitsmerkmale erfassten (Ängstlichkeit und Neurotizismus).

3.2.2.1 Hedonik

Die Zwischensubjektfaktoren ‚Versuchsphase‘ und ‚Tageszeit‘ ergaben keinen signifikanten Effekt auf die Hedonikbewertung. Wenn die Variable Bedingungsreihenfolge in die Analysen mit aufgenommen wird, bleibt der signifikante Haupteffekt für Konzentration ($F(2,50) = 5,146, p = 0,009, \eta_p^2 = 0,018$) erhalten, er fiel jedoch deutlich schwächer aus, was sich in einer um 80 % verringerten Effektstärke ($\eta_p^2 = 0,106$ vs. $\eta_p^2 = 0,018$) widerspiegelt. Obwohl der Faktor Bedingungsreihenfolge selbst keinen signifikanten Haupteffekt zeigte, $F(5,25) = 0,747, p = 0,596, \eta_p^2 = 0,109$, ergibt sich eine Interaktion aus Konzentration und Reihenfolge, $F(10,50) = 3,129, p = 0,004, \eta_p^2 = 0,056$ (Abbildung 29). Der Post-hoc-Vergleich zeigt, dass der signifikante Unterschied zwischen der RW I- und RW II-Konzentration nur innerhalb der Reihenfolge Gruppe 4 besteht, $t(4) = -4,850, p = 0,002, d = -1,239$.

Die Variablen aus dem Fragebogenpaket (CSS1, COSS, STAI/Ängstlichkeit und Neurotizismus) übten keinen signifikanten Effekt auf die Hedonikbewertung aus (getestet mit und ohne Einschluss des Faktors ‚Bedingungsreihenfolge‘).

Abbildung 29: Sensitivitätsanalyse Hedonik

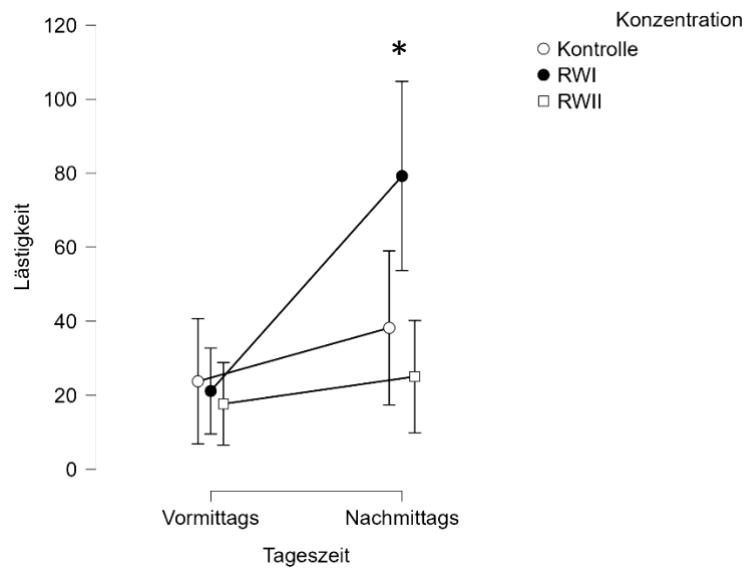
Hedonikbewertung der drei Expositionsbedingungen getrennt nach den sechs Reihenfolgegruppen. Der signifikante Unterschied zwischen den Konzentrationen wird getrieben von Reihenfolgegruppe 4. 1 = Kontrolle, RW I, RW II; 2 = RW I, RW II, Kontrolle; 3 = RW II, Kontrolle, RW I; 4 = Kontrolle, RW II, RW I; 5 = RW I, Kontrolle, RW II; 6 = RW II, RW I, Kontrolle. * $p < 0,05$. Fehlerbalken 95 %-Konfidenzintervall.

Quelle: eigene Berechnung

3.2.2.2 Lästigkeit (LMS)

Der Zwischensubjektfaktor ‚Versuchsphase‘ zeigte keinen signifikanten Einfluss auf die Lästigkeitsbewertung der LMS, $F(1,30) = 0,019$, $p = 0,89$, $\eta_p^2 < 0,001$.

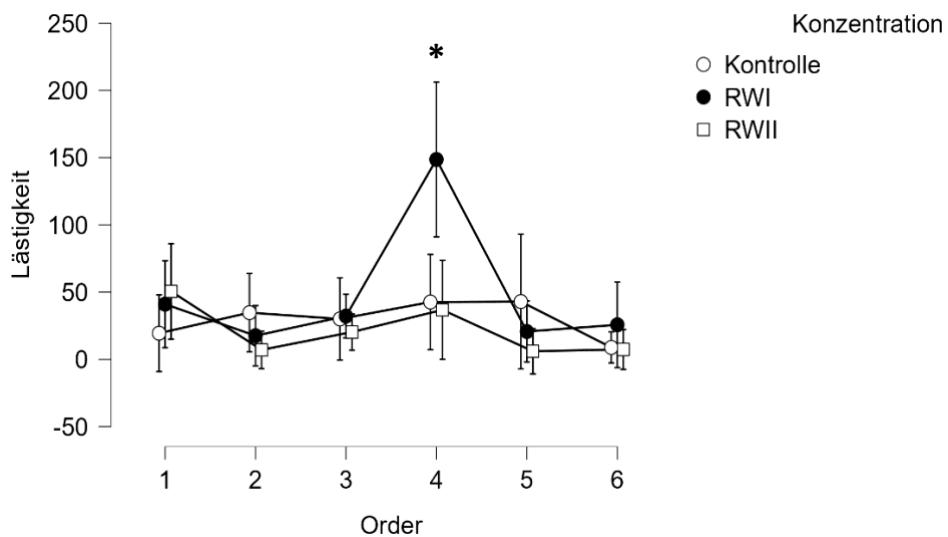
Der Faktor ‚Tageszeit‘ zeigte zwar keinen signifikanten Haupteffekt ($p = 0,081$), jedoch eine signifikante Interaktion mit dem (auch hier noch signifikanten) Faktor Konzentration, $F(1,30) = 3,99$, $p = 0,024$, $\eta_p^2 = 0,117$. Die Post-hoc-Vergleiche zeigen nur am Nachmittag signifikant höhere Bewertungen in der RW I im Vergleich zur RW II-Bedingung (Abbildung 30). Dies könnte jedoch auch davon beeinflusst sein, dass es mehr Versuchspersonen in der Nachmittagsgruppe gab, die der Reihenfolge 4 entsprachen.

Abbildung 30: Sensitivitätsanalyse Lästigkeit (LMS)

Lästigkeitsbewertung (LMS) mit dem signifikanten Einfluss von Konzentration in Interaktion mit ‚Tageszeit‘. Der Unterschied zeigt sich am Nachmittag zwischen der RW I und RW II-Bedingung, * $p < 0,05$, Fehlerbalken repräsentieren ein 95 %-Konfidenzintervall.

Quelle: eigene Berechnung

Wenn ‚Reihenfolge‘ als Zwischensubjektfaktor aufgenommen wurde, zeigte sich erneut ein signifikanter Haupteffekt für Expositionsbedingung, $F(2,52) = 4,61$, $p = 0,014$, $\eta_p^2 = 0,151$. Obwohl sich in den Sensitivitätsanalysen dieser Bewertung ebenfalls kein signifikanter Haupteffekt für ‚Reihenfolge‘ ergab, zeigte sich eine signifikante Interaktion der beiden Faktoren, $F(2,52) = 3,64$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,412$. Durch die Post-hoc-Analysen zeigte sich auch hier, dass die signifikanten Unterschiede nur innerhalb von Gruppe 4 bestehen bzw. zwischen den anderen Gruppen und Gruppe 4 (Abbildung 31). Sowohl Angaben zu chemischer Sensitivität (CSS1 oder COSS) als auch Ängstlichkeit und Neurotizismus hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Lästigkeitsbewertungen.

Abbildung 31: Sensitivitätsanalyse Lästigkeit (LMS): Einfluss der Bedingungsreihenfolge

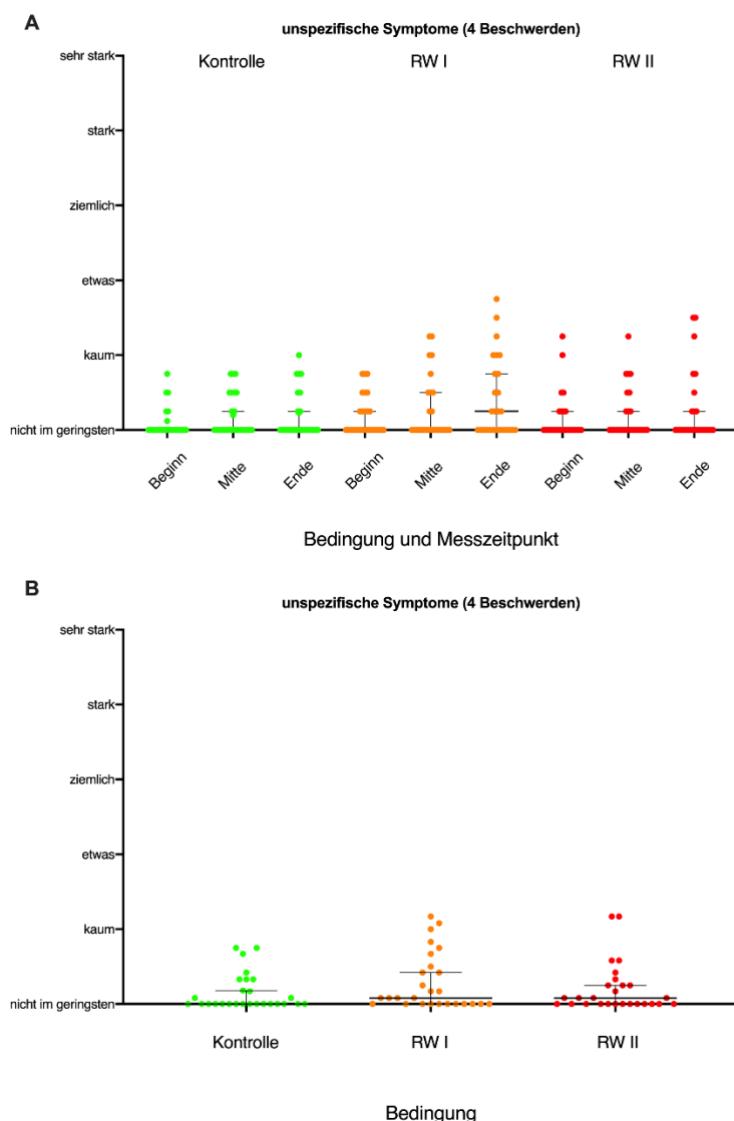
Lästigkeitsbewertung (LMS) mit dem signifikanten Einfluss von Konzentration in Interaktion mit ‚Reihenfolge‘. Der Unterschied zeigt sich zwischen RW I-Bewertungen der Gruppe 4 und allen anderen Bedingungen und Gruppen, 1 = Kontrolle, RW I, RW II; 2 = RW I, RW II, Kontrolle; 3 = RW II, Kontrolle, RW I; 4 = Kontrolle, RW II, RW I; 5 = RW I, Kontrolle, RW II; 6 = RW II, RW I, Kontrolle. * $p < 0,05$, Fehlerbalken repräsentieren ein 95 %-Konfidenzintervall.

Quelle: eigene Berechnung

3.2.2.3 Fragen zu akuten Symptomen (SPES)

Auch bei den unspezifischen Symptomen legen die Sensitivitätsanalysen nahe, dass die Versuchspersonen der Reihenfolge Gruppe 4 diesen Effekt maßgeblich verursachten. Werden die entsprechenden Personen aus den Analysen ausgeschlossen (Abbildung 32), so sind die signifikanten Post-hoc-Tests dieser Symptomkategorie (siehe Abbildung 22 und 23) nicht mehr signifikant.

Abbildung 32: Sensitivitätsanalyse SPES: unspezifische Symptome



Bewertungen der akuten Symptome aus dem Bereich ‚unspezifische Symptome‘ unter Ausschluss der Personen aus Gruppe 4 für (A) alle Messungen während der drei Expositionsbedingungen und (B) gemittelt für die drei Expositionsbedingungen, dargestellt als Einzelwerte, Median und 95 %-Konfidenzintervall.

Quelle: eigene Berechnung

Zusammenhänge zu den Fragebögen zur chemischen Sensitivität (CSS1 oder COSS) oder den Ängstlichkeits- und Neurotizismusscores ergaben sich auch für die akuten Symptome nicht.

3.2.2.4 Lästigkeit (Ordinalskala)

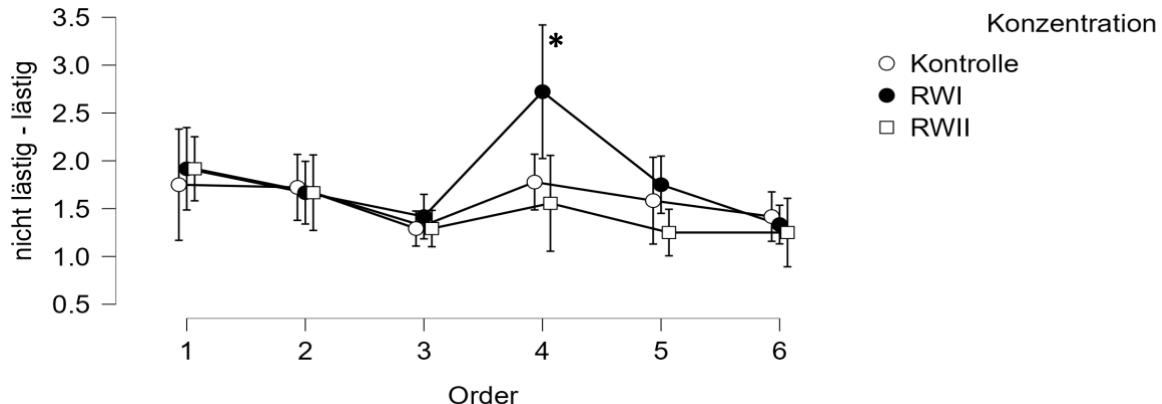
Die Zwischensubjektfaktoren ‚Versuchsphase‘ und ‚Tageszeit‘ hatten keinen signifikanten Einfluss auf das Lästigkeitsbefinden ($p > 0,062$).

Wenn ‚Reihenfolge‘ als Faktor mit aufgenommen wurde, zeigte sich ein vergleichbares Bild wie bei den Hedonik-, SPES- oder LMS-Lästigkeitsbewertungen mit einem signifikanten Effekt der Expositionskonzentration, $F(1,41;36,90)_{GG} = 4,291$, $p = 0,033$, $\eta_p^2 = 0,142$, der aber auch in Interaktion mit der Expositionsreihenfolge stand. Jedoch wird die Interaktion nach der Anpassung der Freiheitsgrade auf Grund von Verletzungen der Sphärizitätsannahme nicht mehr signifikant, wobei der Trend weiterhin in die Richtung geht,

$F(7,096;36,90)_{GG} = 2,032, p = 0,076, \eta_p^2 = 0,281$. Da das Interesse jedoch speziell an der Subgruppe 4 bestand, wurde eine Post-hoc-Analyse durchgeführt (Abbildung 33). Hierbei zeigte sich, dass die einzigen signifikanten Unterschiede zwischen den Expositionsbedingungen in Gruppe 4 zu finden waren (Kontrolle vs. RW I: $t(31) = -4,89, p_{Holm} = 0,007, d = -1,042$).

Weder hatten Angaben zu chemischer Sensitivität (CSS1 oder COSS) noch die Ängstlichkeits- und Neurotizismusscores einen signifikanten Einfluss auf die Lästigkeitsbewertungen.

Abbildung 33: Sensitivitätsanalyse Lästigkeit (Ordinalskala)



Lästigkeitsbewertung (Ordinalskala) wurde von der Expositionskonzentration in Interaktion mit Expositionsreihenfolge beeinflusst. Post-hoc-Analysen zeigen, dass wieder Gruppe 4 ausschlaggebend für die hohen Lästigkeitsbewertungen von RW I ist. 1 = Kontrolle, RW I, RW II; 2 = RW I, RW II, Kontrolle; 3 = RW II, Kontrolle, RW I; 4 = Kontrolle, RW II, RW I; 5 = RW I, Kontrolle, RW II; 6 = RW II, RW I, Kontrolle. * $p < 0,05$. Fehlerbalken entsprechen 95 %-Konfidenzintervall.

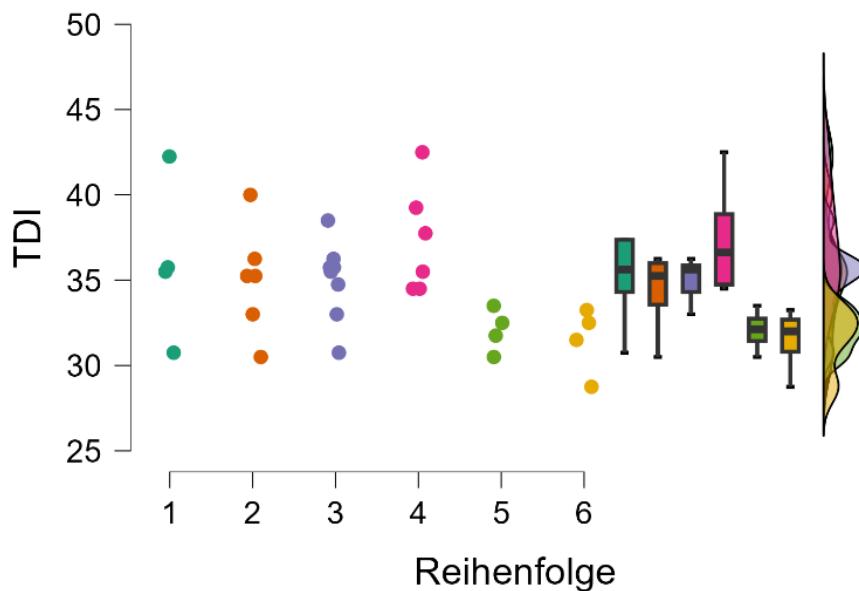
Quelle: eigene Berechnung

3.2.2.5 Gruppe 4 – Was macht sie besonders?

Bis auf die Versuchsreihenfolgen, also in welcher Reihenfolge die Versuchspersonen die verschiedenen Bedingungen durchliefen, zeigte sich kein signifikanter Effekt bei den Sensitivitätsanalysen. Es sollte sehr kritisch betrachtet werden, dass die Stichprobe innerhalb der Faktorenstufen nur sehr klein sind (4 bis 8 Versuchspersonen). Daher kann nicht abgesichert festgestellt werden, ob tatsächlich die Expositionsreihenfolge (Kontrolle, RW II, RW I) den Effekt treibt oder die Versuchspersonen in Gruppe 4 sich auf einer relevanten Ebene von den anderen Versuchspersonen unterscheiden und zufällig in die Gruppe mit der gleichen Reihenfolge sortiert wurden.

Um dies zu überprüfen, wurden weitere ANOVAs mit ‚Reihenfolge‘ als Zwischensubjektfaktor und abhängigen Variablen aus dem Fragebogenpaket bzw. den demographischen Daten hinzugezogen. Jedoch unterschieden sich die Versuchspersonen zwischen den Gruppen in keiner der folgenden Variablen: Ängstlichkeit, Neurotizismus, CSS1, COSS oder Alter. Der einzige Hinweis zeigte sich in der Rechtfähigkeit der Versuchspersonen (TDI), $F(5,27) = 3,074, p = 0,025, \eta_p^2 = 0,363$. Der signifikante Unterschied bestand vor allem zwischen Reihenfolgegruppe 4 und 6 (Abbildung 34). Jedoch bleibt dieser Unterschied nach der Korrektur für Testwiederholung nicht mehr signifikant.

Abbildung 34: Sensitivitätsanalyse: TDI-Score



TDI-Score der einzelnen Versuchspersonen nach Expositionsreihenfolge aufgeschlüsselt. Der visuelle Unterschied zwischen Gruppe 4 und den anderen Gruppen ist jedoch nicht signifikant.

Quelle: eigene Berechnung

3.2.2.6 Interpretation Erleben

Basierend auf den Skalierungen bzw. Bewertungen lässt sich schlussfolgern, dass es keinen konzentrations-abhängigen Effekt von Kiefernholz-VOCs im Bereich der Richtwerte I und II auf die Bewertung der Innenraumluft oder die davon ausgelösten Empfindungen gibt. Es zeigte sich lediglich ein Effekt von der Aufenthaltsdauer, der jedoch typisch bei längeren Expositionen ist. Diese Effekte waren in allen drei Expositionsbedingungen, sowohl in den beiden Expositionen mit Kiefernholzemissionen als auch in der Kontrollbedingung (reine Luft) zu finden. Es muss bei der Interpretation der Ergebnisse ebenfalls berücksichtigt werden, dass alle Angaben aus dem Bereich Erleben im Vergleich zu den jeweils möglichen Skalenbereichen sehr niedrig und damit schwach ausgeprägt waren. Alle signifikanten Effekte auf der Ebene des Erlebens bewegen sich somit auf einem Niveau, dass als sehr niedrig angesehen werden muss. Dies gilt gleichermaßen für die Intensitätsbewertungen der Hedonik, der chemosensorischen Empfindungsstärken, der akuten Symptome und des Befindens. Vor allem bei den SPES olfaktorischen Symptomen (Abbildung 24) ist zusätzlich eine erhebliche interindividuelle Variabilität zu erkennen, die zeit- und expositionsunabhängig zu sein scheint.

Der Effekt der Reihenfolge lässt sich vermutlich am ehesten durch die sehr kleine Stichprobe innerhalb der Reihenfolgensubgruppen und Zufall erklären, oder durch unbestimmte Einflüsse, die genau diese kleine Subgruppe dazu veranlasste, besonders lästige Empfindungen während der RW I-Exposition anzugeben. Die Tatsache, dass diese Gruppe hohe TDI-Scores hat, könnte ein erster Hinweis auf die Einflüsse der Riechfähigkeit auf das Erleben von Innenraumluft sein. Dies untermauert zum einen die Schwierigkeit einer objektiven Bewertung von Innenraumluftqualität, da einzelne Individuen die Qualität maßgeblich unterschiedlich erleben und zeigt, dass weiterführende Studien benötigen werden, um mögliche Einflussfaktoren besser und statistisch abgesichert ermitteln und quantifizieren zu können.

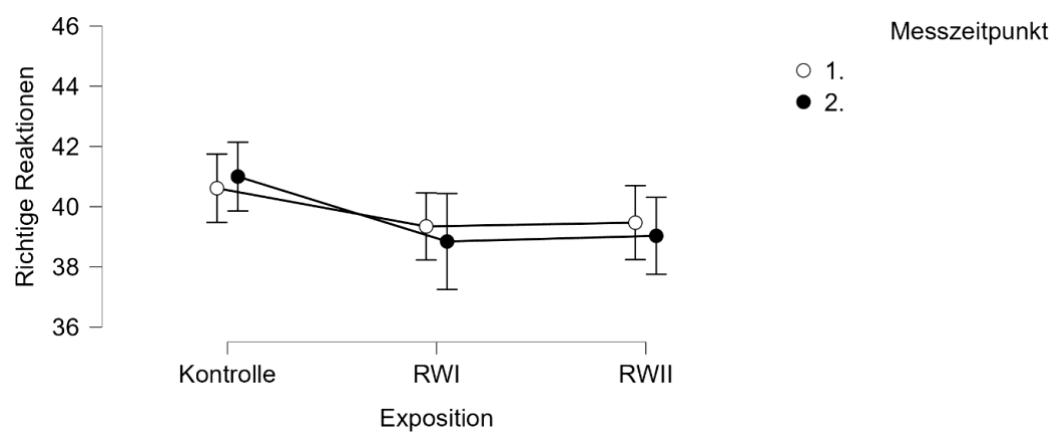
3.2.3 Ergebnisse Verhalten

3.2.3.1 Einfache Arbeitsgedächtnisaufgabe (2-back)

Für die Auswertungen musste jeweils eine Versuchsperson bei der 2-back- und eine bei der 3-back-Aufgabe ausgeschlossen werden, da sie die Aufgabe nicht korrekt bearbeitet haben.

Die rmANOVA zeigte vorerst einen signifikanten Haupteffekt der Expositionsbedingung, $F(2,60) = 3,419$, $p = 0,039$, $\eta_p^2 = 0,102$ (Abbildung 35). Die Post-hoc-Tests zwischen den Expositionsbedingungen wurden jedoch nach Bonferroni-Holm-Korrektur nicht mehr signifikant (alle $p > 0,07$). Der Messzeitpunkt oder die Interaktion zwischen den Effekten war nicht signifikant.

Abbildung 35: Arbeitgedächtnis: richtige Reaktionen in der 2-back-Aufgabe

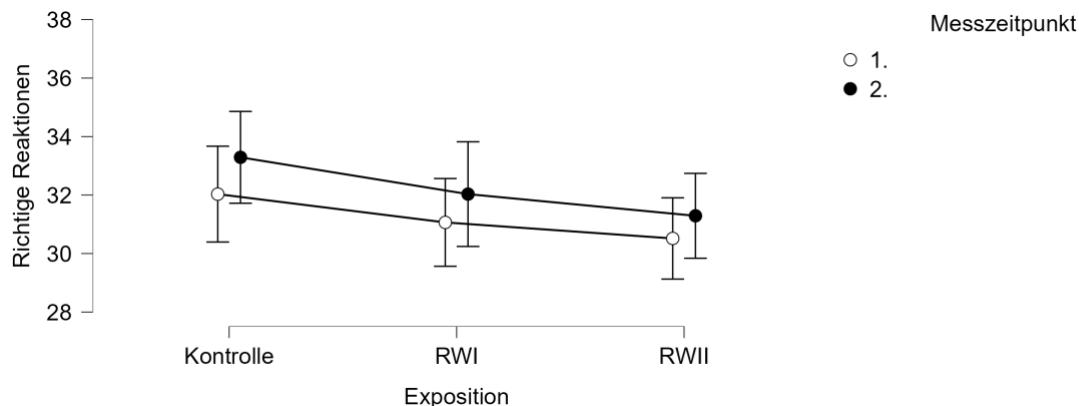


Richtige Reaktionen bei der 2-back Arbeitsgedächtnisaufgabe. Die Expositionsbedingung hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Performanz. Die Fehlerbalken entsprechen einem 95 %-Konfidenzintervall um den Mittelwert.

Quelle: eigene Berechnung

3.2.3.2 Komplexe Arbeitsgedächtnisaufgabe (3-back)

Auch in der schwierigeren Arbeitsgedächtnisaufgabe hatte weder die Expositionsbedingung noch der Messzeitpunkt oder deren Interaktion einen signifikanten Einfluss ($p > 0,12$) auf die Leistung der Versuchspersonen (Abbildung 36).

Abbildung 36: Arbeitgedächtnis: richtige Reaktionen in der 3-back-Aufgabe

Richtige Reaktionen bei der 3-back Arbeitsgedächtnisaufgabe. Die Expositionsbedingung hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Performanz. Die Fehlerbalken entsprechen einem 95 %-Konfidenzintervall um den Mittelwert.

Quelle: eigene Berechnung

3.2.3.3 Interpretation Verhalten

Auf der Ebene des Verhaltens zeigte sich kein Effekt der Expositionsbedingungen und in der 3-back-Aufgabe verbesserte sich die Testleitung in allen Bedingungen von der ersten zur zweiten Messung. Die Versuchspersonen lernen also während der Expositionssphase, wobei der Kiefernholzgeruch diese Lerneffekte nicht verstärkte. Die minimalen, aber signifikanten Empfindungsunterschiede, die besonders durch Reihenfolgegruppe 4 getrieben war mit signifikant „negativeren“ Bewertungen der RW I-Bedingung, zeigte sich nicht in einer schlechteren Performanz in den Arbeitsgedächtnisaufgaben, was als Hinweis auf eine unangemessene Belästigung interpretiert werden könnte. Somit lässt sich auf der Ebene des Verhaltens weder ein negativer noch ein positiver Einfluss von Kiefernholz-VOCs im Konzentrationsbereich zwischen RW I und RW II messen. Dies verdeutlicht zum einen, dass die aktuellen Richtwerte für bizyklische Terpene den Menschen vor geruchsbedingter Ablenkung bei kognitiven Aufgaben schützen, unterstützen jedoch auch nicht die Hypothese, dass Holzgerüche messbare konzentrationsfördernde Effekte haben. Diese Interpretation der Ergebnisse gilt allerdings nur für die hier verwendeten Arbeitsgedächtnisaufgaben.

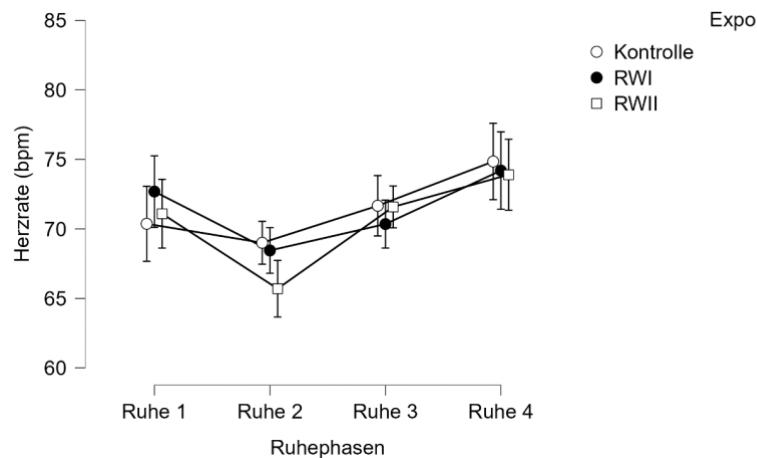
3.2.4 Ergebnisse Physiologie – Zwischen Belästigung und Entspannung

3.2.4.1 Entspannungsindikation (Ruhe-EKG)

Die Abnahme der Herzrate wird als indirektes Maß für Entspannung angesehen. Nimmt also die Herzrate über die Messzeitpunkte ab, so kann das als ein Hinweis auf Entspannung interpretiert werden. Eine Zunahme der Herzrate wäre eher ein physiologischer Hinweis auf eine Belästigungsreaktion. Unterschiede zwischen den Expositionsbedingungen könnten im Sinne einer Verstärkung in die eine oder andere Richtung interpretiert werden. Die rmANOVA zeigte einen signifikanten Haupteffekt des Messzeitpunktes, $F(1,96;52,89)_{GG} = 5,861$, $p = 0,005$, $\eta_p^2 = 0,178$, der sich allerdings nicht in einer generellen Abnahme der Herzrate über die 2-stündige Expositionsdauer zeigte. Beim Vergleich der Messzeitpunkte zeigen die Post-hoc-Vergleiche einen Unterschied zwischen Ruhephase 2 und Ruhephase 4, $t(27) = -4,184$, $p_{Holm} < 0,001$. Weiterhin zeigte sich ebenfalls ein signifikanter Haupteffekt für Expositionsbedingung, $F(2,54)_{GG} = 4,472$, $p = 0,016$, $\eta_p^2 = 0,142$. Die Herzrate ist in der RW II-Bedingung mit 70,57 bpm niedriger als in der Kontrollbedingung (71,47 bpm) und der RW I-Bedingung (71,42 bpm), was durch signifikante Post-hoc-Test absichert werden konnte (RW II vs. Kontrollbedingung, $t(27) = 2,661$, $p_{Holm} = 0,031$; RW I vs. Kontrollbedingung, $t(27) = 2,513$, $p_{Holm} = 0,031$). Auch die Interaktion zwischen den Faktoren, $F(3,356;90,616)_{GG} = 5,251$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,163$ wurde signifikant (Abbildung 37), was

u. a. auf punktuelle Unterschiede zwischen den Expositionsbedingungen hindeutet. Die Interaktion zwischen den beiden Faktoren wurde mit Hilfe von Post-hoc-Tests aufgelöst, welche signifikante Unterschiede zeigten, die Tabelle 19 entnehmbar sind.

Abbildung 37: EKG-Herzrate



Durchschnittliche Herzrate während der vier 7,5-minütigen Ruhephasen. Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Ruhephasen, Konzentrationen und Interaktionen zwischen den Bedingungen. Die Fehlerbalken entsprechen einem 95 %-Konfidenzintervall um den Mittelwert.

Quelle: eigene Berechnung

Tabelle 19: Post-hoc-Vergleiche: Ruhephase (Expositionsdauer) x Expositionsbedingungen

		Mean Difference	SE	t	p _{holm}
Ruhe 2, Kontrolle	Ruhe 4, Kontrolle	-5,848	1,688	-3,465	0,044 *
	Ruhe 2, RW II	3,301	0,723	4,564	<,001 ***
Ruhe 3, Kontrolle	Ruhe 2, RW II	5,964	1,681	3,547	0,035 *
Ruhe 4, Kontrolle	Ruhe 2, RW I	6,400	1,681	3,806	0,014 *
	Ruhe 2, RW II	9,149	1,681	5,441	<,001 ***
Ruhe 1, RW I	Ruhe 2, RW II	6,987	1,681	4,155	0,004 **
Ruhe 2, RW I	Ruhe 2, RW II	2,749	0,723	3,800	0,011 *
Ruhe 4, RW I	Ruhe 2, RW II	8,496	1,681	5,053	<,001 ***
Ruhe 2, RW II	Ruhe 3, RW II	-5,882	1,688	-3,486	0,042 *
	Ruhe 4, RW II	-8,194	1,688	-4,855	<,001 ***

* p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001

Anmerkung: p-Werte adjustiert für 66 paarweise Vergleiche.

Es werden nur signifikante Vergleiche dargestellt

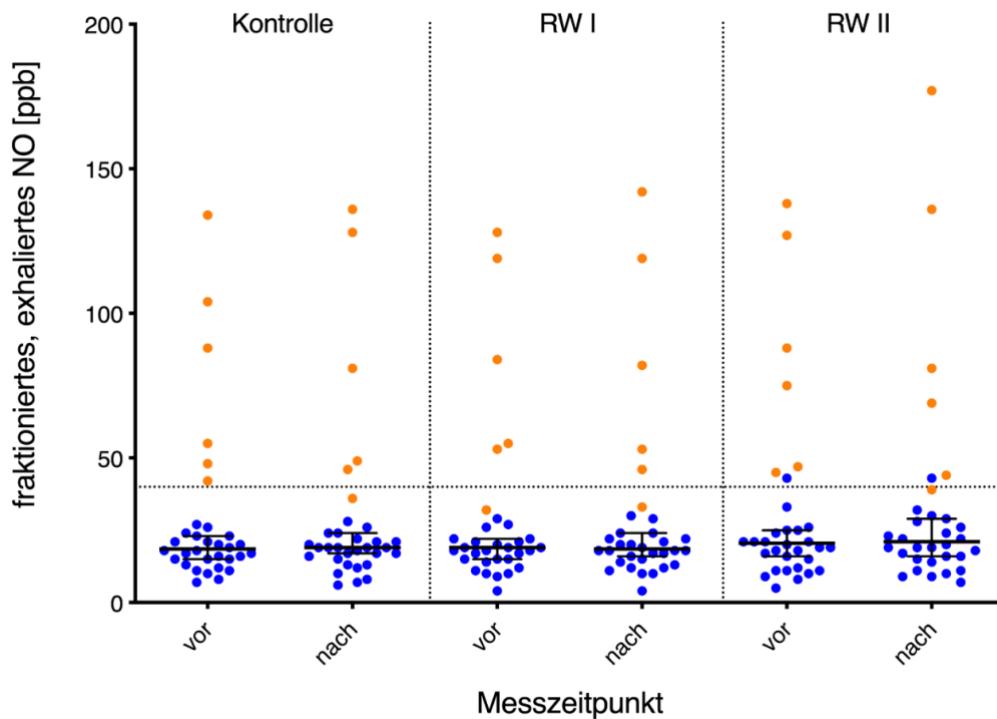
Quelle: eigene Berechnung

Erwähnenswert erscheint hier, dass die zweite Messung während der RW II-Bedingung (Ruhe 2, RW II) in acht der zehn signifikanten Paarvergleiche involviert war. In dieser Bedingung wurde also die niedrigste Herzrate des gesamten Experiments gemessen. Auch wenn in 15 % aller Post-hoc-Vergleichen signifikante Unterschiede gefunden wurden, so sind die numerischen Unterschiede, die in Abbildung 37 dargestellt sind, äußerst gering und physiologisch unbedeutend.

3.2.4.2 Physiologische Reizindikatoren: fraktioniertes exhalierter Stickstoffmonoxid (FeNO) als Entzündungsindikator der mittleren Atemwege

Die FeNO-Konzentration in der Ausatemluft wurde wie die Symptomskalen mit nicht-parametrischen Verfahren ausgewertet. Der Friedman-Test sowie die nachgeschalteten Post-hoc-Tests der vor- und nach-Messungen konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messungen vor und nach der Exposition gegenüber den drei Raumluftbedingungen statistisch absichern ($Q = 6,8$, $p = 0,236$).

Abbildung 38: FeNO-Konzentration in der Ausatemluft



Messungen des fraktionierten, exhalierten NO mittels NIOX VERO® für alle Messungen während der drei Expositionsbedingungen, dargestellt als Einzelwerte, Median und 95 %-Konfidenzintervall. Orange Punkte markieren Personen, die durchgängig erhöhte FeNO-Werte (> 40 ppb; gestrichelte Linien) aufwiesen.

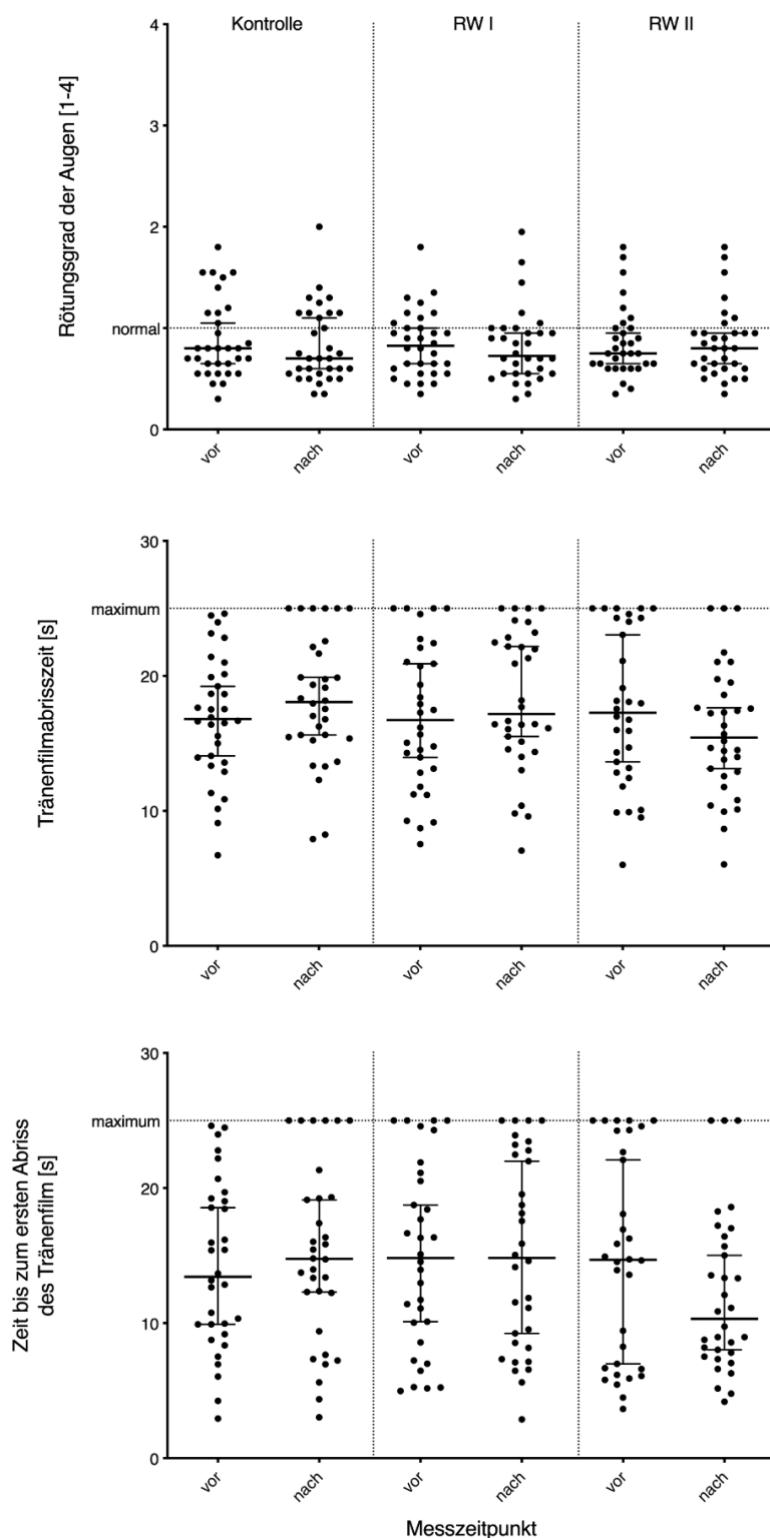
Quelle: eigene Berechnung

Aus Abbildung 38 wird deutlich, dass sechs Personen (orange Punkte) konstant erhöhte FeNO-Konzentrationen (> 40 ppb in mehr als der Hälfte der Messungen) aufwiesen, was als Hinweis auf eine nicht diagnostizierte Sensibilisierung interpretiert werden könnte. Auch bei diesen Personen ergab die statistische Überprüfung etwaiger Effekte der Expositionsbedingungen keine signifikanten Unterschiede ($Q = 4,36$, $p = 0,499$).

3.2.4.3 Physiologische Reizindikatoren: Augenreizungen basierend auf den Messungen mittels Keratograph

Insgesamt wurden drei Indikatoren für Reizungen der Augen gemessen und statistisch analysiert. Keiner der drei Parameter, die Aufschluss über (a) das Ausmaß der Augenrötung oder (b) die Stabilität des Tränenfilms geben, zeigten im Friedman-Test und den anschließenden Post-hoc-Vergleichen der vor- und nach-Messungen einen signifikanten Einfluss von Konzentration, Messzeitpunkt oder eine Interaktion (Abbildung 39).

Abbildung 39: Übersicht der drei Messungen mit dem Keratograph



Messungen der Augenrötung (ein Wert von 1, gestrichelte Linie, gilt als normale, unauffällige Rötung des Auges), der Tränenabriszeit (Mittelwert aller betroffenen Areale, von insgesamt 168 Arealen) und der Zeit bis zum ersten Abriss des Tränenfilms (im ersten, betroffenen Areal) für alle Messungen während der drei Expositionsbedingungen, dargestellt als Einzelwerte, Median und 95 %-Konfidenzintervall. Bei einem Maximum von 25 Sekunden (gestrichelte Linie) wird die Messung beendet, ohne dass ein Abriss des Tränenfilms registriert wurde.

Quelle: eigene Berechnung

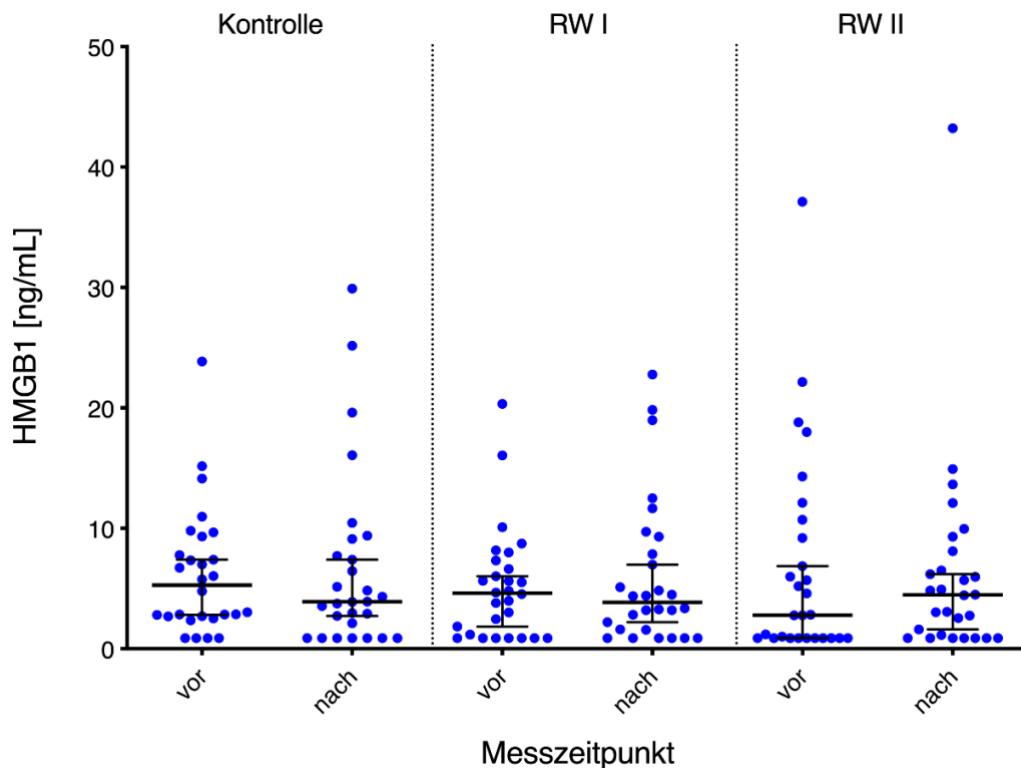
3.2.4.4 Physiologische Reizindikatoren: Proteine in der Tränenflüssigkeit

Die explorativen Analysen mittels Liquid-Chromatographie-Massenspektrometrie/Massenspektrometrie (LC-MS/MS) konnten bisher nicht abgeschlossen werden. Die entsprechenden Proben werden bei -80 °C gelagert.

3.2.4.5 Physiologische Reizindikatoren: Signalmoleküle/ -proteine in der nasalen Lavageflüssigkeit

In der Flüssigkeit, die während der nasalen Lavage der Versuchspersonen gesammelt wurde, wurden die beiden Signalproteine **High-Mobility-Group-Protein B1** (HMGB1) und **Substanz P** mittels **Enzyme-linked Immuno-sorbent Assay** (ELISA) gemessen. Bei der Substanz P handelt es sich um ein Neuropeptid, das von peripheren Nervenfasern bei deren Aktivierung ausgeschüttet wird, um Zellen des Immunsystems eine potenzielle Schädigung „anzukündigen“ (Chiu et al. 2012). Diese sog. neurogene Inflammation ist ein wesentlicher und adverser Effekt im Kontext sensorischer Irritationen (Brüning et al. 2014). Aktuelle Studien zeigen, dass auch HMGB1 von peripheren Nervenfasern nach deren Stimulation ausgeschüttet werden kann (Yang et al. 2021). Es könnte sich also um eine neues Signalprotein der neurogenen Reflexschleife handeln. Die gemessenen Konzentrationen von HMGB1 zeigen erhebliche interindividuelle Unterschiede, die akute Exposition gegenüber Holz-VOCs besitzt allerdings keinen signifikanten Einfluss ($Q = 4,36$, $p = 0,499$) auf die Konzentration dieses biochemischen Parameters (Abbildung 40).

Abbildung 40: HMGB1 in der nasalen Lavage



Konzentrationen des Signalproteins High-Mobility-Group-Protein B1, ermittelt durch einen entsprechenden Enzymimmunoassay, vor und nach den drei Expositionsbefindungen, dargestellt als Einzelwerte, Median und 95 %-Konfidenzintervall.

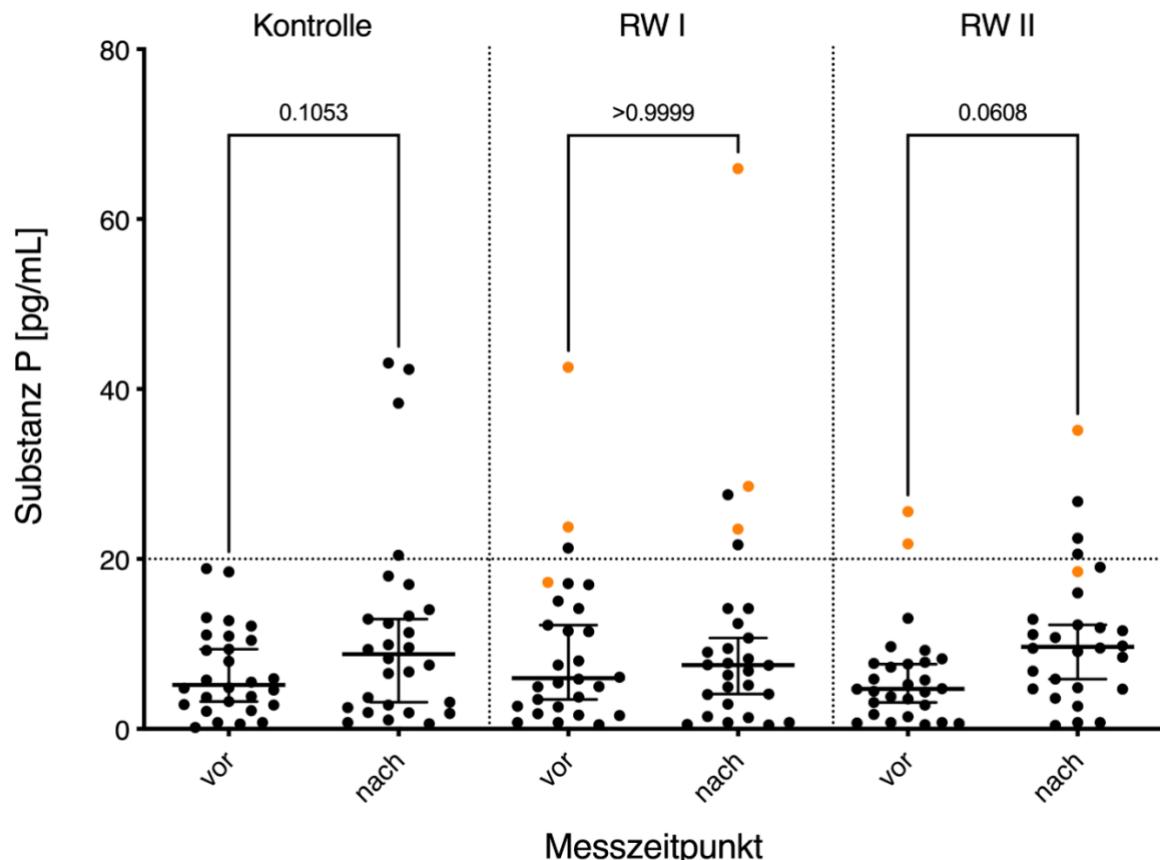
Quelle: eigene Berechnung

Es zeigt sich keine systematische Erhöhung der Konzentrationen nach den verschiedenen Expositionsbefindungen. Die Mediane unterscheiden sich weder statistisch noch numerisch deutlich voneinander. Darüber

hinaus mussten viele Messungen durch die Bestimmungsgrenze ($BG = 0,89 \text{ ng m}^{-3}$) ersetzt werden mussten, da die Werte unterhalb dieser Grenze lagen.

Für den neurogenen Inflammationsmarker Substanz P ergaben sich signifikante Unterschiede im Friedman-Test ($Q = 11,39, p = 0,044$), der anzeigt, dass sich die sechs Messungen voneinander unterschieden. Die nach-Messungen waren immer etwas höher als die vor-Messungen. Anschließende Post-Hoc-Tests mittels „Dunn's multiple comparison tests“ innerhalb der drei Expositionsbedingungen ergaben jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den vor- und nach-Messungen (Abbildung 41).

Abbildung 41: Substanz P in der nasalen Lavage



Konzentrationen des Neuropeptides Substanz P, ermittelt durch einen entsprechenden Enzymimmunoassay, vor und nach den drei Expositionsbedingungen, dargestellt als Einzelwerte, Median und 95 %-Konfidenzintervall. Orange Punkte markieren Personen mit hohen Messwerten vor und nach der jeweiligen Expositionsbedingung.

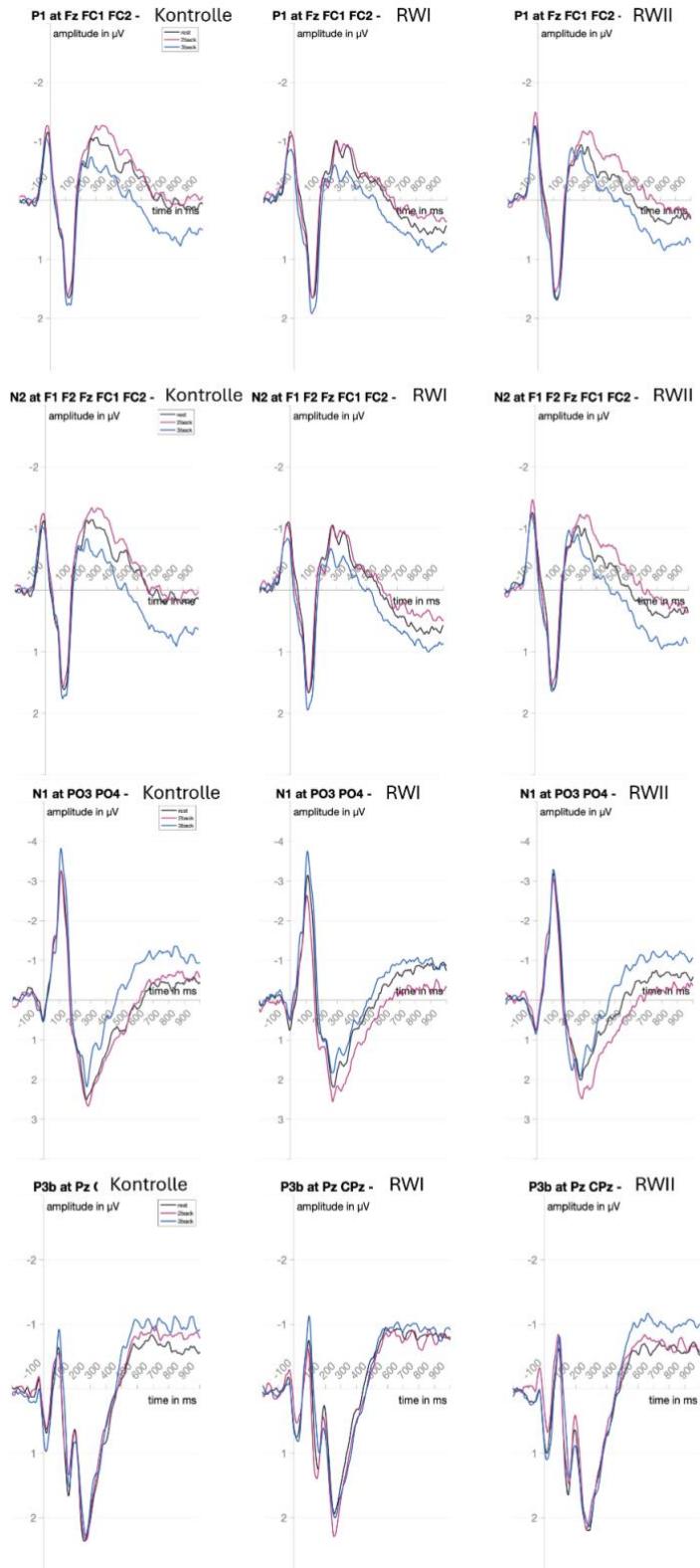
Quelle: eigene Berechnung

Es ist in Abbildung 41 deutlich zu erkennen, dass die Konzentrationen nach den drei Expositionsbedingungen, unabhängig von der VOC-Bedingung, erhöht waren. Die generell erhöhten „nach-Werte“ sind wahrscheinlich auf die Gewinnung der Tränenflüssigkeit zurückzuführen, die zeitlich vor der nasalen Lavage durchgeführt wurde. Die Applikation des Schirmerstreifens stellte eine deutliche, sensorische Reizung von Nervenendigungen des *Nervus ophthalmicus* (V1) dar, dem ersten Ast des *Nervus trigeminus* (5. Hirnnerv), der neben der Bindehaut auch die intranasalen Schleimhäute innerviert. Es ist aus diesen neurophysiologischen Verschaltungen gut vorstellbar, dass die Ausschüttung der Substanz P durch den mechanischen Reiz am Auge ausgelöst wurde. Darüber hinaus war bei einigen Personen (orange Punkte) die Konzentration der Substanz P bereits vor den RW I und RW II-Expositionen erhöht, was ebenfalls auf mögliche andere Ursachen für diese erhöhten Messwerte hindeutet.

3.2.5 Ergebnisse *Neurophysiologie* – Ereignis-Korrelierte-Potenziale (EKPs)

Die Analyse von Blink-gebundenen Ereignis-Korrelierte Potentialen (bEKPs) aus dem EEG ist eine neue Methode der Elektrophysiologie, die es ermöglicht neurophysiologische Prozesse im EEG zu identifizieren und zu beschreiben, ohne dass spezielle Ereignisse markiert und mit den EEG-Wellen in Beziehung gesetzt werden müssen. Komponenten wie die frontale N2 (negativer Ausschlag um ca. 200 ms nach dem Blinzeln), parietale P3 (positiver Ausschlag um 300 ms) und okzipitale P2 (positiver Ausschlag um 200 ms) weisen beispielsweise verminderte Amplituden auf, wenn beim Autofahren komplexe Lenkbewegungen erforderlich sind (Alyan et al. 2023). Als Aufgabe wurden in diesem Experiment die Ruhphasen und die Phasen der 2-back- und 3-back-Aufgabe definiert, die mit unterschiedlichen Anforderungen an das kognitive System der Versuchspersonen assoziiert sind. Auch hier stellte sich die Frage, ob der Geruch durch die Holz-VOCs in den RW I und II-Bedingungen diese Parameter beeinflussen kann. Die dazu berechnete ANOVA der mittleren Amplitude aller Blink-EKPs (Frontale P1, Frontale N2, Parietal-Okzipitale N1, Parietale P3b) ergaben keinen signifikanten Effekt (Abbildung 42). Weder Haupteffekte ‚Aufgabe‘ oder ‚Exposition‘ noch eine Interaktion der Faktoren war signifikant (alle $p > 0,05$).

Während die Blink-gebundenen Ereignis-Korrelierte Potentialen (bEKPs) die erwarteten Muster zeigten und somit die unterschiedlichen Verarbeitungsschritte im Gehirn widerspiegeln, hatten weder der Holz-VOC-Geruch (Faktor Exposition) noch die aktuelle Tätigkeit der Versuchspersonen (Faktor Aufgabe) einen Einfluss.

Abbildung 42: Amplituden der bEKPs: Interaktion von Expositionenbedingungen und Aufgabe

Graphische Darstellung der Blink-gebundenen Ereignis-Korrelierten Potentialen (bEKPs) an unterschiedlichen, frontalen (P1: Fz, FC1, FC2 oder N2: F1 F2 Fz FC1 FC2), parientalen (N1: PO3 PO4) oder zentralen (P3b: Pz CPz) Elektrodenpositionen für die drei Expositionenbedingungen und die unterschiedlichen Aufgaben (rest: Ruhe, 2-back und 3-back: Versionen der Arbeitsgedächtnisaufgabe).

Quelle: eigene Berechnung

3.2.5.1 Interpretation (Neuro)Physiologie

Die Messebene der Physiologie ergab keinen Hinweis auf mögliche reizende Effekte der Exposition im Rahmen von RW I oder RW II im Vergleich zur Kontrollexposition. Die gemessenen Endpunkte zeigten keine akuten Reaktionen des peripheren Nervensystems, im Sinne einer neurogenen Inflammation, auf die Exposition. Die einzigen signifikanten Effekte zeigten sich, vergleichbar mit der Ebene des Erlebens, über den Versuchszeitraum hinweg, jedoch ohne mit der Exposition in Interaktion zu stehen. Hier sind möglicherweise andere Faktoren relevant, die keinen Bezug zu der experimentellen Exposition hatten, und unabhängig davon kurze sensorische Irritationen ausgelöst haben könnten. Manifeste Entzündungsreaktionen an den Atemwegen, die mit der akuten Exposition gegenüber Holz-VOCs assoziiert sein könnten, wurden durch die FeNO-Messungen ebenfalls nicht gefunden. Dies scheint auch für die sechs Personen zu gelten, bei denen eine bisher unbekannte Sensibilisierung der Atemwege vorliegt (generell erhöhte FeNO-Werte). Die EKG-Daten lassen ebenfalls keinen Rückschluss auf einen negativen Effekt der Holz-VOC-Exposition zu. Es kam unter der RW I und etwas stärker noch unter der RW II-Exposition zu einem geringen Abfall der Herzfrequenz während der zweiten Ruhephase, was auf eine milde Form der Entspannung hindeuten kann. Es muss jedoch betont werden, dass es sich hierbei um nur sehr geringe Unterschiede handelt, die darüber hinaus nicht über die Zeit kumulieren oder erhalten bleiben, sondern höchstens akut auftreten und, ähnlich wie bei der Habituation an einen Geruch, nach kurzer Zeit verschwinden. Im Rahmen der Publikation der Ergebnisse in begutachteten, wissenschaftlichen Zeitschriften ist eine ergänzende Analyse der Herzratenvariabilität (HRV) geplant, da mit diesem Parameter in einer aktuellen Studie (Kumpulainen et al. 2024) signifikante Effekte von Holzumgebungen auf psychophysiologische Variablen gezeigt werden konnten.

Auf der Ebene der Neurophysiologie (bEKPs) ließen sich mit der aktuellen Auswertungsstrategie keine Unterschiede zwischen den Arbeitsgedächtnisaufgaben oder Expositionsbedingungen aufdecken. Es wäre möglich, dass durch eine Wahl von anderen Strategien oder innerhalb der Strategie eine Anpassung von Parametern Unterschiede sichtbar gemacht werden könnten. Hierfür wäre jedoch eine rechenintensive Reanalyse der Daten notwendig.

Somit lässt sich zusammenfassen, dass eine 2-stündige Exposition unter kontrollierten Bedingungen bis maximal RW II der bizyklischen Terpene nicht zu toxikologisch-relevanten, bisher nicht untersuchten Effekten im Sinne der sensorischen Irritation führen, aber auch nicht mit einer messbaren Entspannung im EKG der Versuchspersonen assoziiert zu sein scheint.

3.3 Versuch Visueller Kontext

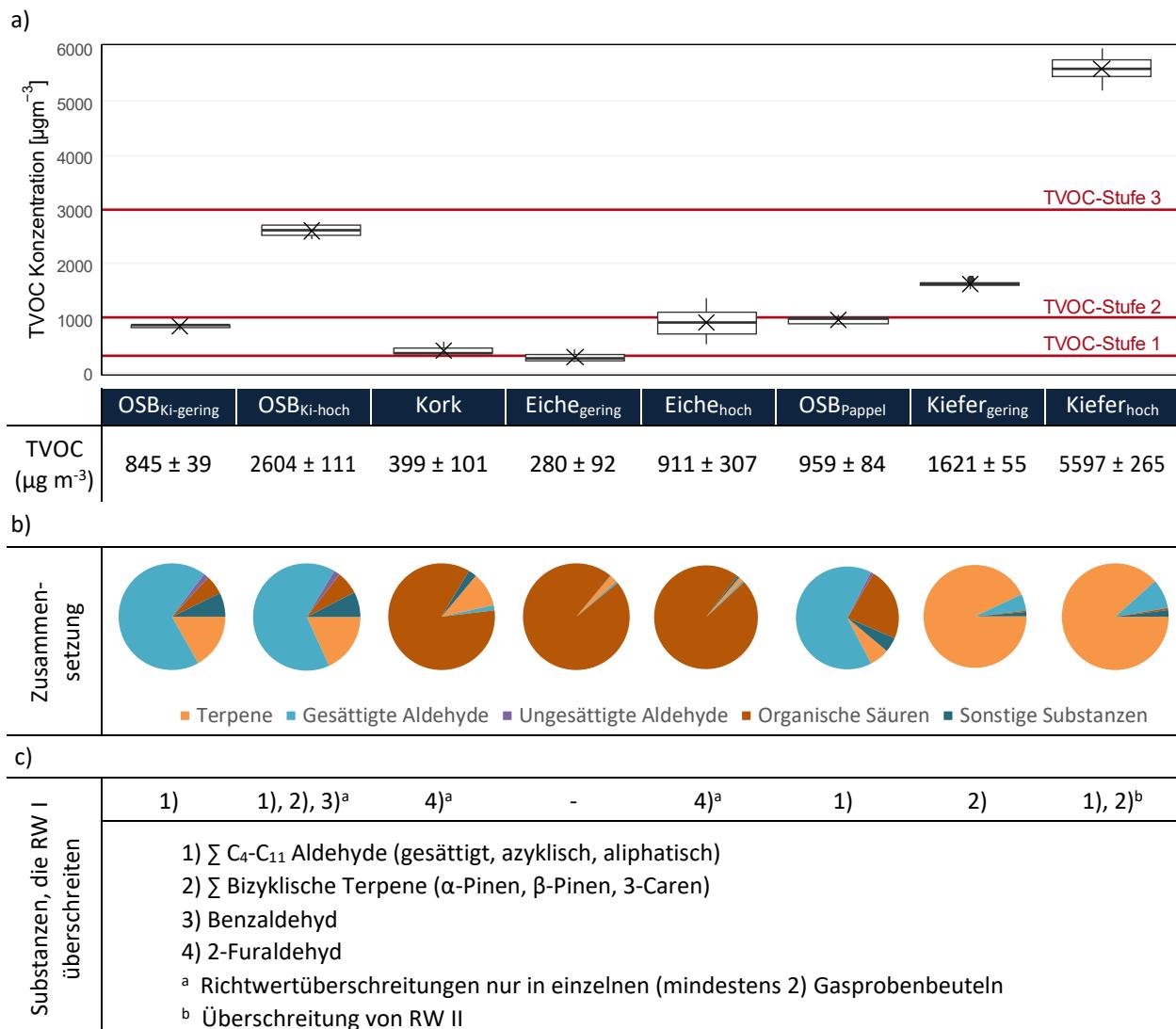
3.3.1 Gerüche

Die TVOC-Konzentrationen in den Probenbeuteln blieben über den zweiwöchigen Versuchszeitraum weitgehend konstant, was darauf hinweist, dass es keine (oder nur vernachlässigbare) VOC-Konzentrationsverluste in den Beuteln gab. Eine Ausnahme stellten die Kork- und Eichen-Gerüche (insbesondere Eiche_{hoch}) dar, deren Emissionen sich im Wesentlichen aus Essigsäure zusammensetzten. Die TVOC-Konzentrationen dieser Gerüche schwankten vergleichsweise stark, was sich in einem größeren Interquartilsabstand bzw. einer höheren Standardabweichung widerspiegelt (Abbildung 43a). Dies war einerseits auf die analytische Messmethode zurückzuführen, die nur bedingt zur Quantifizierung von flüchtiger Essigsäure geeignet ist (VDI 4302 Blatt 7:2018). Andererseits wurde beobachtet, dass die Essigsäurekonzentrationen in der Beutelluft unmittelbar nach dem Befüllen im Vergleich zur Konzentration in der Emissionsprüfkammer bereits reduziert waren. Außerdem nahm die Konzentration mit zunehmender Lagerdauer der Beutel ab. Kasper et al. (2018) und Salthammer et al. (2020) hatten auch für andere chemische Verbindungen Konzentrationsverluste infolge von Diffusions- und Adsorptionsprozessen an der Beutelwand in Probenahmebeuteln aus Nalophan nachgewiesen.

Die TVOC-Konzentrationen der gering- und hoch-konzentrierten Gerüche von OSB_{Kiefer}, Eiche und Kiefer unterschieden sich um den Faktor 3,1, 3,3 bzw. 3,5. Basierend auf dem Beladungsfaktor und der Luftwechselrate (Tabelle 7) wäre ein Faktor von 3,0 (5,0 für Kiefer) erwartet worden. Diese Abweichung wurde auf die hohe Variabilität des Probenmaterials in Bezug auf dessen Emissionsverhalten zurückgeführt. Selbst durch Homogenisierung des Materials (Verwendung von Material nur aus einer Bohle oder einer Holzwerkstoffcharge) konnte dies nicht vollständig ausgeglichen werden, insbesondere im Fall von Vollholz.

Der Kork- und Eiche_{gering}-Geruch wiesen TVOC-Konzentrationen um TVOC-Stufe 1 ($300 \mu\text{g m}^{-3}$) auf, während OSB_{Ki-gering}, OSB_{Pappel} und Eiche_{hoch} bei Stufe 2 ($1.000 \mu\text{g m}^{-3}$) lagen. Zwischen die TVOC-Stufen 2 und 3 konnten die Gerüche von OSB_{Ki-hoch} und Kiefer_{gering} eingeordnet werden. Am höchsten konzentriert war der Kiefer_{hoch}-Geruch mit einer Konzentration von $5600 \mu\text{g m}^{-3}$, der somit Stufe 3 deutlich überschritt. Die VOC-Zusammensetzung der Gerüche (Abbildung 43b) entsprach dem typischen Emissionsprofil der verwendeten Holzprodukte (Butter und Ohlmeyer 2021). Während von Laubholz (Eiche) vorherrschend Essigsäure emittiert wurde, waren Monoterpenemissionen kennzeichnend für das Nadelholz (Kiefer) und die daraus hergestellten Holzwerkstoffe (OSB_{Kiefer}) (Risholm-Sundman et al. 1998, Makowski et al. 2005). Gesättigte und ungesättigte Aldehyde spielten als sekundäre Emissionen (Reaktionsprodukte der Autoxidation der ungesättigten Fettsäuren (Makowski et al. 2005, Grosch 1987), die im Holz vorliegen) insbesondere bei den Holzwerkstoffen (OSB) eine Rolle. Neben den hier analysierten VOC können auch weitere Substanzen für den Geruchseindruck maßgeblich gewesen sein. Dazu gehören einerseits Substanzen aus den Klassen der sehr flüchtigen (VVOC) und semi-flüchtigen organischen Verbindungen (SVOC) und andererseits VOC, die entweder nicht vom analytischen System erfasst wurden oder in Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze vorhanden waren (siehe Schreiner et al. (2018, 2020), Wang et al. (2024) und Ghadiriasli et al. (2018) für eine detaillierte Analyse der Geruchsstoffe verschiedener Holzarten). Die VOC-Konzentrationen von fünf der acht Gerüche überschritten mindestens einen RW I. Dies betraf insbesondere die Substanzklassen der gesättigten Aldehyde und bipyklischen Terpene (Abbildung 43c). Die VOC-Konzentrationen der Kork- und Eichen-Gerüche lagen unterhalb aller RW I (zum Zeitpunkt der Studie waren die RW für Essigsäure noch nicht veröffentlicht), mit Ausnahme von vereinzelten, geringfügigen Überschreitungen des RW I von 2-Furaldehyd. Die gemessenen Konzentrationen an 2-Furaldehyd lagen im Bereich um RW I ($= 10 \mu\text{g m}^{-3}$).

Abbildung 43: VOC-Zusammensetzung der Gerüche



a) Boxplots zur Darstellung der TVOC-Konzentrationen, Mittelwert und Standardabweichung der TVOC-Konzentrationen (Datengrundlage: Probenahmen von jeweils 7 Gasprobebeuteln je Geruch, Probenahmezeitpunkt: 2 bis 14 Tage nach dem Befüllen der Beutel) sowie TVOC-Stufen gemäß Tabelle 2

b) Zusammensetzung der Gerüche aus den wesentlichen VOC-Substanzklassen gemäß Anhang Tabelle 1

c) Überschreitung von RW I (bzw. RW II) gemäß Tabelle 1

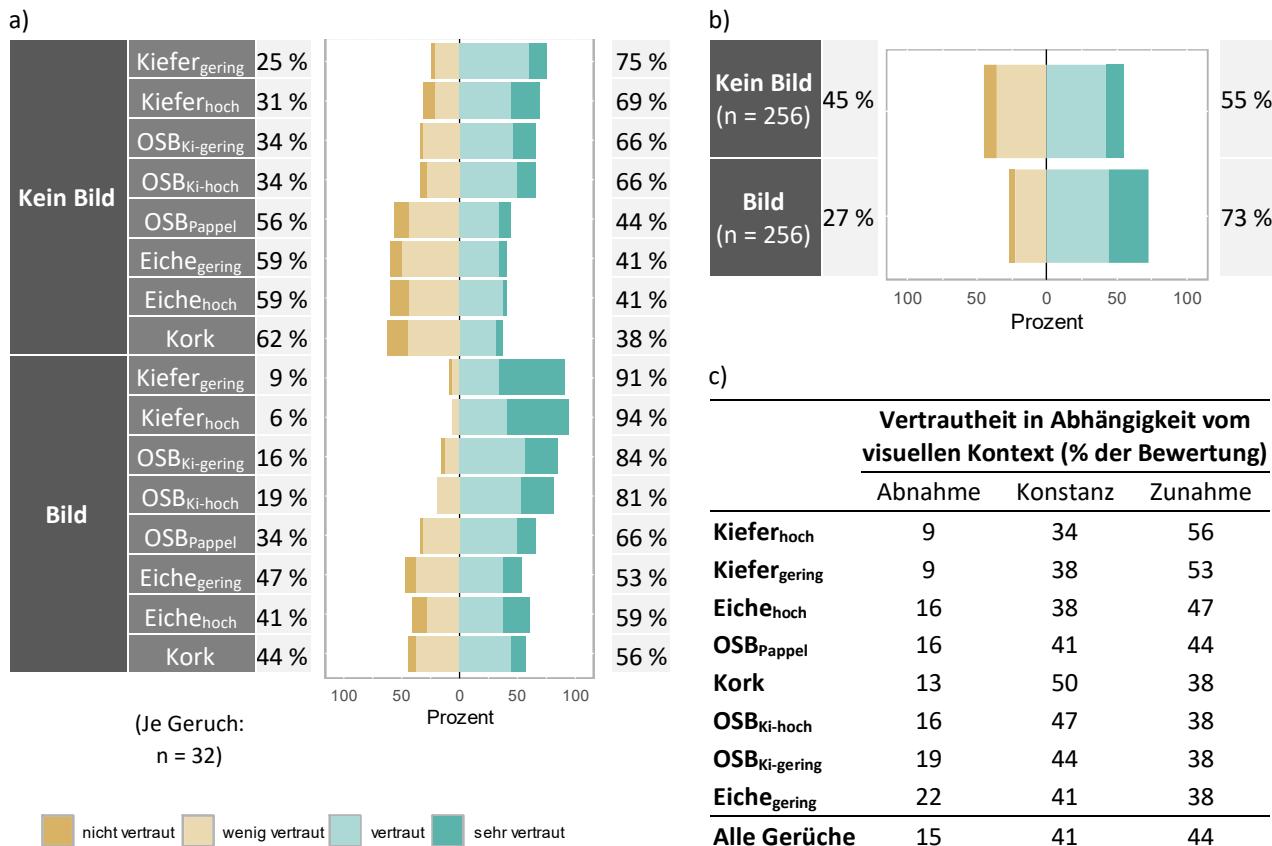
Quelle: eigene Berechnung

3.3.2 Geruchsbewertung

Vertrautheit: Die terpendominierten Gerüche (Kiefer) wurden am vertrautesten wahrgenommen (Bewertung = vertraut/sehr vertraut), gefolgt von Gerüchen mit deutlichen Anteilen an sowohl Terpenen als auch Aldehyden (OSB_{Kiefer}). Am wenigsten vertraut waren die Gerüche mit überwiegenden Aldehyd- (OSB_{Pappel}) oder Essigsäurekonzentrationen (Eiche, Kork) (Abbildung 44a). Ob ein Geruch in hoher oder niedriger Konzentration vorlag, hatte keinen Einfluss auf die Vertrautheit (Abbildung 44a). Die Vertrautheitsbewertung nahm (aufsummiert über alle Gerüche hinweg) signifikant zu ($t(31) = -4,91$, $p < 0,001$, Cohen's $d = 0,87$), wenn das entsprechende Materialbild zusammen mit dem Geruch präsentiert wurde (Abbildung 44b). Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests ergaben, dass der visuelle Kontext nur bei den Kiefergerüchen statistisch signifikante Effekte zeigte (Kiefer_{gering}: $V = 185$, $p_{adj} = 0,007$, $r = 0,71$; Kiefer_{hoch}: $V = 206$, $p_{adj} = 0,007$, $r = 0,72$). Auch die anderen

Gerüche wurden mit dem Materialbild vertrauter bewertet, allerdings war der Effekt nicht signifikant (Abbildung 44a). 44 % der Geruchsbewertungen wurden mit kongruentem Materialbild als vertrauter eingestuft, im Vergleich zu den Bewertungen ohne Bild. Bei den Kiefergerüchen galt dies für mehr als die Hälfte der Bewertungen (Abbildung 44c).

Abbildung 44: Einfluss des visuellen Kontextes auf die Bewertung der Vertrautheit der Holzgerüche



a) Bewertung separat für jeden Geruch, sortiert nach abnehmender Vertrautheit basierend auf den Bewertungen ohne Bild.

b) Bewertung über alle Gerüche hinweg.

c) Veränderung der Bewertung infolge des visuellen Kontexts, ausgedrückt als prozentualer Anteil der Bewertungen.

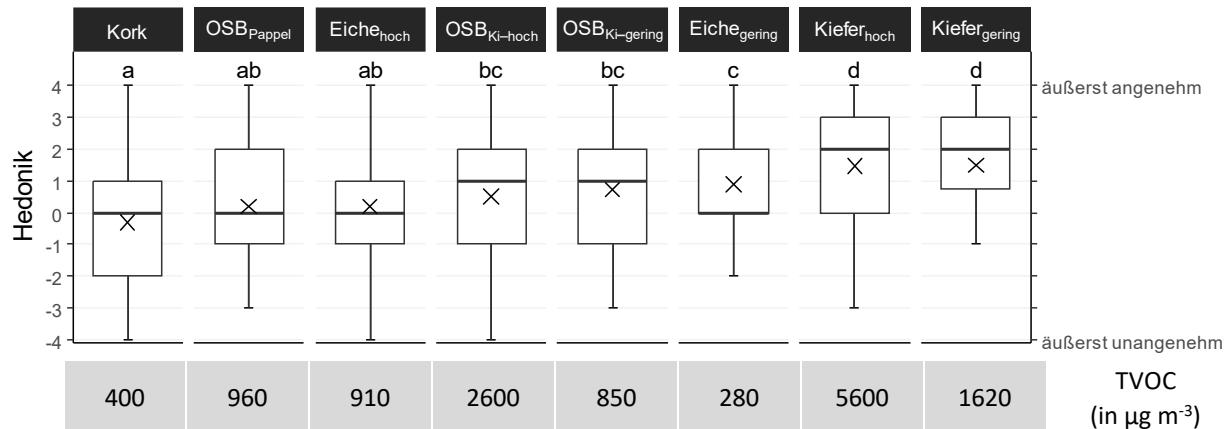
Quelle: eigene Berechnung

Hedonik: Die Hedonikbewertung der Gerüche wurde signifikant durch die Art des Geruchs ($F(7,465) = 11,72$, $p < 0,001$) sowie den visuellen Kontext ($F(1,465) = 5,91$, $p = 0,015$) beeinflusst. Die Interaktion beider Faktoren hatte keinen signifikanten Einfluss ($F(7,465) = 0,85$, $p = 0,547$). Die Terpen-dominierten Gerüche (Kiefer) wurden als am angenehmsten bewertet ($M = 1,5$, Abbildung 45a). Ein hoher Anteil an Aldehyden und Essigsäure in den Gerüchen führte zu einer geringeren hedonischen Bewertung, selbst wenn die TVOC-Konzentrationen der entsprechenden Gerüche deutlich niedriger waren (Abbildung 45a). Die absolute Konzentration einzelner Substanzklassen gab nur begrenzte Hinweise auf die hedonische Bewertung eines Geruchsgemisches. Die Konzentration gesättigter Aldehyde war in OSB_{Ki-gering} ($580 \mu\text{g m}^{-3}$) und Kiefer_{hoch} ($500 \mu\text{g m}^{-3}$) vergleichbar. Dennoch wurde der Kiefer_{hoch}-Geruch signifikant angenehmer bewertet, obwohl er eine deutlich höhere TVOC-Konzentration (infolge seines hohen Terpengehalts) als OSB_{Ki-gering} aufwies (Abbildung 45a). Trotz des deutlichen Unterschieds in den Konzentrationsniveaus unterschieden sich die Hedonikbewertungen zwischen den hoch und niedrig konzentrierten Gerüchen von OSB_{Kiefer} sowie Kiefer nicht. Im Gegensatz dazu wurde der höher konzentrierte Eichen-Geruch als weniger angenehm empfunden als der geringer konzentrierte (Abbildung 45a). Mit kongruentem Materialbild wurden die Gerüche als angenehmer bewertet (Abbildung 45b). Dies galt

insbesondere für die Gerüche Eiche_{hoch}, OSB_{Pappel}, Kiefer_{hoch} und Kiefer_{gering}, bei denen im Mittel die Hedonik um 0,9, 0,5, 0,5 bzw. 0,4 stieg. Im Gegensatz dazu zeigten die OSB_{Kiefer}- und Kork-Gerüche nur geringe (OSB_{Ki-hoch}: 0,1) oder gar keine höheren Bewertungen (OSB_{Ki-gering}: -0,0, Kork: -0,1). Abgesehen von diesen Ergebnissen ist festzuhalten, dass die Hedonikbewertungen innerhalb der Personengruppe stark variierten.

Abbildung 45: Hedonikbewertung der Holzgerüche

a)



b)



a) Bewertung separat für jeden Geruch (gemittelt über beide Bedingungen des visuellen Kontextes, sortiert nach aufsteigender mittlerer Hedonikbewertung) und durchschnittliche TVOC-Konzentration der Gerüche. Mittelwerte, die keinen gemeinsamen Buchstaben aufweisen, unterscheiden sich signifikant im Post-hoc-Test auf dem 5 %-Niveau (= compact letter display (Piepho 2018)).

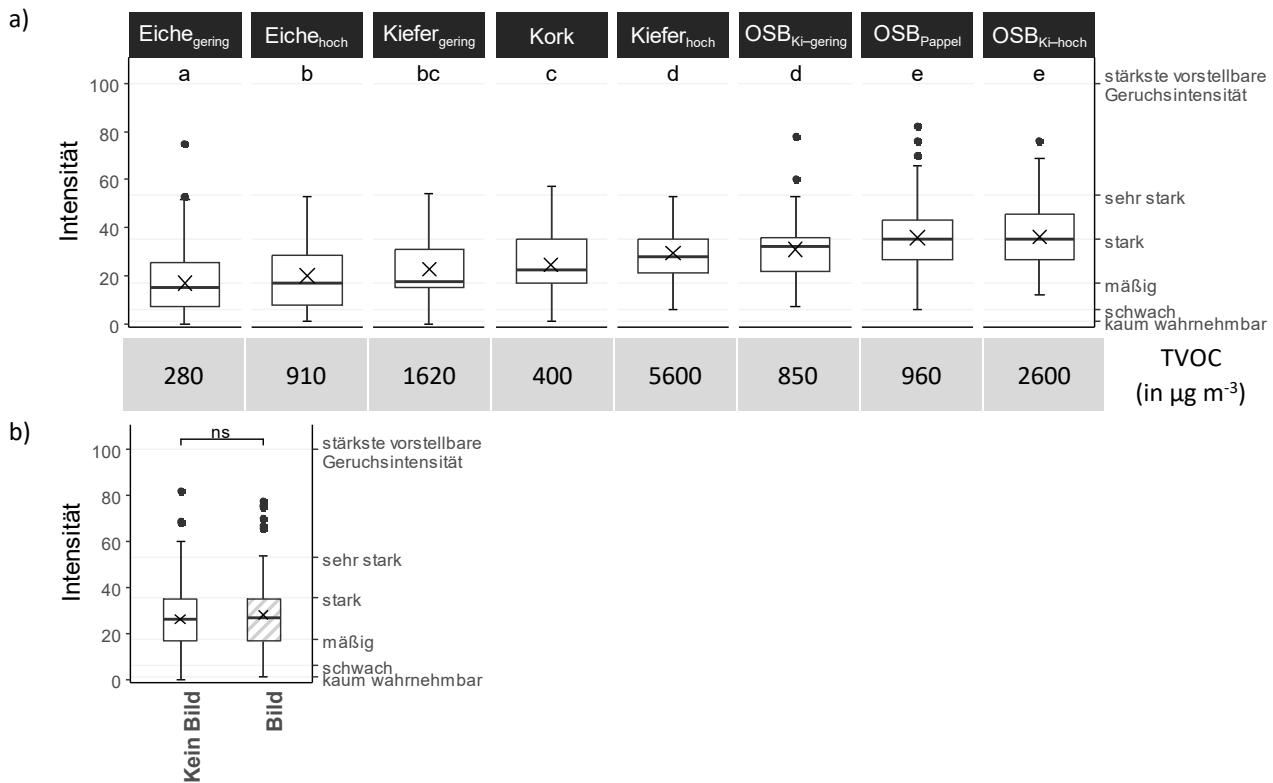
b) Einfluss des visuellen Kontextes auf die Hedonikbewertung, gemittelt über alle Gerüche (* p < 0,05).

Quelle: eigene Berechnung

Intensität: Die Intensität der Gerüche unterschied sich signifikant (ATS (ANOVA-type statistic) = 18,82, p < 0,001). Weder der visuelle Kontext (ATS = 1,70, p = 0,193) noch die Interaktion zwischen den beiden Hauptfaktoren (ATS = 0,92, p = 0,467) hatten jedoch einen signifikanten Einfluss. Die Gerüche wurden hinsichtlich ihrer Intensität im Durchschnitt als mäßig bis stark bewertet, aber auch die Intensitätsbewertung unterlag einer hohen interindividuellen Variabilität (Abbildung 46a). Zu den intensiveren Gerüchen gehörten OSB_{Ki-hoch} und OSB_{Pappel} (Median = 35) sowie OSB_{Ki-gering} (Median = 32), die durch Aldehyd-dominierte VOC-Emissionen gekennzeichnet waren (Abbildung 43). Der Geruch Kiefer_{hoch} wies eine vergleichbare Intensität wie OSB_{Ki-gering} auf, obwohl seine TVOC-Konzentration mehr als sechsmal höher war. Eiche_{hoch} wurde hingegen als weniger intensiv empfunden als OSB_{Ki-gering}, obwohl die TVOC- Konzentrationen beider Gerüche vergleichbar waren (Abbildung 46a). Die TVOC-Konzentration war nur dann ein nützlicher Indikator zur Bewertung der Intensität, wenn die Gerüche die gleiche VOC-Zusammensetzung aufwiesen. Die höher konzentrierten Gerüche von OSB_{Kiefer}, Kiefer und Eiche wurden von den Versuchspersonen als intensiver wahrgenommen als ihre weniger konzentrierten Varianten. Aufgrund der

quasi-logarithmischen Wahrnehmung der Intensität führte die etwa dreifache Erhöhung der TVOC-Konzentration jedoch nur zu einem vergleichsweise geringen Anstieg der wahrgenommenen Intensität.

Abbildung 46: Intensitätsbewertung der Holzgerüche



a) Bewertung separat für jeden Geruch (gemittelt über beide Bedingungen des visuellen Kontextes, sortiert nach aufsteigender mittlerer Intensitätsbewertung) und durchschnittliche TVOC-Konzentration der Gerüche. Mediane, die keinen gemeinsamen Buchstaben aufweisen, unterscheiden sich signifikant im Post-hoc-Test auf dem 5 %-Niveau (= compact letter display (Piepho 2018)).

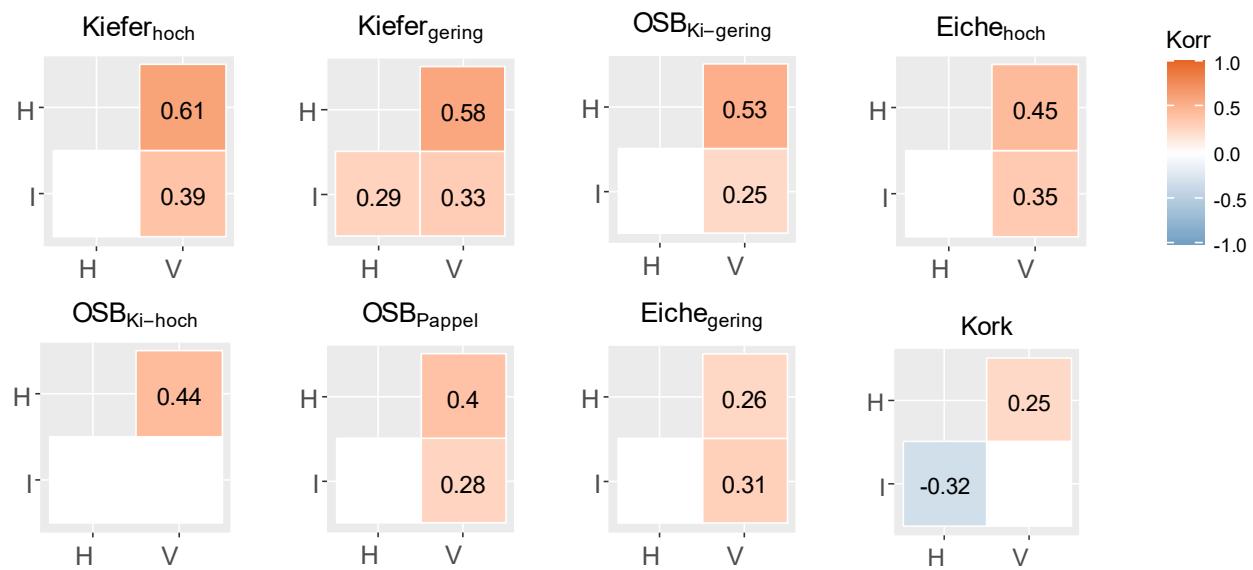
b) Einfluss des visuellen Kontextes auf die Intensitätsbewertung, gemittelt über alle Gerüche (ns = nicht signifikant).

Quelle: eigene Berechnung

3.3.3 Korrelationen zwischen Geruchsbewertungen

Die Bewertungen der Hedonik und Vertrautheit waren bei jedem Geruch positiv miteinander korreliert, wobei die Spearman-Korrelationskoeffizienten (r_s) von 0,25 für Kork bis 0,61 für Kiefer_{hoch} reichten. Die Intensität und Hedonik wiesen für Kiefer_{gering} eine positive ($r_s = 0,29$) und für Kork eine negative Korrelation ($r_s = -0,32$) auf, während für die übrigen Gerüche keine signifikante Beziehung festgestellt wurde. Zunehmende Intensitätsbewertungen waren demnach mit einer höheren Hedonik bei Kiefer_{gering} und einer geringeren Hedonik bei Kork verbunden. Diese beiden Gerüche stellten in der Studie die Extreme auf der Hedonikskala dar: Der Kiefergeruch gehörte zu den angenehmsten, während der Korkgeruch im neutralen Bereich lag. Zwischen den Intensitäts- und Vertrautheitsbewertungen wurden signifikante (wenn auch schwache) positive Korrelationen beobachtet, mit Ausnahme von Kork und OSB_{Ki-hoch} (Abbildung 47).

Abbildung 47: Signifikante Korrelationskoeffizienten zwischen den Geruchsbewertungskriterien



Bewertungen unter beiden Bedingungen des visuellen Kontextes sind enthalten,
V = Vertrautheit, H = Hedonik, I = Intensität

Quelle: eigene Berechnung

3.3.4 Zusammenfassung

Präferenz für terpen-dominierte Gerüche

Kiefernholz-basierte, Terpen-dominierte Gerüche wurden am vertrautesten und angenehmsten bewertet (Abbildung 44, Abbildung 45). Trotz ihrer hohen TVOC-Konzentrationen wurden sie hinsichtlich ihrer Intensität nur als mäßig bis relativ stark eingeschätzt (Abbildung 46). Mit zunehmendem Anteil an Aldehyden und/oder Essigsäure nahmen Vertrautheit und Hedonik der Gerüche ab. Diese Präferenz für Terpen-dominierte Gerüche könnte auf die weitverbreitete Verwendung von Nadelhölzern im Bauwesen in Deutschland (Mantau et al. 2013) zurückzuführen sein. Zudem kommen Terpene häufig in der Natur vor und sind in verschiedenen Pflanzen zu finden (Strömvall und Petersson 1991, Petersson 1988, Sharneen et al. 2021). Sie sind auch in vielen Alltagsprodukten enthalten, wie Waschmitteln, Körperpflegeartikeln, Reinigungsmitteln, Lufterfrischern und Kerzen (Steinemann et al. 2011, Bartsch et al. 2016), und finden in der Medizin, insbesondere in der Aromatherapie, Anwendung (Vora et al. 2024). Dadurch sind Menschen diesen Substanzen häufiger ausgesetzt und mit ihren Gerüchen vertraut. Eine größere Vertrautheit mit Gerüchen wird oft mit einer besseren Fähigkeit der Geruchsidentifizierung in Verbindung gebracht (Homewood und Stevenson 2001). Bei den Kiefern-Gerüchen führt diese höhere Vertrautheit wahrscheinlich zu einer höheren hedonischen Bewertung, was durch die relativ starke positive Korrelation zwischen den beiden Bewertungskriterien für Gerüche belegt wurde (Abbildung 47). Der Kiefergeruch war der angenehmste in dem vorhandenen Geruchsset, erhielt jedoch nur moderat angenehme Bewertungen auf der hedonischen Skala (Abbildung 45). Obwohl erwartet wurde, dass Holzgerüche, insbesondere die von Nadelhölzern, noch angenehmer bewertet würden, berichten auch andere Studien (Schreiner et al. 2018) nur von leicht positiven hedonischen Bewertungen für Kiefernholzgerüche. Die Ergebnisse bestätigen dennoch, dass Kiefernholzgerüche bevorzugt werden, und das selbst in hohen VOC-Konzentrationen. Hierbei ist zu beachten, dass die VOC-Emissionen der anderen Holzprodukte im Durchschnitt nicht als unangenehm empfunden wurden (Abbildung 45). Die beobachtete Präferenz für Terpen-dominierte Gerüche basiert daher nicht auf einem Vergleich mit deutlich unangenehmen Gerüchen, sondern scheint eine intrinsische Eigenschaft dieser VOC-Mischung aus Kiefernholz zu sein. Dies unterstreicht den Einfluss einzelner Verbindungen bei der Bewertung der olfaktorischen Qualität.

TVOC: Keine Vorhersagekraft für Geruchsbewertungen beim Vergleich verschiedener Gerüche

Wie zu erwarten, liefert eine alleinige Betrachtung der TVOC-Konzentration keine aussagekräftigen Informationen beim Vergleich verschiedener Gerüche – weder hinsichtlich der Hedonik noch der Intensität. Stattdessen ist die VOC-Zusammensetzung der Gerüche ausschlaggebend: Bei ähnlichen TVOC-Konzentrationen wurden Gerüche mit einem hohem Aldehydanteil ($OSB_{Ki-gering}$, OSB_{Pappei}) als intensiver wahrgenommen als Gerüche mit überwiegendem Essigsäureanteil ($Eiche_{hoch}$). Umgekehrt führten erhebliche Unterschiede in der TVOC-Konzentration (mehr als das 6-Fache), etwa zwischen $Kiefer_{hoch}$ und $OSB_{Ki-gering}$, nicht zu signifikanten Unterschieden in der Intensitätswahrnehmung (Abbildung 46). Ähnlich verhielt es sich bei der Hedonikbewertung: Trotz großer Unterschiede in den TVOC-Konzentrationen zwischen den OSB_{Kiefer} -Gerüchen und dem $Eiche_{gering}$ -Geruch unterschieden sich die Hedonikbewertungen nicht signifikant.

Die Bedeutung des Zusammenspiels einzelner Stoffe für die Geruchswirkung kann abermals am Vergleich der beiden Gerüche $Kiefer_{hoch}$ und $OSB_{Ki-gering}$ nachvollzogen werden. Bei vergleichbaren Aldehyd-Konzentrationen führte ein zusätzlicher hoher Terpengehalt in $Kiefer_{hoch}$ zwar nicht zu einer Zunahme der wahrgenommenen Intensität, aber zu einer signifikanten Steigerung der Hedonik. Weder eine alleinige Betrachtung der TVOC-Konzentration noch einzelner VOC in einem Geruch erlauben demnach eine präzise Vorhersage der Geruchswirkung.

TVOC: Eingeschränkte Ableitbarkeit für Geruchsbewertungen bei verschiedenen Konzentrationen desselben Geruchs

Die TVOC-Konzentration kann als Prädiktor für die Intensitätsbewertung nur innerhalb desselben Geruchs dienen. Hohe und niedrige TVOC-Konzentrationen von Kiefern- und Eichenholz sowie OSB_{Kiefer} wurden getestet und wie erwartet nahmen die Versuchspersonen die Intensitätsunterschiede wahr, wenngleich der Anstieg der Intensitätsbewertung nur gering ausfiel. Hinsichtlich der Vertrautheit konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den niedrigen und hohen Konzentrationen der drei Gerüche festgestellt werden. Bei den Kiefern- und OSB_{Kiefer} -Gerüchen zeigten sich auch bei der Hedonik keine Unterschiede zwischen den Konzentrationen. Nur beim Eichengeruch führte eine Erhöhung der TVOC-Konzentration zu einer Verringerung der Hedonik. Diese Ergebnisse stimmen mit den von Moskowitz et al. (1976) festgestellten Beobachtungen überein, dass der Zusammenhang zwischen Hedonik und VOC-Konzentration variiert: Während einige Substanzen mit zunehmender Konzentration als angenehmer empfunden wurden, nahm bei anderen die Hedonik ab. Außerdem stellten sie fest, dass einige Substanzen bei mittleren Konzentrationen die maximale Hedonik erreichten, die bei weiter steigenden Konzentrationen wieder abnahm. Laut Moskowitz et al. (1976) werden niedrigere Konzentrationen in der Regel nicht als signifikant angenehmer bewertet, sondern tendieren eher in Richtung Neutralität. Zumindest bei höheren Konzentrationen eines Stoffs besteht eine positive Korrelation zwischen der Konzentration und der wahrgenommenen Intensität sowie der Geruchsbelästigung (van Thriel et al. 2006). In VOC-Mischungen, emittiert von Kiefernholz oder OSB_{Kiefer} in für die Innenraumluft relevanten Konzentrationen, konnte die Korrelation zwischen Konzentration und Geruchsbelästigung bzw. Hedonik in dieser Studie nicht bestätigt werden.

Visueller Kontext beeinflusst die Geruchsbewertung

Der visuelle Kontext hatte keinen Einfluss auf die Intensitätsbewertung der Gerüche (Abbildung 46). Dies stimmt mit den Ergebnissen von Djordjevic et al. (2008) überein, die keine Unterschiede in den Intensitätsbewertungen von Gerüchen feststellten, wenn diese mit neutralen oder aber positiven Geruchslabellen präsentiert wurden. Andere Studien (Manescu et al. 2014, Herz und Clef 2001) zeigten jedoch, dass die Intensitätsbewertungen für einige Gerüche durch positive oder negative Label beeinflusst wurden, wobei dieser Effekt bei Kiefern(nadel)öl (positives Label: „*Kiefernadeln*“ / „*Weihnachtsbaum*“, negatives Label: „*altes Lösungsmittel*“ / „*Desinfektionsmittel*“) nicht auftrat. Distel und Hudson (2001) stellten zudem fest, dass das Erkennen des Geruchs oder aber wenn darüber informiert wird, um welchen Geruch es sich handelt, zu höheren Intensitätsbewertungen führt.

Im Gegensatz dazu sind die bisherigen Forschungsergebnisse zur hedonischen Wahrnehmung eindeutiger und zeigen eine hohe kontextbezogene Variabilität (Bontempi et al. 2024). Die Hedonik eines Geruchs kann stark durch verbale Geruchslabel beeinflusst werden – derselbe Geruch wird als weniger angenehm empfunden, wenn er mit einer negativ konnotierten Bezeichnung versehen ist, im Vergleich zu einer positiven Bezeichnung (z. B. Kiefernöl als „*Tannennadeln*“ oder als „*Altes Terpentin*“) (Djordjevic et al. 2008, Manescu et al. 2014, Araujo et al. 2005). Dieses Phänomen stellt eine kognitive Verzerrung dar, bei der die Wahrnehmung und Interpretation der Information verändert wird. Nicht nur verbale Bezeichnungen beeinflussen die Geruchsbewertung, sondern auch die Änderung des visuellen Kontexts hat einen Einfluss. Die Gerüche wurden als angenehmer und vertrauter bewertet, wenn sie mit einem kongruenten Materialbild präsentiert wurden (Abbildung 44, Abbildung 45). Dies galt besonders für die Kiefern-, OSB_{Pappel}- und Eiche_{hoch}-Gerüche, deren Vertrautheit und hedonische Bewertung durch das Bild am stärksten anstiegen. Dies stimmt mit der Erkenntnis überein, dass die Vertrautheit eines Geruchs und seine hedonische Bewertung positiv korreliert sind (Abbildung 47). Ohne visuellen Kontext oder ein passendes Label ist es schwieriger, Gerüche zu erkennen. Menschen sind nicht besonders gut darin, Gerüche zu identifizieren: Nur etwa die Hälfte der Gerüche von 17 Alltagsprodukten (z. B. Vanille, Essig, Zimt) wurde von Personen im Alter zwischen 18 bis 60 Jahren korrekt erkannt. Jüngere und ältere Personen erkannten sogar noch weniger Gerüche (nur etwa ein Drittel) (Wijk und Cain 1994). Bei den in dieser Studie untersuchten Holzgerüchen konnten die Versuchspersonen die Gerüche vermutlich nicht immer identifizieren, wenn sie ohne das Materialbild präsentiert wurden – der einzige Kontext, den sie hatten, war die Information, dass es sich um Gerüche aus Bauprodukten handelte. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass dieses „Label“ bereits ein negatives Bias darstellt.

Distel und Hudson (2001) haben gezeigt, dass das Wissen um die Geruchsquelle die Geruchswirkung deutlich verändert, was sich in einer erhöhten Intensität, Vertrautheit und Hedonik widerspiegelt. Mit einem zum Geruch kongruenten Bild wird eher das Gesamtkonzept des Materials zusammen mit seinen olfaktorischen Eigenschaften bewertet als nur der Geruch allein. Die Art und Weise, wie das Material konnotiert ist, ist entscheidend. Eine scheinbar positive Konnotation der Holzprodukte, die durch ansprechende Ästhetik oder das Wissen um die vorteilhaften Eigenschaften des Materials (Gold und Rubik 2009, Mergel et al. 2024) entsteht, führt zu einer höheren Hedonikbewertung. Obwohl Bedenken hinsichtlich der Stabilität, Dauerhaftigkeit und Feuerbeständigkeit von Holz als Baumaterial weiterhin bestehen, wird das Material im Allgemeinen mit Wohlbefinden, Ästhetik, Gesundheit und Umweltfreundlichkeit assoziiert (Gold und Rubik 2009, Mergel et al. 2024). Im Vergleich zu Bildern einer grauen Wand werden Holzbilder als deutlich komfortabler, entspannender und natürlicher beschrieben (Nakamura et al. 2019). Allerdings werden Vollhölzer und Holzwerkstoffe unterschiedlich präferiert. Basierend auf taktilen und visuellen Eindrücken wird Vollholz gegenüber OSB bevorzugt, weil es als natürlicher und weniger industriell verarbeitet empfunden wird als OSB (Jonsson et al. 2008). Dies könnte erklären, warum die hedonischen Bewertungen für die Kieferngerüche mit dem Vorhandensein des Materialbildes deutlich anstiegen, während beim OSB_{Kiefer}-Geruch eine solche Veränderung nicht beobachtet wurde. Die Frage bleibt, warum der Bildeffekt bei OSB_{Pappel} so ausgeprägt war. Ohne ein Bild war den Versuchspersonen der Geruch von OSB_{Pappel} im Vergleich zu OSB_{Kiefer-gering} weniger vertraut und wurde als weniger angenehm bewertet, wahrscheinlich aufgrund seines höheren Anteils an organischen Säuren und des niedrigeren Anteils an Terpenen, trotz vergleichbarer TVOC-Konzentrationen. Womöglich konnte erst mit Hilfe des Bildes der Geruch als zu Holzprodukten gehörig kategorisiert werden, was wiederum zu einer höheren Hedonikbewertung mit dem Bild führte.

Der visuelle Kontext zeigte insgesamt relativ geringe Effekte – allerdings handelte es sich auch nur um eine vergleichsweise kleine Manipulation. Folgestudien mit einer großflächigeren, idealerweise räumlichen Anwendung der Materialbilder bzw. der Holzprodukte in einer realen Innenraumumgebung würden vermutlich stärkere Effekte hervorbringen als das einfache Materialbild auf einem PC-Bildschirm. In diesem Zusammenhang könnten die Mengen an sichtbar verbauten Holzprodukten im Innenraum berücksichtigt werden, wobei eine ausgewogene Menge – also weder zu viel noch zu wenig – bevorzugt wird (Tsunetsugu et al. 2007, Li et al. 2021,

Nyrud et al. 2014). Zudem könnte untersucht werden, wie die positiven Konnotationen von Vollhölzern die Wirkung inkongruenter Gerüche (z. B. OSB_{Kiefer}, OSB_{Pappel}) beeinflussen.

Variabilität der Geruchsbewertungen

Die Geruchsbewertungen unterlagen einer erheblichen interindividuellen Variabilität (Abbildung 45, Abbildung 46). Daher müssen im Kontext der Geruchsbewertung weitere Faktoren oder Modulatoren berücksichtigt werden, wenn das Ziel ist, eine gute Innenraumluftqualität zu unterstützen. So bewerten möglicherweise Menschen aus Regionen in Deutschland (Destatis - Statistisches Bundesamt 2024) oder in Ländern (Sikkema et al. 2023), die eine lange Tradition im Holzbau haben oder aktuell einen hohen Einsatz von Holzprodukten im Bauwesen verzeichnen, die Holzgerüche anders, da sie ihnen häufiger ausgesetzt sind und mit ihnen vertraut sind. Anders als erwartet, führte jedoch die große Holzbautradition im ländlichen Raum Norwegens nicht zu einer Präferenz für Holz als Baustoff unter den Bewohnern des städtischen Milieus (Oslo). Stattdessen orientierten sich ihre Vorlieben eher an Materialien, die traditionell in städtischen Gebieten verwendet werden, wie Stahl und Beton (Høibø et al. 2018). Inwiefern sich dies auf die Geruchsbewertung von Holzprodukten auswirkt, wurde allerdings nicht untersucht.

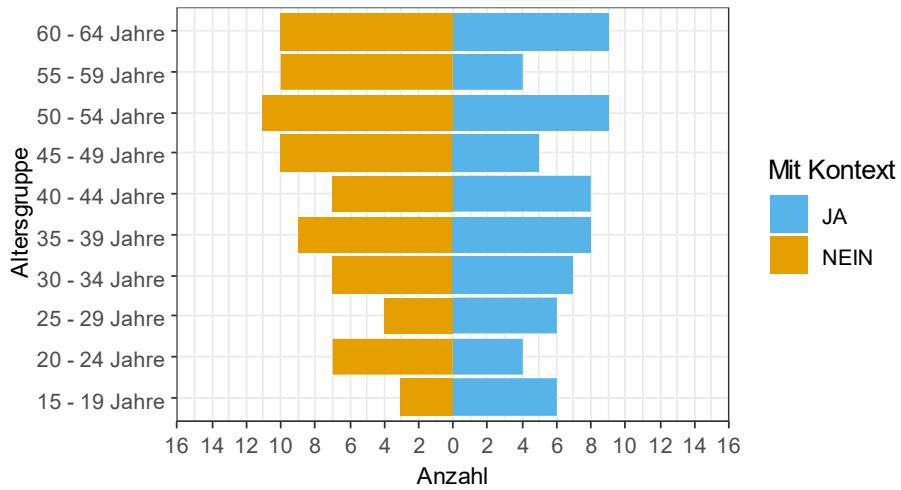
Ein weiterer Grund für die große Variabilität in den Geruchsbewertungen in dieser Studie könnte ein unterschiedliches Verständnis der Hedonik- und Intensitätsskalen durch die einzelnen Versuchspersonen sein. Zudem kann nicht ausgeschlossen werden, dass der einleitende Satz „*Stellen Sie sich vor, Sie würden mehrere Stunden täglich der zu bewertenden Luft ausgesetzt.*“ sowie der Innenraumkontext von den Versuchspersonen unterschiedlich interpretiert wurden. Der Ausdruck „*mehrere Stunden täglich*“ könnte von jedem Einzelnen unterschiedlich stark gewichtet worden sein. Demnach sollte nicht nur der erste Eindruck bewertet, sondern auch der Eindruck über einen längeren Zeitraum hinweg berücksichtigt werden. Dies ist herausfordernd, da Menschen sich an Gerüche gewöhnen, was bedeutet, dass die Empfindlichkeit gegenüber Gerüchen mit zunehmender Expositionszeit und bereits nach nur wenigen Minuten abnimmt (= Adaptation) (Dalton 2000, Gunnarsen und Fanger 1992). Dies ist ein Grund, warum beispielsweise die Innenraumluftqualität von Inspektoren oft als weniger akzeptabel bewertet wird als von den Bewohnern selbst (Langer et al. 2017). Die Teilnehmenden in dieser Studie rochen die Gerüche allerdings nur für einige Sekunden, und unabhängig von der Anweisung spiegelt dies letztlich lediglich einen akuten Eindruck wider.

3.4 Umfrage auf der Grünen Woche (Messe)

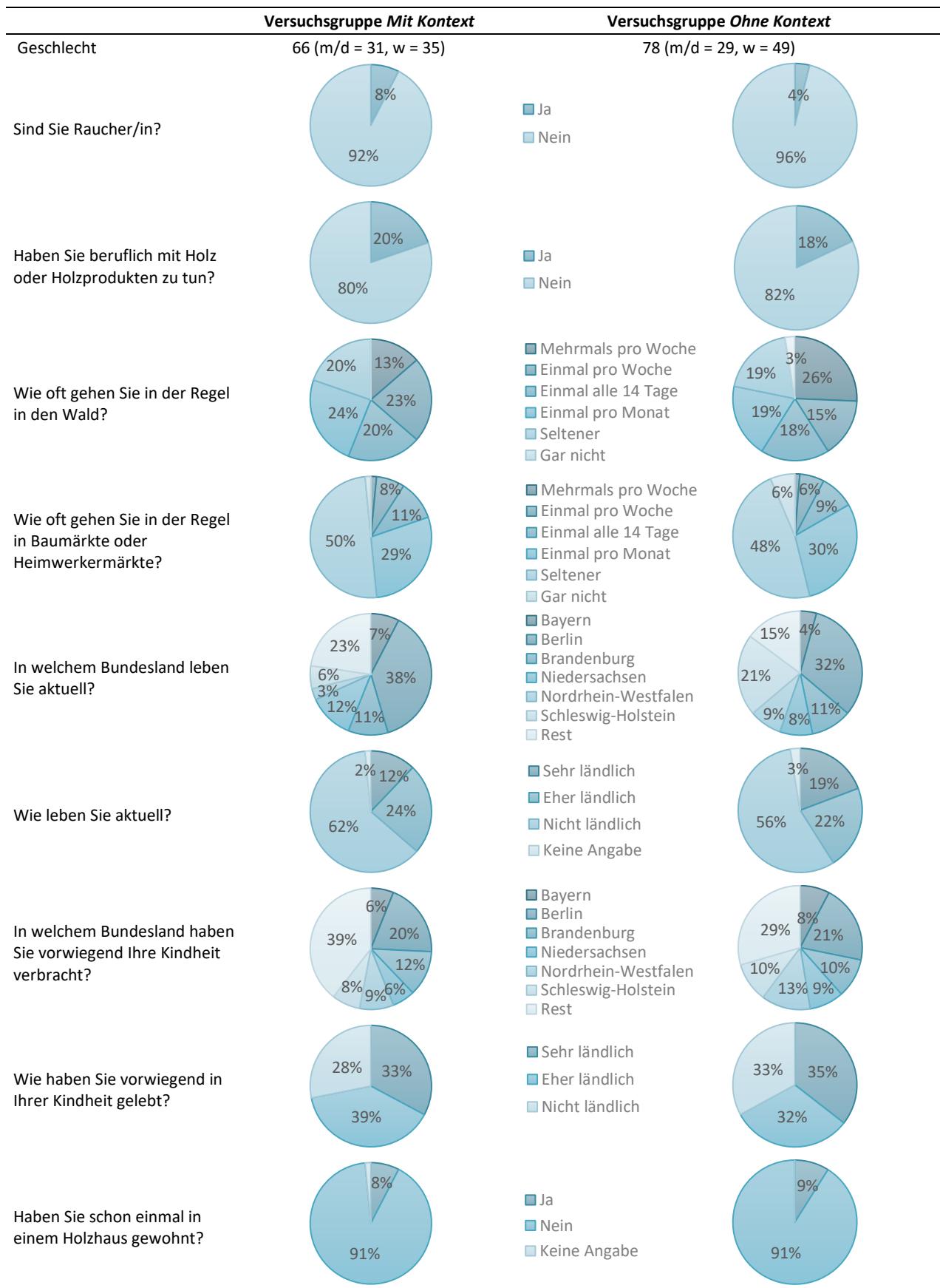
3.4.1 Charakterisierung der Versuchspersonen

Die beiden Versuchsgruppen (*mit Kontext, ohne Kontext*) unterschieden sich in keinen der im Fragebogen abgefragten Kriterien (Chi-Quadrat-Tests: alle $p > 0,05$, Abbildung 48, Tabelle 20). Die Gruppen sind daher vergleichbar, sodass zumindest diese Faktoren die Hedonikbewertung nicht verzerrten.

Abbildung 48: Altersverteilung innerhalb beider Versuchsgruppen



Quelle: eigene Berechnung

Tabelle 20: Ergebnisse des Fragebogens

Quelle: eigene Berechnung

3.4.2 Geruchsbewertung

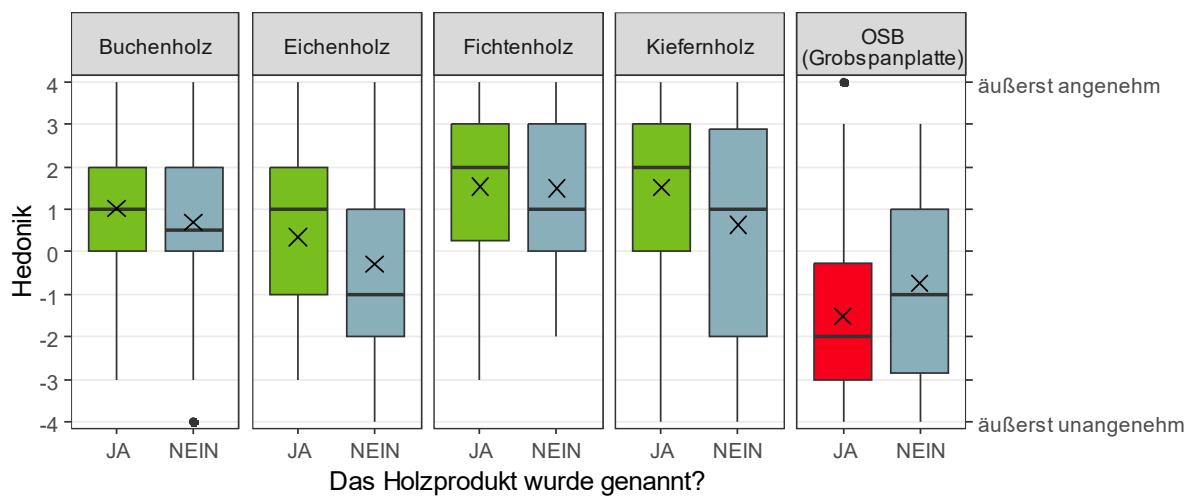
Die Angabe des Holzprodukts hatte einen klaren Einfluss auf die hedonische Bewertung der Gerüche, was durch den Interaktionseffekt der beider Haupteinflussfaktoren, Kontext und Geruch, verdeutlicht wird (Abbildung 49a). Der Geruch aller Vollholzprodukte wurde als angenehmer empfunden, wenn den Teilnehmenden das jeweilige Holzprodukt vor der Geruchsbewertung genannt wurde. Im Gegensatz dazu wurde der Geruch von OSB unangenehmer bewertet, sobald den Teilnehmenden die Geruchsquelle bekannt war. Dies scheint nicht darauf zurückzuführen zu sein, dass der OSB-Geruch an sich bereits als leicht unangenehm wahrgenommen wurde, denn auch der Eichengeruch lag in einem ähnlichen Hedonikbereich. Durch die Kenntnis der Geruchsquelle erhielt der Eichenholzgeruch jedoch eine deutliche Aufwertung, während der OSB-Geruch tendenziell eher abgewertet wurde (Abbildung 49b). Die beschriebenen Unterschiede zwischen den Holzprodukten waren in den Post-hoc-Vergleichen nach Korrektur für Mehrfachvergleiche allerdings nicht signifikant ($p > 0,068$).

Abbildung 49: Hedonikbewertung der Holzgerüche

a)

Einflussfaktor	Teststatistik
Kontext	ATS = 1,83, $p = 0,177$
Geruch	ATS = 42,97, $p < 0,001$
Kontext x Geruch	ATS = 4,03, $p = 0,006$

b)



a) Einflussfaktoren: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung.

b) Einfluss der Interaktion aus Holzprodukt und Kontext

Quelle: eigene Berechnung

3.4.3 Zusammenfassung

Wie bereits in Kapitel 3.3.4 diskutiert, kann die Hedonikwahrnehmung von Gerüchen durch verbale Geruchslabel beeinflusst werden (Djordjevic et al. 2008, Manescu et al. 2014, Araujo et al. 2005). Die Umfrageergebnisse bestätigen dies auch für Holzprodukte: Ohne Kenntnis der Geruchsquelle bewerteten die Umfrageteilnehmenden die Gerüche angenehmer oder aber unangenehmer, als wenn ihnen die Geruchsquelle bekannt war. Die Richtung der Veränderung in der hedonischen Wirkung hängt von der Konnotation des jeweiligen Produktes ab. Wie ein Produkt konnotiert wird, variiert individuell. Die Ergebnisse deuten jedoch darauf hin, dass im Durchschnitt Vollholzprodukte generell positiver wahrgenommen werden als Holzwerkstoffe, in diesem Fall OSB. Dies stimmt mit den Befunden von Jonsson et al. (2008) überein, wonach Vollhölzer bevorzugt werden, da sie als natürlicher und weniger industriell verarbeitet wahrgenommen werden.

3.5 Versuch Psychologischer Kontext

In dieser Versuchsreihe wurde untersucht, inwiefern Vorinformationen bezüglich der gesundheitlichen Wirkung von VOC die Geruchsbewertung beeinflussen können. Dazu wurden zwei Videos erstellt, die die Versuchspersonen in unterschiedliche Richtung beeinflussen sollten: gesundheitsfördernde versus gesundheitsschädigende Wirkung von Bauprodukt-Emissionen.

3.5.1 Videovalidierung (Onlinestudie)

3.5.1.1 Charakterisierung der Versuchspersonen

Die beiden Versuchsgruppen (NOCEBO/PLACEBO) unterschieden sich nicht signifikant in ihrer Altersstruktur, Geschlechterverteilung und in vier der fünf Persönlichkeitsmerkmale (Offenheit für Erfahrungen, Verträglichkeit, Neurotizismus und Gewissenhaftigkeit). Lediglich in der Extraversion zeigte die PLACEBO-Gruppe signifikant höhere Werte, was darauf hinweist, dass diese Gruppe etwas extrovertierter (geselliger, aktiver, gesprächiger etc.) war (Borkenau und Ostendorf 2007). Der Unterschied entsprach jedoch nur einem kleinen Effekt nach (Cohen 1992) (Tabelle 21). Insgesamt waren die Versuchsgruppen in den getesteten Bereichen homogen.

Tabelle 21: Beschreibung der beiden Versuchsgruppen hinsichtlich Alter, Geschlecht und Persönlichkeitsmerkmalen

	NOCEBO	PLACEBO	Testergebnis
Demographische Merkmale			
Alter (M (SD), Jahre)	25,5 (6,87)	25,6 (5,98)	$W = 3109, p = 0,566$
Altersspanne (Jahre)	18 – 63	18 – 50	
Geschlecht	$w = 56, m/d = 26$ $\sum = 82$	$w = 49, m/d = 31$ $\sum = 80$	$\chi^2(1, N=162) = 0,60, p = 0,439$
Persönlichkeitsmerkmale (Big-Five-Modell, Fragebogen: NEO-FFI)			
Offenheit für Erfahrungen	30,5 (6,16)	32,4 (6,04)	$t(160) = -2,01, p_{adj} = 0,116$
Extraversion*	24,7 (5,46)	27,4 (6,72)	$t(160) = -2,79, p_{adj} = 0,030$, Cohen's $d = 0,44$
Verträglichkeit	31,5 (6,39)	32,2 (6,16)	$t(160) = -0,68, p_{adj} = 0,810$
Neurotizismus	22,9 (8,30)	23,5 (7,98)	$t(160) = -0,46, p_{adj} = 0,810$
Gewissenhaftigkeit	32,4 (7,52)	32,2 (6,47)	$t(160) = 0,24, p_{adj} = 0,811$

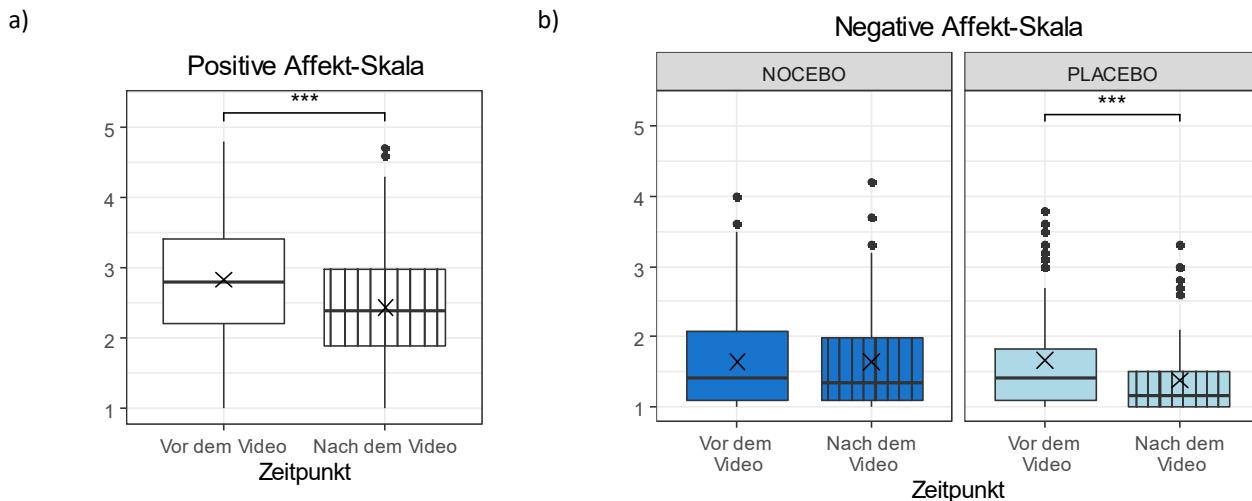
* $p < 0,05$

Quelle: eigene Berechnung

3.5.1.2 Positive und negative Affekte infolge der Videos

Das Ausmaß positiven Affekts wurde signifikant durch den Zeitpunkt ($F(1,160) = 57,20, p < 0,001$) beeinflusst. Das Video ($F(1,160) = 0,43, p = 0,514$) und die Interaktion beider Faktoren ($F(1,160) = 0,49, p = 0,485$) übten jedoch keinen Einfluss aus. Infolge der Videos sank das Ausmaß positiven Affekts von $M = 2,8$ ($SD = 0,80$) auf $M = 2,4$ ($SD = 0,83$) (Abbildung 50a). Insbesondere waren die Versuchspersonen nach dem Video weniger entschlossen, stark und stolz und begeistert (Abbildung 51a).

Abbildung 50: Ausmaß des positiven (a) und negativen (b) Affekts in Abhängigkeit vom Videotyp und vom Zeitpunkt der Erhebung



Bewertungsskala: 1 = „gar nicht“, 2 = „ein bisschen“, 3 = „einigermaßen“, 4 = „erheblich“, 5 = „äußerst“

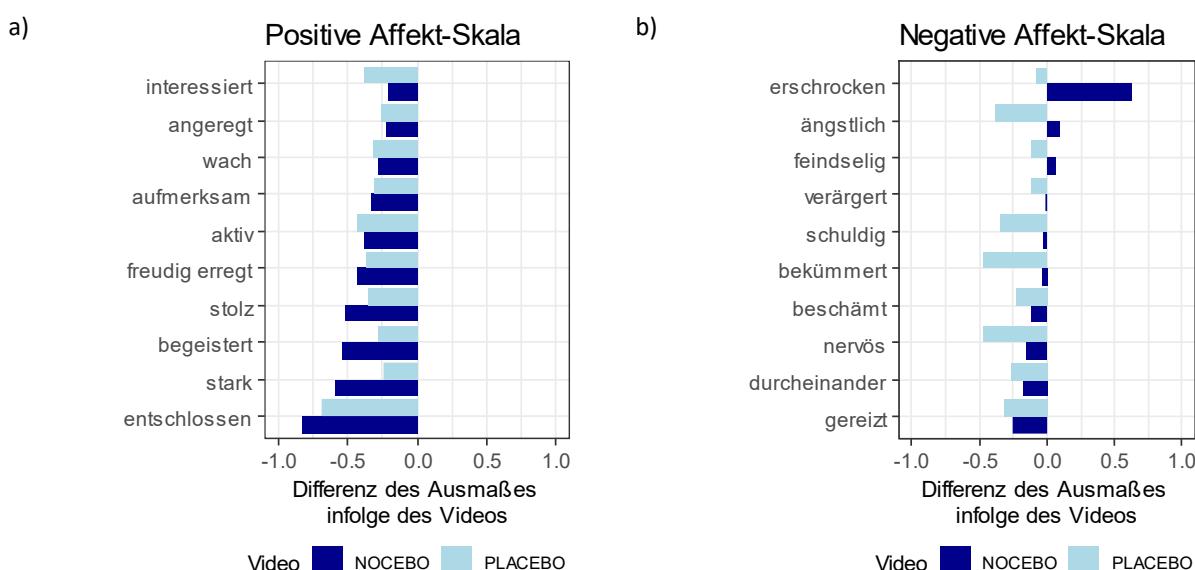
Höhere Werte repräsentieren ein größeres Ausmaß positiven Affekts (a) bzw. negativen Affekts (b).

*** p < 0,001

Quelle: eigene Berechnung

Das Ausmaß negativen Affekts wurde durch den Interaktionseffekt aus Zeitpunkt und Video (ATS = 11,90, p = 0,001) beeinflusst (Zeitpunkt: ATS = 11,90, p = 0,001, Video: ATS = 1,50, p = 0,223). Während bei der PLACEBO-Gruppe (V = 256, $p_{adj} < 0,001$, $r = 0,55$) das Ausmaß negativer Affekte infolge des Videos signifikant sank, gab es bei der NOCEBO-Gruppe (V = 1161, $p_{adj} = 0,893$) keine Veränderung (Abbildung 50b). Die deutlichsten Unterschiede bezüglich der negativen Affekte zwischen beiden Versuchsgruppen bestanden insbesondere bei den Emotionen erschrocken, ängstlich und bekümmert (Abbildung 51b).

Abbildung 51: Veränderung des Ausmaßes positiven (a) und negativen (b) Affekts infolge der Videos aufgeschlüsselt für die einzelnen Emotionen bzw. Gemütszustände



Positive bzw. negative Werte entsprechen einer Zunahme bzw. Abnahme des positiven Affekts (a) bzw. negativen Affekts (b), nachdem das Video geschaut wurde.

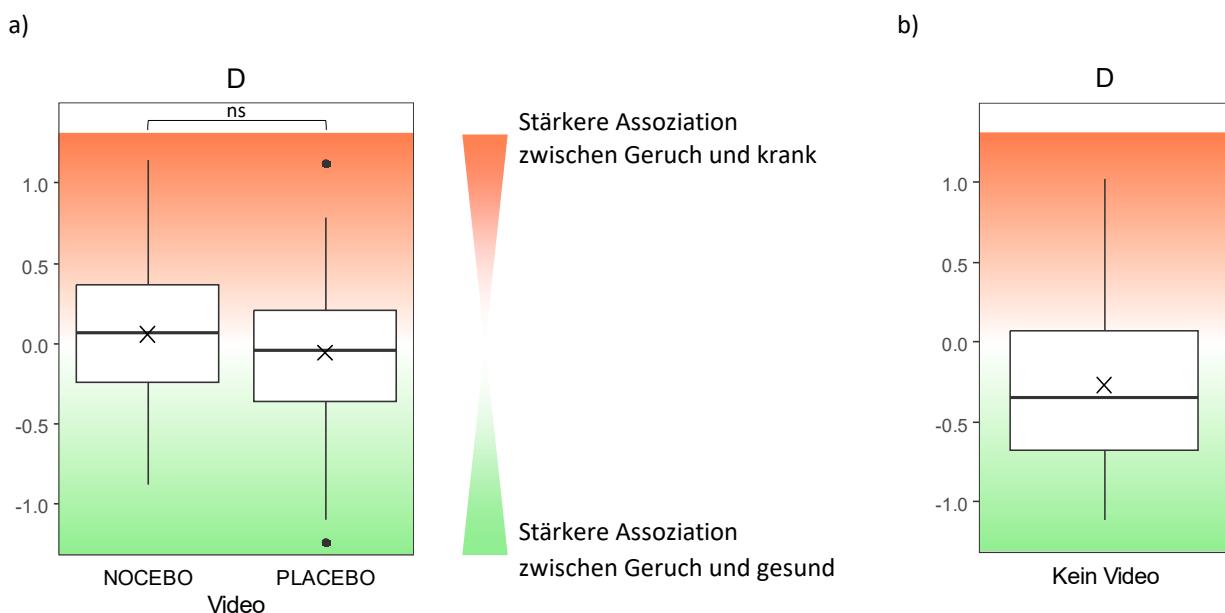
Quelle: eigene Berechnung

3.5.1.3 Impliziter Assoziationstest: ODOR-IAT

Die D-Werte (Maß für die Assoziationsstärke) beider Versuchsgruppen unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($t(160) = 1,58$, $p = 0,117$). Sowohl die PLACEBO-Gruppe als auch die NOCEBO-Gruppe hatte keine klare Tendenz, ob sie Geruch eher assoziiert mit den Konzepten *gesund* oder *krank* (Abbildung 52a).

Zur Validierung des ODOR-IATs führte eine unabhängige Versuchspersonengruppe den Test ohne vorherige Videobeeinflussung durch. Der durchschnittliche D-Wert lag bei -0,27, was darauf hinweist, dass Gerüche im Allgemeinen stärker mit Gesundheit als mit Krankheit assoziiert werden (Abbildung 52b). Die Varianzanalyse ($F(2, 199) = 6,54$; $p = 0,002$) zeigte signifikante Unterschiede im D-Wert zwischen den drei Gruppen (NOCEBO, PLACEBO, kein Video). Sowohl die NOCEBO-Gruppe ($M = 0,06$, $p_{adj} = 0,001$, Cohen's $d = 0,67$) als auch die PLACEBO-Gruppe ($M = -0,06$, $p_{adj} = 0,028$, Cohen's $d = 0,43$) wiesen signifikant höhere D-Werte auf als die unbeeinflusste Gruppe. Nach Cohen (1992) entsprachen diese Unterschiede einem mittleren (NOCEBO) bzw. kleinen Effekt (PLACEBO).

Abbildung 52: D-Wert als Maß für die Assoziationsstärke zwischen Geruch und Gesundheit



a) Vergleich beider Versuchsgruppen (ns = nicht signifikant)

b) Ergebnisse des Vortests zur Testvalidierung des ODOR-IATs

Quelle: eigene Berechnung

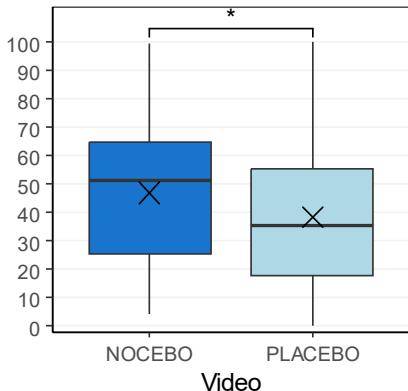
3.5.1.4 Explizite Einstellung zur gesundheitlichen Wirkung von Bauproduktgerüchen

Die beiden Versuchsgruppen unterschieden sich signifikant bezüglich ihrer Einstellung zur gesundheitlichen Wirkung von Gerüchen aus Bauprodukten (Abbildung 53). Im Vergleich zur PLACEBO-Gruppe zeigte die NOCEBO-Gruppe größere Besorgnis über die gesundheitlichen Auswirkungen von Bauproduktgerüchen ($t(160) = 2,17$, $p_{adj} = 0,016$, Cohen's $d = 0,34$) und stimmte eher zu, dass diese Gerüche die Gesundheit negativ beeinflussen können ($t(160) = 3,10$, $p_{adj} = 0,002$, Cohen's $d = 0,49$). Die PLACEBO-Gruppe glaubte hingegen eher, dass die Gerüche auch die Gesundheit fördern können ($W = 2022$, $p_{adj} < 0,001$, $r = 0,33$). Nach Cohen (1992) waren die beobachteten Unterschiede gering (Aussage 1 und 2, letztere mit Tendenz zu mittlerem Effekt) bis mittelstark (Aussage 3).

Abbildung 53: Explizite Einstellungen beider Versuchsgruppen zur gesundheitlichen Wirkung von Gerüchen aus Bauprodukten

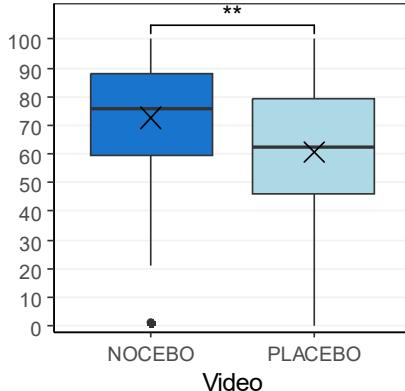
Aussage 1:

Ich bin besorgt über die gesundheitliche Wirkung von Gerüchen aus Bauprodukten



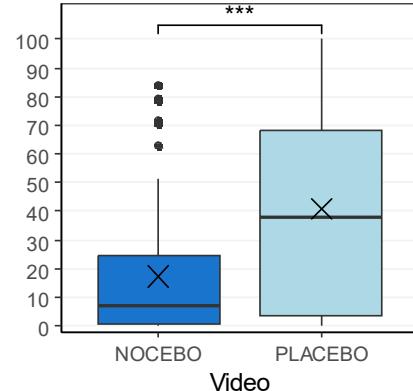
Aussage 2:

Gerüche von Bauprodukten können die Gesundheit negativ beeinflussen.



Aussage 3:

Gerüche von Bauprodukten können die Gesundheit fördern.



Bewertungsskala von 0 („stimme überhaupt nicht zu“) bis 100 („stimme vollständig zu“)

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Quelle: eigene Berechnung

3.5.1.5 Zusammenfassung

Das Ziel der Vorstudie war es zu untersuchen, ob die erstellten Videos (PLACEBO, NOCEBO) die beabsichtigte Wirkung entfalten. Es wurde festgestellt, dass die Versuchspersonen nach dem Ansehen des NOCEBO-Videos besorgter gegenüber den Gerüchen aus Bauprodukten waren und eher der Meinung waren, dass diese die Gesundheit negativ beeinflussen könnten. Im Gegensatz dazu stimmten die Versuchspersonen, die das PLACEBO-Video gesehen hatten, eher zu, dass diese Gerüche auch positive Auswirkungen auf die Gesundheit haben könnten. Darüber hinaus nahm in dieser Gruppe infolge des Videos das Ausmaß des negativen Affekts ab, was bei der NOCEBO-Gruppe nicht beobachtet wurde. Die deutlichsten Unterschiede zeigten sich bei den Emotionen *erschrocken*, *ängstlich* und *bekümmert*: Die PLACEBO-Gruppe war nach dem Video weniger *ängstlich* und *bekümmert* als zuvor, während die NOCEBO-Gruppe *erschrockener* war. Auf Grundlage der expliziten Bewertungen und auf der emotionalen Ebene unterschied sich die Wirkung der Videos demnach deutlich.

Verglichen mit einer unabhängigen Kontrollgruppe, die nicht durch ein Video beeinflusst wurde, zeigte sich jedoch, dass beide Videos die unterbewusste Assoziation von Gerüchen mit positiven Gesundheitseffekten verringerten. Gerüche im Kontext von Bauprodukten wurden demnach weniger mit positiven gesundheitlichen Eigenschaften in Verbindung gebracht, selbst wenn die Versuchspersonen zuvor über gesundheitsfördernde Aspekte von VOCs und Gerüchen informiert worden waren.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurden die Videos im Hauptversuch eingesetzt, um zu untersuchen, ob sie auch die Bewertungen verschiedener Holzgerüche in unterschiedliche Richtungen beeinflussen können.

3.5.2 Hauptversuch

3.5.2.1 Charakterisierung der Versuchspersonen

Die beiden Versuchsgruppen (NOCEBO/PLACEBO) unterschieden sich nicht signifikant in der Altersstruktur, der Geschlechterverteilung und dem Ausmaß, welche Beachtung sie Umgebungsgerüchen (OAS) schenken. Die NOCEBO-Gruppe hatte jedoch eine signifikant größere Naturverbundenheit gemäß NRS (Tabelle 22).

Tabelle 22: Beschreibung der beiden Versuchsgruppen hinsichtlich Alter, Geschlecht, NRS und OAS

	NOCEBO	PLACEBO	Testergebnis
Demographische Merkmale			
Alter (M (SD), Jahre)	42,1 (14,12)	40,7 (15,80)	$W = 543, p = 0,682$
Altersspanne (Jahre)	20 – 66	19 – 66	
Geschlecht	$w = 20, m/d = 12$ $\sum = 32$	$w = 20, m/d = 12$ $\sum = 32$	$\chi^2(1, N=64) = 0, p = 1$
Fragebögen			
NRS (M (SD)) ***	3,1 (0,24)	2,9 (0,25)	$t(62) = 3,55, p = 0,001, \text{Cohen's } d = 0,89$
OAS (M (SD))	119 (13,4)	118 (124)	$t(62) = 0,25, p_{\text{adj}} = 0,932$
pOAS (M (SD))	44 (4,8)	43 (5,4)	$t(62) = 0,49, p_{\text{adj}} = 0,932$
nOAS (M (SD))	75 (9,2)	75 (8,2)	$t(62) = 0,09, p_{\text{adj}} = 0,932$

*** $p < 0,001$

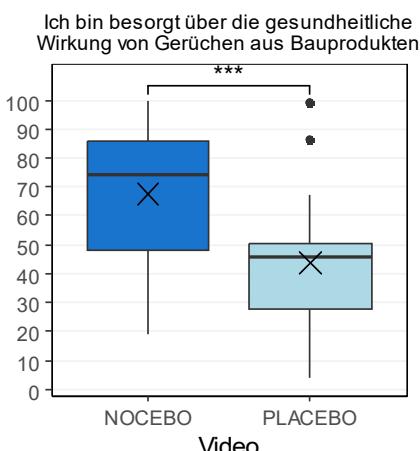
Quelle: eigene Berechnung

3.5.2.2 Explizite Einstellung zur gesundheitlichen Wirkung von Bauproduktgerüchen

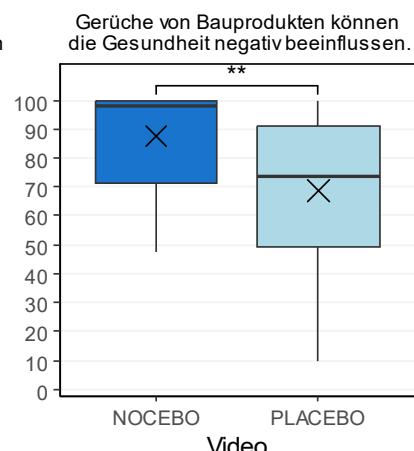
Die beiden Versuchsgruppen unterschieden sich nach dem Ansehen der Videos signifikant bezüglich ihrer Einstellung zur gesundheitlichen Wirkung von Gerüchen aus Bauprodukten (Abbildung 54). Im Vergleich zur PLACEBO-Gruppe zeigte die NOCEBO-Gruppe größere Besorgnis über die gesundheitlichen Auswirkungen von Bauproduktgerüchen ($t(62) = 3,91, p_{\text{adj}} < 0,001, \text{Cohen's } d = 0,98$) und stimmte eher zu, dass diese Gerüche die Gesundheit negativ beeinflussen können ($W = 735, p_{\text{adj}} = 0,001, r = 0,38$). Die PLACEBO-Gruppe glaubte hingegen eher, dass die Gerüche auch die Gesundheit fördern können ($W = 165, p_{\text{adj}} < 0,001, r = 0,56$). Nach Cohen (1992) waren die beobachteten Effekte mittel (Aussage 2) bis stark (Aussage 1 und 3). Damit waren die Unterschiede zwischen beiden Versuchsgruppen noch stärker ausgeprägt als bei der Versuchsgruppe der Onlinestudie zur Videovalidierung (Abbildung 53). Zudem war im Vergleich zur Vorstudie insbesondere die NOCEBO-Gruppe noch besorgter und stimmte noch stärker zu, dass Gerüche aus Bauprodukten die Gesundheit negativ beeinflussen können. Die PLACEBO-Gruppe war hingegen noch stärker der Überzeugung, dass auch positive Gesundheitsauswirkungen möglich sind (Tabelle 23).

Abbildung 54: Explizite Einstellungen beider Versuchsgruppen zur gesundheitlichen Wirkung von Gerüchen aus Bauprodukten

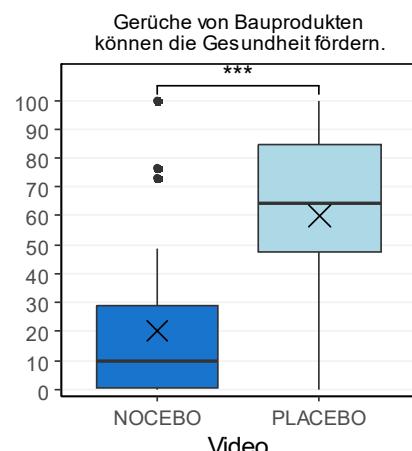
Aussage 1:



Aussage 2:



Aussage 3:

Bewertungsskala von 0 („stimme überhaupt nicht zu“) bis 100 („stimme vollständig zu“), ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Quelle: eigene Berechnung

Tabelle 23: Vergleich zwischen der Onlinevorstudie zur Videovalidierung und dem Hauptversuch *Psychologischer Kontext* bezüglich der expliziten Einstellungen der Versuchspersonen zur gesundheitlichen Wirkung von Gerüchen aus Bauprodukten

	NOCEBO-Video				PLACEBO-Video			
	Videovalidierung Onlinestudie (n = 162)		Psychologischer Kontext Hauptversuch (n = 64)		Videovalidierung Onlinestudie (n = 162)		Psychologischer Kontext Hauptversuch (n = 64) ^a	
	M (SD)	Median	M (SD)	Median	M (SD)	Median	M (SD)	Median
Aussage 1	47 (23,8)	51	68 (25,5)	74	38 (26,3)	36	44 (23,2)	46
Aussage 2	73 (22,3)	76	88 (16,4)	98	61 (26,8)	63	69 (26,1)	74
Aussage 3	17 (22,3)	7	20 (26,4)	10	41 (35,6)	38	60 (31,7)	65

Inhalt von Aussage 1, 2 und 3 siehe Abbildung 54

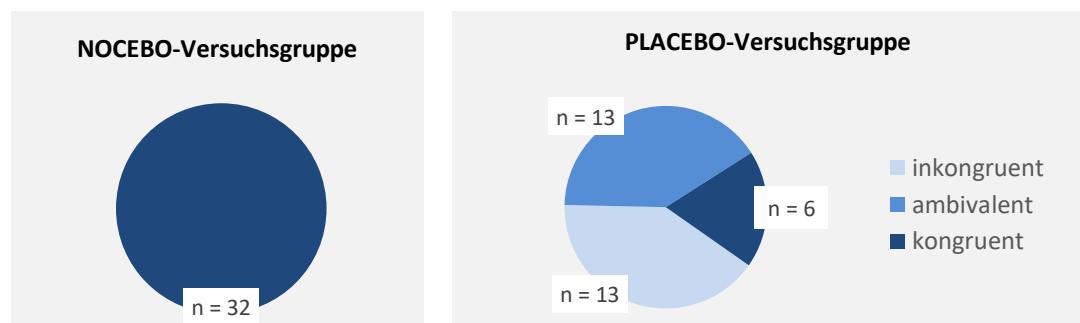
^a Bei Aussage 3: n = 62

Quelle: eigene Berechnung

3.5.2.3 Offene Frage zur gesundheitlichen Wirkung von Bauproduktemissionen

Erwartungsgemäß notierten alle Versuchspersonen, die das NOCEBO-Video gesehen haben, ausschließlich negative gesundheitliche Wirkungen von VOC-Emissionen aus Bauprodukten (z. B. „*Kopfschmerzen*“, „*Atemwegserkrankungen*“, „*Unwohlsein*“). Im Gegensatz dazu waren die Antworten der PLACEBO-Versuchsgruppe ambivalenter. Nur 19 % der Personen nannten ausschließlich positive gesundheitliche Wirkungen, darunter „*Wohlbefinden steigern*“, „*Entspannung*“ und „*Blutdruck senken*“. Jeweils 41 % der Gruppe erwähnten hingegen entweder nur negative Auswirkungen oder sowohl positive als auch negative Wirkungen (Abbildung 55).

Abbildung 55: Offene Frage zur gesundheitlichen Wirkung von Bauproduktemissionen



Übereinstimmung zwischen der Grundaussage der Videos und den Antworten auf die Frage „Welche gesundheitlichen Wirkungen können VOC-Emissionen aus Bauprodukten haben? Antworten Sie in kurzen Stichpunkten.“

Quelle: eigene Berechnung

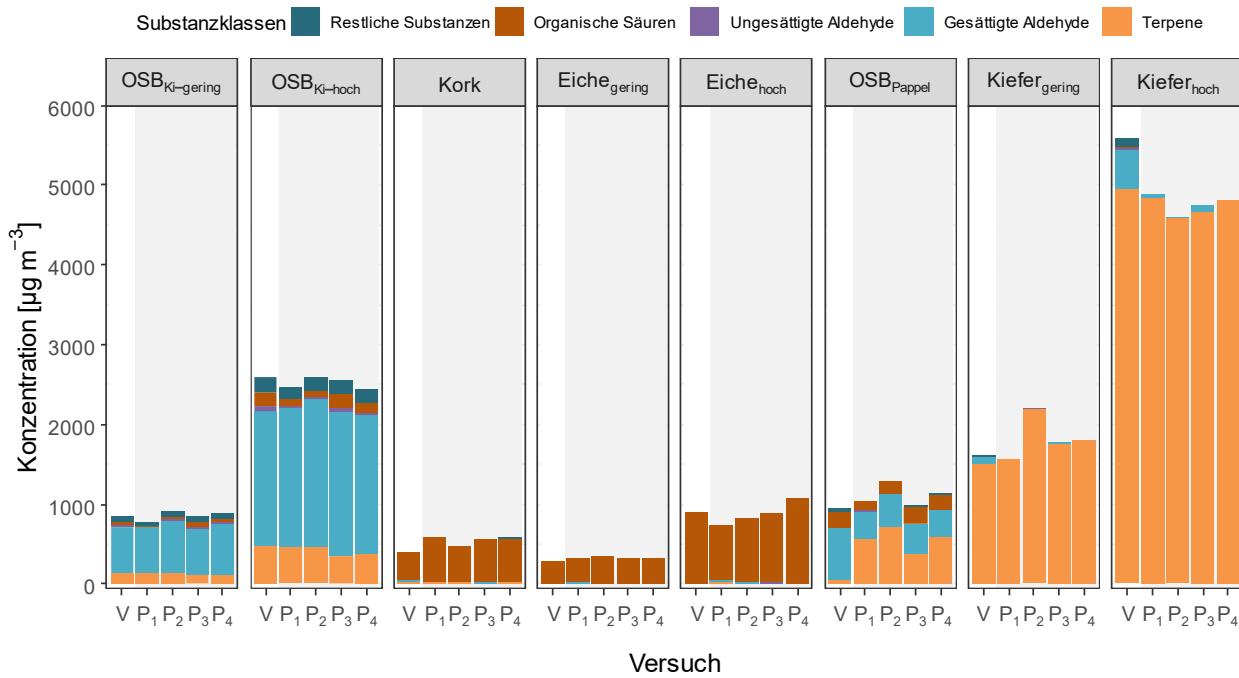
3.5.2.4 Gerüche

Trotz der teilweise hohen Variabilität des Probenmaterials hinsichtlich seines Emissionsverhaltens, insbesondere bei Vollhölzern, wurden durch Anpassungen des Luftwechsels in den Prüfkammern die TVOC-Konzentrationen in den Probenbeuteln über die vier Versuchswochen hinweg innerhalb jedes Geruchs vergleichbar gehalten. Leichte Schwankungen bestanden beim OSB_{Pappel}-Geruch sowie ein etwas erhöhter TVOC in der zweiten Versuchswoche beim Kiefer_{gering}-Geruch (Abbildung 56a).

Erneut wurde die Abnahme der Konzentrationen der organischen Säuren mit zunehmender Lagerdauer der Probenbeutel beobachtet (siehe Kapitel 3.3.1, Tabelle 24). Dies betraf die Essigsäure in den Eichen-, OSB_{Pappel}- und Korkgerüchen sowie die Hexansäure im OSB_{Ki-hoch}-Geruch (Tabelle 24).

Abbildung 56: VOC-Zusammensetzung der Gerüche

a)



V = Versuch *Visueller Kontext* (Datengrundlage: Probenahmen von jeweils 7 Gasprobebeuteln je Geruch, Probenahmezeitpunkt: 2 bis 14 Tage nach dem Befüllen der Beutel)

P = Versuch *Psychologischer Kontext* (1-4 = 1.-4. Versuchswöche, Datengrundlage: in der 1., 2. 3. bzw. 4. Versuchswöche Probenahmen von jeweils 3, 5, 5 bzw. 4 Gasprobebeuteln je Geruch, Probenahmezeitpunkt: 1 bis 6 Tage nach dem Befüllen der Beutel)

	OSB _{Ki-gering}	OSB _{Ki-hoch}	Kork	Eiche _{gering}	Eiche _{hoch}	OSB _{Pappel}	Kiefer _{gering}	Kiefer _{hoch}
TVOC (µg m⁻³)	857 ± 53	2526 ± 132	549 ± 125	334 ± 67	885 ± 268	1125 ± 137	1878 ± 238	4751 ± 147

b)

1) 1), 2), 3)^a 4)^a - - 1), 2) 2)^c 2)^b

1) \sum C₄-C₁₁ Aldehyde (gesättigt, azyklisch, aliphatisch)

2) \sum Bicyklische Terpene (α -Pinen, β -Pinen, 3-Caren)

3) Benzaldehyd

4) 2-Furaldehyd

^a Richtwertüberschreitungen nur in einzelnen Gasprobenbeuteln

^b Überschreitung von RW II

^c In der zweiten Versuchswöche geringfügige Überschreitung von RW II

a) Gegenüberstellung der VOC-Zusammensetzung der Gerüche in den Versuchen zum visuellen und psychologischen Kontext sowie Mittelwert und Standardabweichung der TVOC-Konzentrationen des Versuches zum psychologischen Kontext

b) Überschreitung von RW I (bzw. RW II) gemäß Tabelle 1

Quelle: eigene Berechnung

Tabelle 24: Korrelationskoeffizienten und Signifikanzen zwischen VOC-Konzentrationen und Lagerdauer der Gerüche nach dem Abfüllen (n = 17)

	TVOC und Lagerdauer		Terpene und Lagerdauer		Gesättigte Aldehyde und Lagerdauer		Ungesättigte Aldehyde und Lagerdauer		Organische Säuren und Lagerdauer	
	r	p	r	P	r	p	r	p	r	p
Kiefer _{gering}	-0,05	0,835	-0,06	0,832	0,01	0,977	0,35	0,170	-	-
Kiefer _{hoch}	0,19	0,464	0,22	0,408	-0,14	0,593	0,07	0,785	-	-
Eiche _{gering}	-0,74	0,001	-0,05	0,837	0,16	0,541	0,29	0,260	-0,74	0,001
Eiche _{hoch}	-0,79	<0,001	-0,04	0,882	0,04	0,882	-0,05	0,857	-0,77	<0,001
OSB _{Ki-gering}	-0,32	0,209	0,13	0,627	-0,18	0,494	-0,41	0,105	-0,32	0,212
OSB _{Ki-hoch}	-0,68	0,003	0,08	0,746	-0,54	0,026	-0,61	0,009	-0,71	0,001
OSB _{Pappel}	-0,21	0,419	0,11	0,675	-0,27	0,300	-0,05	0,858	-0,65	0,005
Kork	-0,80	<0,001	-0,01	0,983	-0,09	0,739	0,03	0,900	-0,82	<0,001

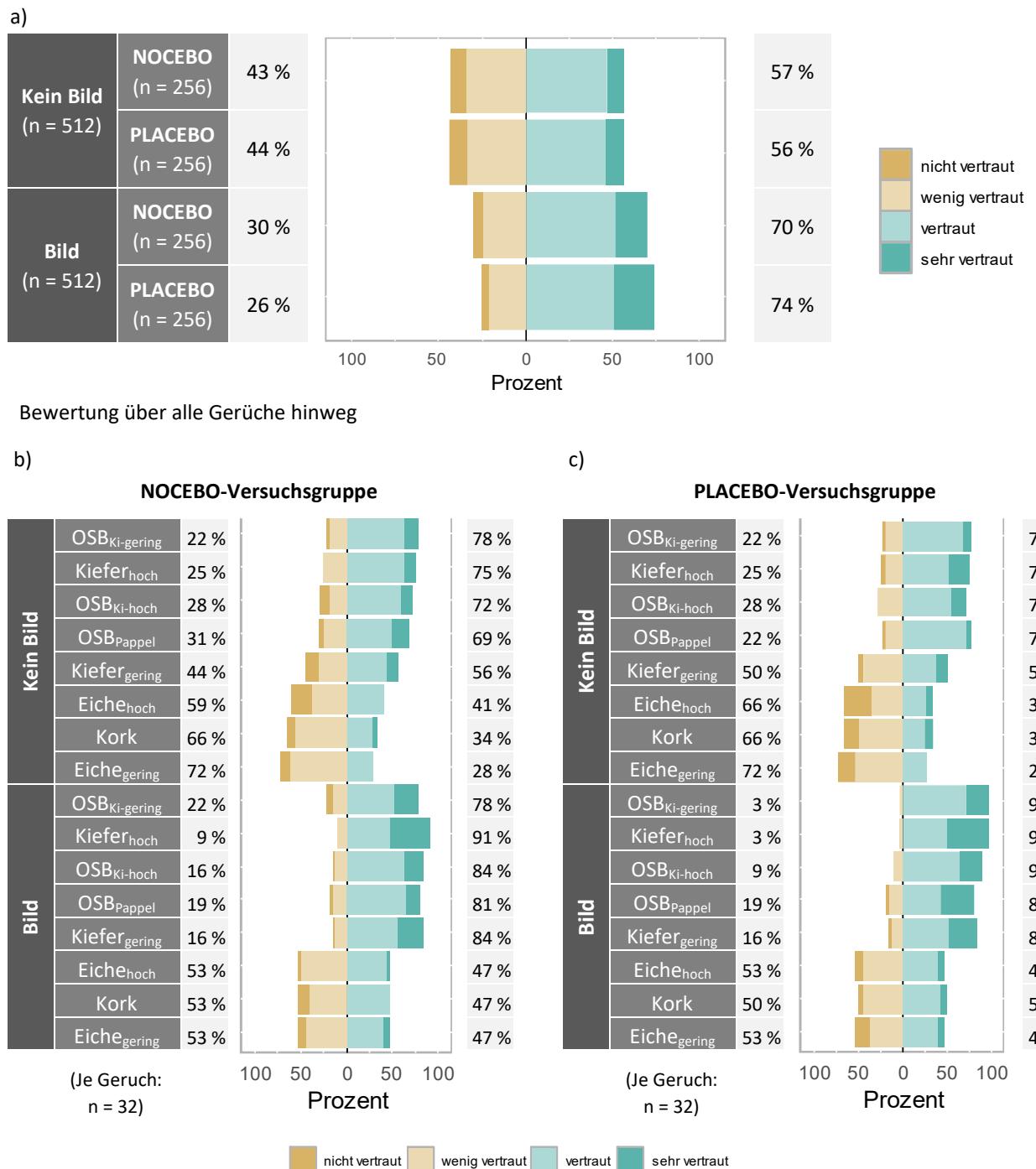
Quelle: eigene Berechnung

Die VOC-Zusammensetzung der Gerüche (Abbildung 56a) entsprach dem typischen Emissionsprofil der verwendeten Holzprodukte (Butter und Ohlmeyer 2021). Eine Ausnahme bildete der OSB_{Pappel}-Geruch, der einen erhöhten Terpenanteil aufwies (RW I-Überschreitung der bizyklichen Terpene, Abbildung 56b), obwohl Pappelholz und somit auch die daraus hergestellten Holzwerkstoffe üblicherweise keine Terpene emittieren (Butter und Ohlmeyer 2021). Dies wurde auf eine unzureichende Lagerung der Platten zurückgeführt: Diese waren in Aluminiumfolie eingeschlagen in einer Tiefkühltruhe gelagert worden, in der auch Kiefernholz aufbewahrt wurde. Offensichtlich kam es infolge der langen Lagerdauer in den Kühltruhen zu einer Anreicherung von Terpenen auf der Plattenoberfläche. Dementsprechend unterschied sich der OSB_{Pappel}-Geruch bezüglich seiner VOC-Zusammensetzung auch von dem im Versuch *Visueller Kontext* (Abbildung 56a). Zudem wies der Kiefer_{hoch}-Geruch geringere Anteile an gesättigten Aldehyden auf als im ersten Versuch (Abbildung 56a), sodass RW I der gesättigten Aldehyde in dem Fall nicht überschritten wurde.

3.5.2.5 Geruchsbewertung

Vertrautheit: Die Vertrautheitsbewertungen (Summenwert über alle Gerüche, getrennt für beide Varianten des visuellen Kontextes) wurden signifikant vom visuellen Kontext beeinflusst ($F(1,62) = 42,31, p < 0,001$). Die Videos ($F(1,62) = 0,20, p = 0,655$) sowie die Interaktion beider Faktoren ($F(1,62) = 1,41, p = 0,240$) übten hingegen keinen signifikanten Einfluss aus. Zwischen den beiden Versuchsgruppen (PLACEBO, NOCEBO) unterschieden sich die Vertrautheitsbewertungen der Gerüche demnach nicht (Abbildung 57a). Mit einem kongruenten Materialbild wurden die Gerüche als vertrauter wahrgenommen (Abbildung 57a,b,c), was auch im Versuch *Visueller Kontext* (Abbildung 44) beobachtet wurde. Der größte Unterschied zwischen den Ergebnissen beider Versuche bestand darin, dass der OSB_{Pappel}-Geruch in diesem Versuch den Personen deutlich vertrauter war (Abbildung 44a, Abbildung 57b,c), was höchstwahrscheinlich auf den höheren Terpenanteil (Kapitel 3.5.2.4) zurückzuführen ist.

Abbildung 57: Vertrautheitsbewertung der Holzgerüche



- a) Einfluss des Videos und des visuellen Kontextes (über alle Gerüche zusammengefasst)
- b) NOCEBO-Versuchsgruppe: Einfluss des Geruchs und des visuellen Kontextes, sortiert nach abnehmender Vertrautheit basierend auf den Bewertungen ohne Bild
- c) PLACEBO-Versuchsgruppe: Einfluss des Geruchs und des visuellen Kontextes, sortiert nach abnehmender Vertrautheit basierend auf den Bewertungen der NOCEBO-Versuchsgruppe ohne Bild

Quelle: eigene Berechnung

Hedonik: Die beiden Versuchsgruppen (PLACEBO, NOCEBO) unterschieden sich nicht hinsichtlich ihrer hedonischen Bewertung der Gerüche (Abbildung 58a,b). Allein ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Geruch und visuellem Kontext war zu verzeichnen (Abbildung 58a,c). Die Vollholzgerüche wurden mit kongruentem Materialbild angenehmer bewertet – im Mittel nahm die Hedonik bei Kiefer_{gering} um 0,8, bei

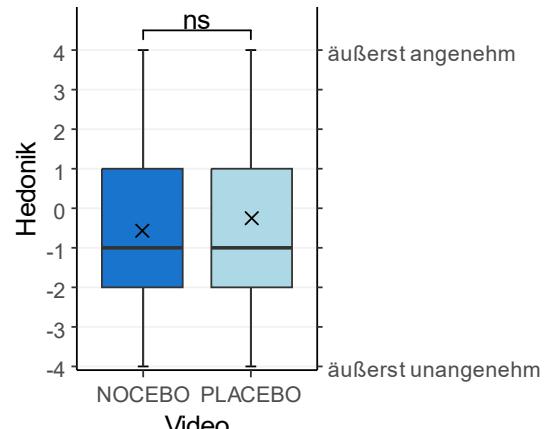
$Eichen_{hoch}$ um 0,7, bei $Kiefer_{hoch}$ um 0,4 und bei $Eiche_{gering}$ um 0,4 zu. Signifikant war die Zunahme jedoch nur bei $Kiefer_{gering}$ ($p_{adj} = 0,005$). Die Hedonik der OSB-Gerüche sank dagegen infolge des visuellen Kontextes ($OSB_{Pappel}/OSB_{Ki-gering}$: - 0,2, $OSB_{Ki-hoch}$: - 0,3), ebenso die des Korkgeruchs (-0,4).

Abbildung 58: Hedonikbewertung der Holzgerüche

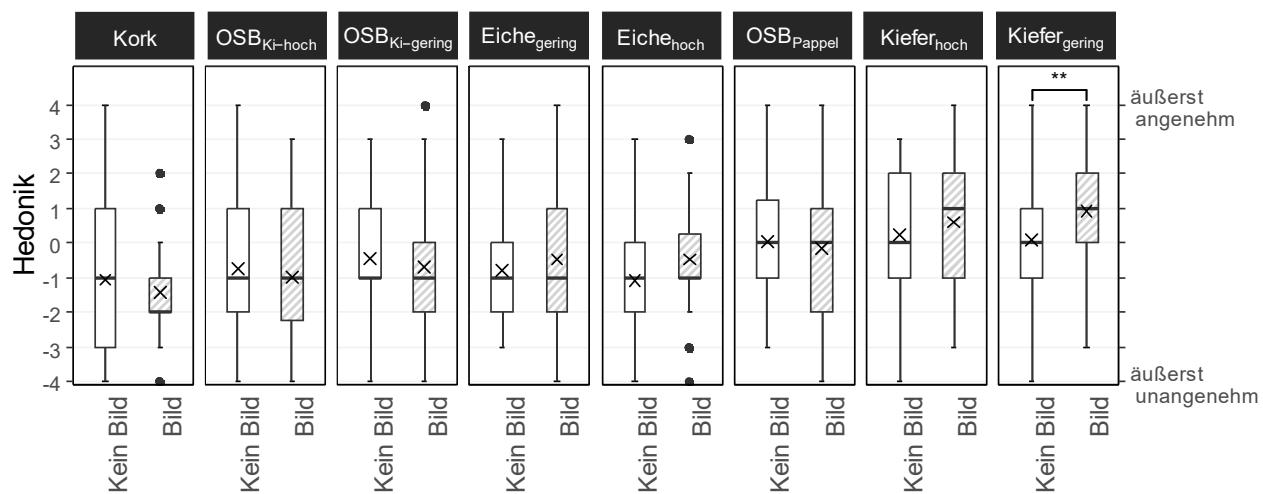
a)

Einflussfaktor	Teststatistik
Bild	$F(1,930) = 2,53, p = 0,112$
Geruch	$F(7,930) = 25,97, p < 0,001$
Video	$F(1,62) = 1,27, p = 0,264$
Bild x Geruch	$F(7,930) = 3,45, p = 0,001$
Bild x Video	$F(1,930) = 0,00, p = 0,946$
Geruch x Video	$F(7,930) = 0,63, p = 0,729$
Bild x Video x Geruch	$F(7,930) = 0,34, p = 0,933$

b)



c)



a) Einflussfaktoren: Ergebnisse der dreifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung

b) Einfluss des Videos (über alle Gerüche und Bildvarianten zusammengefasst, ns = nicht signifikant)

c) Einfluss der Interaktion aus Geruch und visuellem Kontext (über beide Videovarianten zusammengefasst, aufsteigend sortiert auf Basis der Mittewerte der Geruchsbewertung mit Bild, ** $p < 0,001$)

Quelle: eigene Berechnung

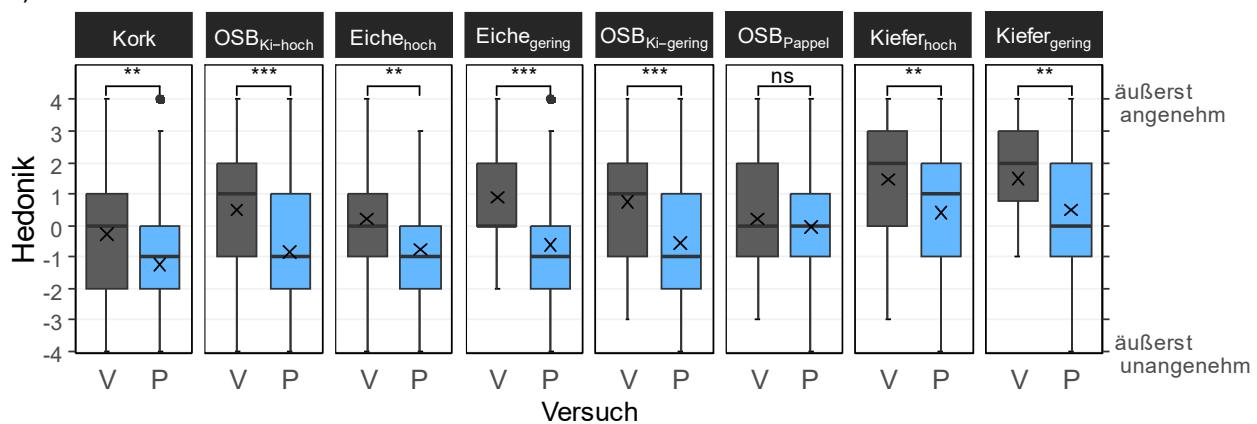
Auffällig waren die im Vergleich zum Versuch *Visueller Kontext* signifikant geringeren Hedonikbewertungen für alle Gerüche (im Mittel Hedonikabnahme um 1,0 bis 1,5), mit Ausnahme des OSB_{Pappel} -Geruchs (Hedonikabnahme um 0,3). Dies spiegelte sich im Interaktionseffekt zwischen den Einflussfaktoren Versuch und Geruch wider (Abbildung 59a,b). Angesichts der Tatsache, dass alle anderen Gerüche in diesem Versuch deutlich unangenehmer bewertet wurden, ist die nahezu unveränderte Bewertung des OSB_{Pappel} -Geruchs auf den höheren Anteil an Terpenen zurückzuführen (Abbildung 56), die im Allgemeinen als angenehmer als die gesättigten Aldehyde bewertet werden (siehe Kapitel 3.3.4).

Abbildung 59: Hedonikbewertung der Gerüche im Versuch *Visueller Kontext* im Vergleich zum Versuch *Psychologischer Kontext*

a)

Einflussfaktor	Teststatistik
Bild	$F(1,1410) = 8,80, p = 0,003$
Geruch	$F(7, 1410) = 30,48, p < 0,001$
Versuch	$F(1,94) = 19,69, p < 0,001$
Bild x Geruch	$F(7,1410) = 2,92, p = 0,005$
Bild x Versuch	$F(1,1410) = 1,34, p = 0,247$
Geruch x Versuch	$F(7,1410) = 3,16, p = 0,003$
Bild x Versuch x Geruch	$F(7,1410) = 0,53, p = 0,810$

b)



a) Ergebnisse der dreifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung

b) Einfluss des Versuchs (über beide Video- und Bildvarianten zusammengefasst, aufsteigend sortiert auf Basis der Mittewerte des Versuchs zum psychologischen Kontext,

V = Versuch *Visueller Kontext*,

P = Versuch *Psychologischer Kontext*, ns = nicht signifikant, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$)

Quelle: eigene Berechnung

Intensität: Die Intensität der Gerüche wurde im Median als mäßig bis stark eingeschätzt (Abbildung 60b). Die beiden Versuchsgruppen (PLACEBO, NOCEBO) unterschieden sich nicht signifikant hinsichtlich ihrer Intensitätsbewertung der Gerüche (Abbildung 60a,c). Die Gerüche wurden mit einem kongruenten Materialbild intensiver bewertet (Median_{Bild} = 32, Median_{kein Bild} = 27), wenngleich der Unterschied aufgrund seiner Geringfügigkeit praktisch irrelevant war (Abbildung 60d).

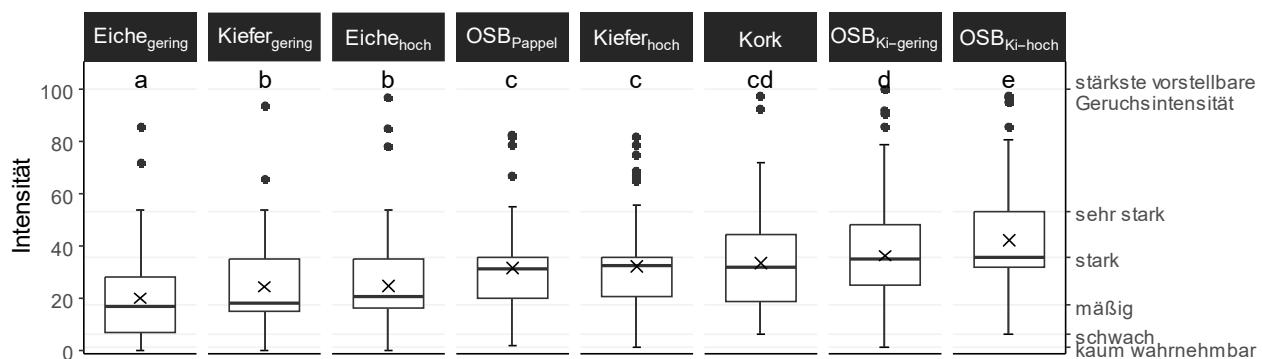
Beim Vergleich beider Versuche, *visueller* und *psychologischer Kontext*, ergab sich ein signifikanter Interaktionseffekt der Faktoren Geruch und Versuch (Abbildung 60a). Dies äußerte sich darin, dass die Gerüche im aktuellen Versuch, mit Ausnahme des OSB_{Pappel}-Geruchs, insgesamt etwas intensiver bewertet wurden (signifikant beim Kork-Geruch, Abbildung 60b). Der OSB_{Pappel}-Geruch wurde hingegen weniger intensiv bewertet, was vermutlich auf den höheren Terpen- und dafür geringeren Aldehydanteil im Vergleich zum ersten Versuch zurückzuführen ist (Abbildung 56, siehe Kapitel 3.3.4).

Abbildung 60: Intensitätsbewertung der Holzgerüche

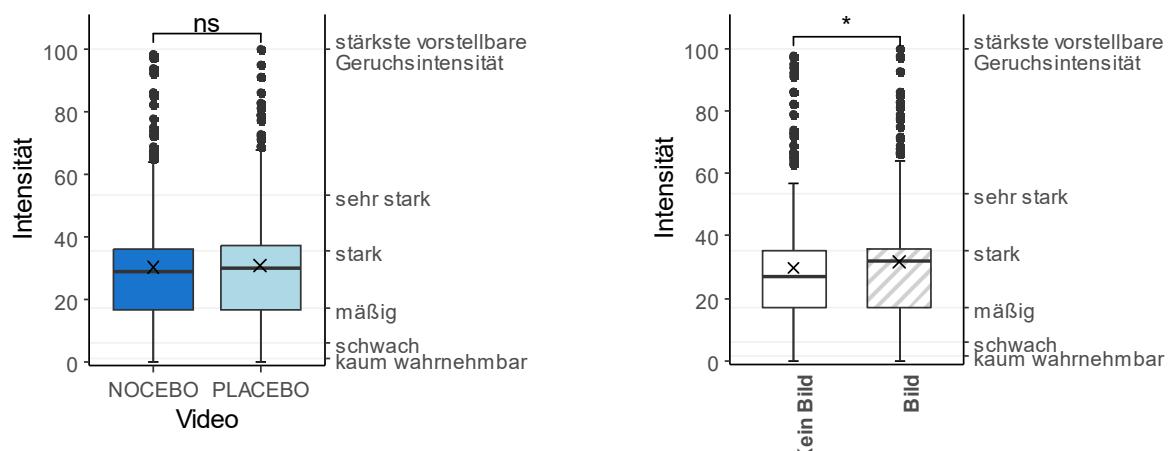
a)

Einflussfaktor	Teststatistik
Bild	ATS = 5,23, p = 0,022
Geruch	ATS = 35,15, p < 0,001
Video	ATS = 0,01, p = 0,930
Bild x Geruch	ATS = 1,66, p = 0,127
Bild x Video	ATS = 1,22, p = 0,270
Geruch x Video	ATS = 1,30, p = 0,262
Bild x Video x Geruch	ATS = 0,87, p = 0,518

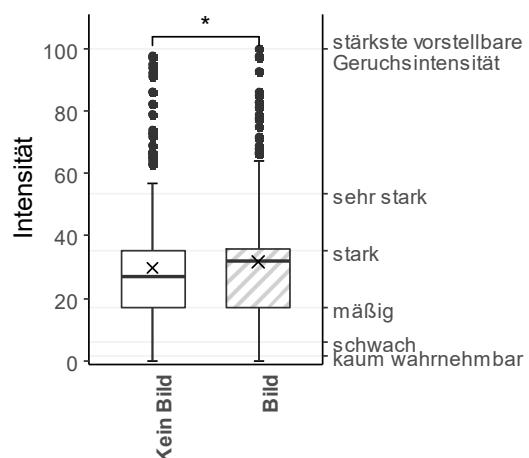
b)



c)



d)



a) Einflussfaktoren: Ergebnisse der dreifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung

b) Einfluss des Geruchs (über beide Bild- und Videovarianten zusammengefasst; Mediane, die keinen gemeinsamen Buchstaben aufweisen, unterscheiden sich signifikant im Post-hoc-Test auf dem 5 %-Niveau (= compact letter display (Piepho 2018)).

c) Einfluss des Videos (über alle Gerüche und Bildvarianten zusammengefasst, ns = nicht signifikant)

d) Einfluss des visuellen Kontextes (über alle Gerüche und Videovarianten zusammengefasst, * p < 0,05)

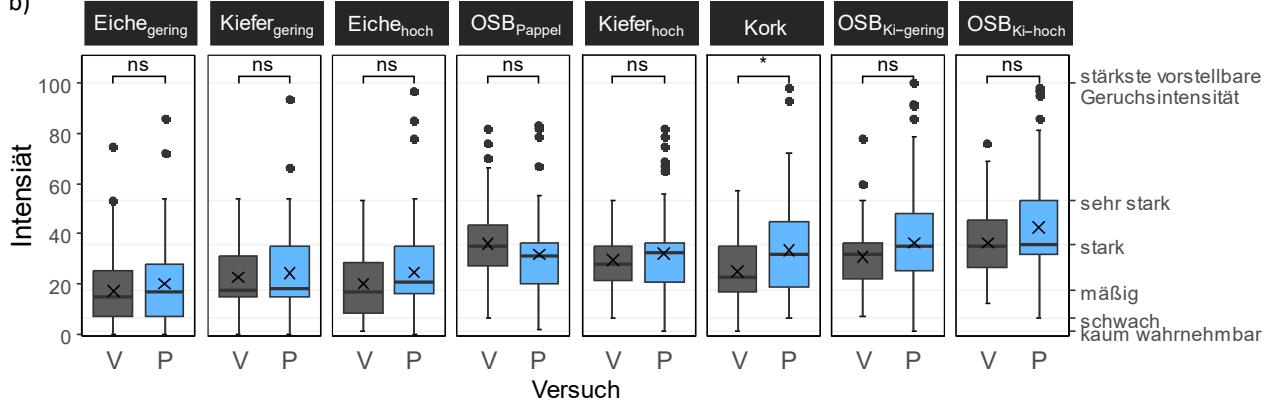
Quelle: eigene Berechnung

Abbildung 61: Intensitätsbewertung der Gerüche im Versuch *Visueller Kontext* im Vergleich zum Versuch *Psychologischer Kontext*

a)

Einflussfaktor	Teststatistik
Bild	ATS = 5,23, p = 0,022
Geruch	ATS = 45,39, p < 0,001
Versuch	ATS = 3,06, p = 0,081
Bild x Geruch	ATS = 2,03, p = 0,058
Bild x Versuch	ATS = 0,00, p = 0,963
Geruch x Versuch	ATS = 3,45, p = 0,004
Bild x Versuch x Geruch	ATS = 0,40, p = 0,882

b)



a) Ergebnisse der dreifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung

b) Einfluss des Versuchs (über beide Video- und Bildvarianten zusammengefasst, aufsteigend sortiert auf Basis der Mittewerte des Versuchs zum Psychologischen Kontext, V = Versuch *Visueller Kontext*, P = Versuch *Psychologischer Kontext*, ns = nicht signifikant, * p < 0,05)

Quelle: eigene Berechnung

3.5.2.6 Zusammenfassung

Bestätigung der Ergebnisse des Versuches *Visueller Kontext*

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen des Versuchs *Visueller Kontext* konnte erneut der Einfluss des visuellen Kontextes auf die Hedonik- und Vertrautheitsbewertung (Abbildung 57, Abbildung 58) gezeigt werden. Die Gerüche wurden als vertrauter wahrgenommen, wenn sie zusammen mit dem kongruenten Materialbild präsentiert wurden. Allerdings unterschieden sich die Effekte auf die Hedonikbewertung zwischen den beiden Versuchen: Während im ersten Versuch ein reiner Bildeffekt (Abbildung 45) beobachtet wurde, trat im aktuellen Versuch eine Interaktion zwischen Bild- und Geruchsfaktor auf. Ungeachtet der statistischen Analyse zeigen die Ergebnisse jedoch, dass in beiden Versuchen die Gerüche von Vollhölzern mit Bild als angenehmer bewertet wurden. Im Gegensatz dazu wurden die Gerüche von OSB und Kork mit Bild entweder nahezu unverändert oder sogar als unangenehmer wahrgenommen. Das deutet darauf hin, dass die grundlegenden Muster der Geruchsbewertung in beiden Versuchen ähnlich sind, trotz der statistischen Unterschiede.

Eine Ausnahme stellt der Geruch von OSB_{Pappel} dar, der im ersten Versuch in Verbindung mit dem Bild deutlich angenehmer wahrgenommen wurde, während er im aktuellen Versuch mit Bild eher unangenehmer bewertet wurde. Diese Diskrepanz lässt sich durch die unterschiedliche VOC-Zusammensetzung des Geruchs in den beiden Versuchen (Abbildung 56) erklären. Im ersten Versuch wies der Geruch einen für diesen Werkstoff typischen hohen Aldehyd-Anteil auf, was ihn weniger angenehm erscheinen ließ. Das zugehörige Materialbild ermöglichte

wahrscheinlich erst die Zuordnung zu Holzprodukten, wodurch der an sich eher etwas unangenehmere Geruch aufgewertet wurde. Im aktuellen Versuch führte hingegen der untypisch hohe Terpen-Anteil des Geruchs, bedingt durch eine unzureichende Lagerung der Platten, zu einer Aufwertung des Geruchs. Während alle anderen Gerüche infolge der Videobeeinflussung deutliche Hedonikabnahmen zu verzeichnen hatten, war diese bei OSB_{Pappel} aufgrund der veränderten VOC-Zusammensetzung nur geringfügig (Abbildung 58). Dieser vergleichsweise angenehmere Geruch, der durch den Terpen-Anteil vermutlich auch eher die Verbindung zu Holzprodukten herstellen konnte, stand dann jedoch im Widerspruch zum negativ konnotierten Materialbild, was zu einer Abnahme der Hedonikbewertung führte, wie bei den anderen OSB- und Korkgerüchen auch.

Darüber hinaus zeigte der aktuelle Versuch eine erhöhte wahrgenommene Intensität der Gerüche mit kongruentem Materialbild (Abbildung 60). Dieser Unterschied war zwar statistisch signifikant, doch praktisch ohne größere Bedeutung, da die Zunahme der Intensität minimal war.

Beeinflussung der Geruchsbewertung durch Vorabinformation

Durch Vorabinformationen über die gesundheitlichen Auswirkungen von VOC und Gerüchen aus Bauprodukten lassen sich die expliziten Einstellungen der Versuchspersonen (zumindest kurzfristig) beeinflussen (Abbildung 54). Je nachdem, ob der Fokus auf den gesundheitsfördernden (PLACEBO-Gruppe) oder gesundheitsschädlichen Wirkungen (NOCEBO-Gruppe) lag, äußerten die Versuchspersonen eine geringere bzw. größere Sorge bezüglich der gesundheitlichen Auswirkungen von Bauproduktgerüchen. Die beiden Gruppen unterschieden sich auch darin, ob sie eher glaubten, dass diese Gerüche nachteilige oder vorteilhafte Gesundheitsauswirkungen haben könnten. Überraschenderweise spiegelte sich dies jedoch nicht in einer veränderten Bewertung der Holzgerüche hinsichtlich Intensität (Abbildung 60), Hedonik (Abbildung 58) und Vertrautheit (Abbildung 57) wider; keines der Kriterien wies signifikante Unterschiede zwischen den beiden Versuchsgruppen auf.

Entgegen den Erwartungen wurde jedoch beobachtet, dass beide Gruppen die Gerüche signifikant unangenehmer bewerteten als im ersten Versuch (Abbildung 59). Wie bereits erwähnt, stellte lediglich der Geruch von OSB_{Pappel} aufgrund der unterschiedlichen VOC-Zusammensetzung in beiden Versuchen eine Ausnahme dar. Dass die NOCEBO-Gruppe die Gerüche unangenehmer bewertete, war zu erwarten. Die Frage bleibt aber, warum auch die PLACEBO-Gruppe dies tat. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die PLACEBO-Gruppe deutlich stärker daran glaubte, dass Bauproduktgerüche auch vorteilhafte gesundheitliche Auswirkungen haben können. Dies schließt jedoch nicht aus, dass sie auch negative Gesundheitswirkungen befürchten, wenn auch in geringerem Maße als die NOCEBO-Gruppe, aber letztlich doch mit einem beachtlichen Ausmaß. Zudem sind sie nicht vollkommen sorgenfrei in Bezug auf die Gesundheitsauswirkungen (Abbildung 54). Sie bringen ein bestimmtes Hintergrundwissen mit und haben womöglich bereits negative Erfahrungen mit Gerüchen aus Bauprodukten, Einrichtungsgegenständen oder allgemein unangenehmen Gerüchen in Innenräumen gemacht. Die Versuchspersonen könnten mit bestimmten Erwartungen und Meinungen in die Studie gegangen sein. In diesem Zusammenhang könnte ein Bestätigungsfehler (*confirmation bias*) aufgetreten sein, bei dem nur die Informationen aus dem Video ausgewählt und interpretiert wurden, die ihre eigenen Erwartungen stützten. Es ist wichtig zu betonen, dass die Videos nicht als Werbefilme konzipiert waren, sondern eher als neutrale Berichte mit sachlichen Informationen – es wurde also nicht mit Übertreibungen oder Falschaussagen gearbeitet (Anhang Tabelle 2). Auch im PLACEBO-Video wurden die Versuchspersonen darüber aufgeklärt, was VOC sind, dass diese von verschiedenen Produkten, einschließlich Bauprodukten, emittiert werden und dass es für einzelne Substanzen Richtwerte für Innenräume gibt. Vermutlich waren dies die wesentlichen Informationen, die die PLACEBO-Gruppe wahrgenommen hat und mit ihren eigenen Erfahrungen verknüpfte. Dafür spricht auch, dass über 80 % der Versuchspersonen der PLACEBO-Gruppe negative Auswirkungen nannten, als sie gefragt wurden, welche gesundheitlichen Auswirkungen VOC-Emissionen aus Bauprodukten haben könnten (Abbildung 55). Zudem deuten auch die Ergebnisse des impliziten Assoziationstests darauf hin, dass beide Versuchsgruppen nach dem Ansehen des Videos eine geringere Assoziation zwischen Geruch und Gesundheit aufwiesen als unbeeinflusste Versuchspersonen, sich jedoch untereinander nicht signifikant unterschieden (Abbildung 52).

4 Erkenntnisse

Im Alltag wird ein Geruch nicht ohne weitere Informationen über den Kontext der Geruchswahrnehmung, das Vorwissen über den Geruch oder Assoziationen mit dem Geruch, und weiteren Informationen, die von unserem Gehirn integriert werden, verarbeitet. Wird ein Geruch mit einem falschen, also inkongruenten Begriff „gelabelt“, so aktiviert dieser Umstand den piriformen Kortex, der seinerseits die Bewertung des Geruchs nachhaltig beeinflussen kann (Okumura et al. 2024). Identische Gerüche (u. a. Menthol oder Eucalyptol) führen zu unterschiedlichen Aktivierungsmustern, je nachdem durch welchen Begriff (Minze oder Eukalyptus) sie kongruent oder inkongruent gelabelt waren. Die Untersuchung der Wirkung von Holz und vor allem Holzgerüchen auf den Menschen in experimentellen Versuchsaufbauten kann also zu einem besseren Verständnis der Rahmenbedingungen beitragen, die sowohl positive als auch negative Wirkungen von Gerüchen auf den Menschen beeinflussen. Hier unterscheiden sich toxikologische Endpunkte wie die sensorische Irritation von Geruchswirkungen, da derartige Variablen hier keine Rolle spielen und die adversen Effekte überwiegend durch Konzentration (akute Effekte) oder Dosis (chronische Effekte) bestimmt werden. Wenn Gerüche im Rahmen von gesundheitsrelevanten Empfehlungen oder Richtwerten genutzt werden sollen, so können die Erkenntnisse, die im Projekt W4G generiert wurden, wesentliche Beiträge bei deren Bewertung liefern. Wie Gerüche wirken, ob sie angenehm oder unangenehm bewertet werden, hängt von mehr Faktoren ab als der Geruchsstoffkonzentrationen oder der wahrgenommenen Geruchsintensität. Derartige Faktoren werden beim bisherigen Vorgehen zur sensorischen Prüfung jedoch nicht berücksichtigt.

Die Erkenntnisse aus den unterschiedlichen Experimenten dieses Projekts, die sehr verschiedene Holzgerüche, unterschiedliche Geruchsapplikationen und diverse Modulatoren (visueller Kontext, Vorinformationen zum Geruch) verwendet haben, zeigen übereinstimmend, dass vor allem der visuelle Kontext (Vollholz- vs. Wandbild), in dem der Geruch präsentiert wird, einen wesentlichen Einfluss auf die Bewertung, aber auch auf die neuronalen Verarbeitungsschritte (konfliktfreiere Verarbeitung) hat. Diese Kontextabhängigkeit zeigte sich für Holzgerüche nicht nur durch das kongruente Materialbild, sondern es reichte bereits, wenn bekannt war, welches Material für den Geruch verantwortlich war, siehe verblindete Geruchsproben auf der Messe. Die ausschließliche Geruchswahrnehmung von Holz und Holzprodukten ist in ihrer Wirkung auf den Menschen also nur schwer von der ganzheitlichen Wahrnehmung, also der multisensorischen Wirkung von Vollholz als Naturprodukt zu entkoppeln.

Im Gegensatz zu diesen klaren und konvergenten Ergebnissen zum visuellen Kontext und damit auch um die Herkunft des Geruchs, was auch mit den Labels im „Feldversuch“ auf der Grünen Woche erreicht wurde, sind die Erkenntnisse, die durch die experimentelle Manipulation anderer Modulatoren (Vorinformationen zu VOCs aus Holz) gewonnen wurden, weniger eindeutig. Die PLACEBO- und NOCEBO-Videos haben grundsätzlich ihre intendierte Wirkung gezeigt, die sensorische Bewertung der Holz-VOCs wurde jedoch nicht generell beeinflusst. Auch in Kombination mit einem kongruenten visuellen Kontext war der Versuch einer zusätzlichen Manipulation der generellen Einstellungen zu gesundheitlichen VOC-Wirkungen nicht erfolgreich. Frühere Studien waren in der Manipulation von Vorinformationen wesentlich direkter und nutzten auch gezielt Fehlinformationen (Dalton 1996; 1999; Dalton et al. 1997), um Geruchswirkungen wie Belästigung zu beeinflussen. Zum anderen wurden in diesen Experimenten einzelne Geruchsstoffe (u. a. Phenylethylalkohol) getestet und keine komplexen VOC-Gemische. Der hier gewählte Ansatz basierte auf der Kombination von frei zugänglichen Informationen, die lediglich positive bzw. negative Aussagen zu VOCs prononciert präsentiert haben, so dass keine derartig starken Effekte zu erwarten waren. Die gewonnenen Erkenntnisse aus diesem Teilprojekt legen dennoch nahe, dass beim Produktmarketing gesundheitsbezogene Aussagen nicht per se zu veränderten Wirkungen von Holzgerüchen führen. Es ist anzunehmen, dass komplexe Manipulationen, wie die Veränderung von Einstellungen durch gezielte Informationen, immer im Zusammenhang mit dem Individuum gesehen werden müssen, welches diese Information erhält. Die Persönlichkeit, eigene Vorerfahrung und – bei Gerüchen besonders wichtig –

konditionierte Reize und Emotionen (z. B. Tannenbaumgeruch und Weihnachten) der Person, die PLACEBO- und NOCEBO-Videos ansieht, spielen eine wahrscheinlich schwer vorhersagbare Rolle.

Diese Erkenntnisse sollten allerdings auch bei der sensorischen Bewertung von Bauprodukten berücksichtigt werden, da ausschließlich eine Geruchintensität von über 7 pi ausreicht, um „aus gesundheitlich-hygienischer Sicht“ ein Produkt wegen der Möglichkeit Geruchsbelästigungen in Innenräumen auszulösen, von der Verwendung auszuschließen. Ähnliches gilt auch für das aktuelle Geruchsleitwerte-Konzept des AIR („Bewertung von Geruchsstoffen in der Innenraumluft – Weiterentwicklung des Geruchsleitwerte-Konzeptes des AIR,“ 2023), in dem die komplexe Wirkung von Gerüchen in Innenräumen auf die Geruchsschwellen einzelner Stoffe reduziert wird und ein Geruchsleitwert (GLW) für die Überprüfung der Plausibilität von Beschwerden über eine Geruchsbelästigung genutzt werden soll. Dieser postulierte, prädiktive Wert von Geruchsintensität oder Geruchsstoffkonzentration deckt sich nicht mit den gewonnenen Erkenntnissen und bedarf weiterer wissenschaftlicher Forschung.

Eine deutliche Erweiterung des Erkenntnisstandes liegt in den Beobachtungen, die auf neuro- und psychophysiologischen Ebenen gewonnen wurden. Fehlt der passende, visuelle Kontext von Holz bei der geruchlichen Wahrnehmung, so muss unser Gehirn einen erhöhten Verarbeitungsaufwand betreiben, um fehlende visuelle Informationen zu ergänzen. Trotz dieser ergänzenden Prozesse wird, wie auch in den anderen Experimenten, ein Kiefernholz-VOC-Gemisch als weniger angenehm bewertet, wenn das Holzbild fehlt. Wird also ein Geruch ohne den entsprechenden visuellen Kontext präsentiert, so wird unser Gehirn stärker beansprucht und die Geruchswirkungen verändern sich.

In der Simulation einer Innenraumluftbedingung, in der die Konzentrationen der bizyklischen Terpene maximal waren, also dem Richtwert II entsprachen, zeigten sich keine akuten, chemosensorisch-vermittelten Effekte. Der Geruch war nur schwer wahrnehmbar, was sich in niedrigen Intensitätsratings zeigte und die hedonische Bewertung war neutral. Akute, gesundheitsschädliche Effekte oder unzumutbare Geruchsbelästigungen können nahezu ausgeschlossen werden. In der „sterilen“ Simulation des reinen Kiefernholzgeruchs konnten jedoch keine Hinweise auf etwaige positive Effekte, wie Verbesserung kognitiver Leistungen oder Entspannung gefunden werden. Derartige Effekte, die zeigen die Erkenntnisse der anderen W4G-Experimente, treten wahrscheinlich nur auf, wenn Holz bzw. Holzprodukte ganzheitlich und multisensorisch wirken können. Auch hier liefern die Erkenntnisse aus W4G Anknüpfungspunkte für weitere wissenschaftliche Studien, die komplexere Simulationen von kontrollierten Innenraumluftbedingungen untersuchen sollten. Es ist zu vermuten, dass in entsprechenden Versuchsszenarien, also mit visueller Wahrnehmung von Holz, unter Stress bzw. Arbeitsdruck oder bei kreativen Aufgaben positive Effekte zu Tage treten könnten.

5 Fazit

Neurophysiologische Verarbeitung von Holzgerüchen

Auch wenn Holz in der europäischen Bevölkerung generell als positiv bewertet wird (Ramatsteiner et al. 2007), so können unsere Experimente und andere experimentelle Studien, die Holzgerüche über Olfaktometer oder in Beuteln präsentieren nicht grundsätzlich eine angenehme Bewertung des Holzgeruches oder seiner Einzelkomponenten (α -Pinen) finden (Schreiner et al. 2020). In dieser Studie verweisen die Autor:innen auch auf die Bedeutung weiterer auditorischer oder visueller Stimuli, um vor allem die positiven Effekte von Holz experimentell zu untersuchen. Der Nachweis der „ergänzenden“ Wirkung einer kongruenten visuellen Information („Holzbild“) auf die Hedonik ist in den Experimenten gelungen, und zwar spezifisch für den Kiefernholzgeruch und nicht für den ebenfalls angenehmen Geruch von Citral. Nicht der Geruch allein oder ein einzelnes VOC sind für Geruchswirkungen verantwortlich – vor allem bei der positiven Wirkung von Holz auf Gesundheit und Wohlbefinden spielt die Umgebung eine wesentliche Rolle. Dafür sprechen auch die vielen Studien, die vor allem in Holzhäusern oder mit Holzprodukten durchgeführt wurden (Übersicht in Burnard und Kutnar 2015). Die kontextunabhängige Präsentation von Gerüchen zu Bewertungszwecken kann somit nicht die tatsächlichen Wirkungen beim Nutzer von Holzprodukten widerspiegeln. Die Auswirkungen von Holzgerüchen, auch neurophysiologische Prozesse, sind kaum untersucht. In einer aktuellen Studie mittels funktioneller Nahinfrarotspektroskopie (fNIRS) konnten Kim und Song (2024) zeigen, dass der Geruch der Mandschurischen Tanne (*Abies holophylla*) regionale Veränderungen der Hirngewebeoxygenierung (Versorgung mit Sauerstoff in aktivierten Gehirnarealen) bewirkte, die auf Entspannungsprozesse hinweisen (Kim und Song 2024). Die im W4G-Projekt gewonnenen Erkenntnisse aus den EEG-Ergebnissen zeigen, dass eine nicht kongruente Umgebung, wie sie bei der Geruchsprüfung häufig vorliegt, zu weiteren, zentralnervösen Verarbeitungsschritten führt, die mit der Auflösung eines Konflikts zusammenhängen. Aus diesen „Zusatz-Prozessen“ resultieren möglicherweise negative Verzerrungen der Geruchsbewertung von Holzprodukten, wenn nur Geruchsproben aus Beuteln präsentiert werden. Diese multisensorischen „Zusatz-Prozesse“ können speziellen Gehirnbereichen zugeordnet werden, die an der zentralnervösen Verarbeitung von Gerüchen beteiligt sind (Kehl et al. 2024). So werden Neurone im piriformen Kortex nicht nur durch den „reinen Geruch“ aktiviert, auch die Vorstellung des Geruches und das Wort, das den Geruch beschreibt, aktivieren dieses spezifische „Geruchsareal“. Die kontextfreie, rein olfaktorische Stimulation durch einzelne VOCs oder deren Gemische kann also im Gehirn nur eingeschränkt eine vollständige Geruchswirkung und -identifizierung entfalten, da wesentliche Rahmenbedingungen nicht integriert werden können. Die EEG-Ergebnisse legen darüber hinaus die Vermutung nahe, dass unpassende Rahmenbedingungen negative Bewertungen eines Geruchs wahrscheinlicher machen. Kehl et al. (2024) zeigten darüber hinaus, dass die Amygdala, die für eine emotionale Bewertung eines Geruches (u. a. Ekel-erregender Geruch, Geruchsbelästigung) verantwortlich ist, die neuronale Repräsentation von Geruchsintensität und -valenz zusammenführen muss, um Gerüche abschließend zu bewerten. Unter neurowissenschaftlichen Gesichtspunkten ist daher die ausschließliche Fokussierung auf Geruchsintensitäten oder -schwellen bei der Vermeidung von Geruchsbelästigungen zweifelhaft. Zusammen mit den EEG-Ergebnissen dieses Projektes muss der gesundheitliche Nutzen einer zusätzlichen Geruchsbewertungen von Bauprodukten oder der Innenraumluft in der aktuellen Form kritisch hinterfragt werden.

Geruchsbewertungen von Bauprodukten

Ein Geruch allein führt nicht zu einer gesundheitlichen Beeinträchtigung (Greenberg et al. 2013), solange die Richtwerte für einzelne VOCs nicht überschritten werden. Inwiefern Geruchsbewertungen von Bauprodukten oder der Innenraumluft einen zusätzlichen Mehrwert liefern können, der einen signifikanten gesundheitlichen Nutzen für die Bewohner hervorbringt, bleibt ungewiss:

Die Verwendung der Intensität als Kriterium für die Geruchsbewertung von Baumaterialien (AgBB 2024, Blauer Engel 2016) erscheint fragwürdig. Gerüche, die mit der gleichen Intensität bewertet werden (z. B. Kiefer_{hoch} vs. OSB_{Ki-niedrig}), werden hinsichtlich der Hedonik unterschiedlich wahrgenommen. Eine Zunahme der Intensität entspricht nicht unbedingt einem unangenehmeren Geruchseindruck (Moskowitz 1976). Vielmehr wird der Geruchseindruck durch die VOC-Zusammensetzung des Geruchs bestimmt. Darüber hinaus werden Gerüche primär nach ihren hedonischen Eigenschaften bewertet (Yeshurun et al. 2010). Die hedonische Bewertung wird jedoch von verschiedenen Faktoren beeinflusst und kann, wie in den Versuchen gezeigt, leicht manipuliert werden (Bontempi et al. 2024). Der Mehrwert einer Geruchsprüfung von Bauprodukten, die gemäß ISO DIN 16000-28:2021 ohne Kontext in einer sterilen Laborumgebung durchgeführt wird, erscheint unzureichend. Hinzu kommt, dass in Innenräumen typischerweise verschiedene Materialien verwendet werden, die sich sowohl in ihrem Emissions- als auch in ihrem Sorptionsverhalten unterscheiden und miteinander interagieren. Dies führt zu veränderten Gerüchen und damit auch zu veränderten Geruchsbewertungen (Senitkova 2014, Sakr 2006). Daher sind Rückschlüsse von einzelnen Produkten auf die reale Situation in Innenräumen nur bedingt möglich.

Geruchliche Bewertung der Innenraumluft

Die Verwendung der Konzentration einzelner Stoffe als Grundlage für die Geruchsbewertung von Innenräumen (AIR 2023c) erscheint ebenfalls fragwürdig. Gerüche bestehen typischerweise aus einer Vielzahl unterschiedlicher Einzelsubstanzen. Die Geruchswahrnehmung (Geruchsqualität, Geruchsidentifikation und Hedonik) dieser Mischungen kann sich von der der Einzelsubstanzen unterscheiden (Coureaud et al. 2022, Stübner et al. 2023, Ma et al. 2020, Jinks und Laing 2001). Beispielsweise waren die Konzentrationen an gesättigten Aldehyden in Kiefer_{hoch} und OSB_{Ki-gering} vergleichbar. Allerdings scheint der hohe zusätzliche Terpengehalt im Kiefergeruch zu einem deutlich angenehmeren Geruchseindruck zu führen als der von OSB_{Ki-gering}. In diesem Zusammenhang ist es auch fraglich, ob Geruchsaspekte bei der Ableitung von Richtwerten berücksichtigt werden sollten. Im Falle der gesättigten Aldehyde wurde bei der Ableitung von RW I aus RW II ein zusätzlicher Unsicherheitsfaktor (2) berücksichtigt, der die niedrige Geruchsschwelle von Aldehyden und den teilweise unangenehmen Geruchseindruck berücksichtigt (Tabelle 1). Wie gezeigt wurde, sollte jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass diese Aldehyde per se als unangenehm empfunden werden. Es kommt auch darauf an, mit welchen anderen VOCs die Aldehyde vorhanden sind.

Gesundheitsbeschwerden von Bewohnern werden manchmal auf Innenraumgerüche zurückgeführt. Diese Beschwerden hängen jedoch oft eher mit negativen Erwartungen oder Bedenken über mögliche Gesundheitsrisiken zusammen als mit dem Geruch selbst (Greenberg et al. 2013, Dalton 1999). Beim Bauen mit Holzprodukten kann es vorteilhaft sein, Holzbaustoffe teilweise sichtbar zu machen, auch wenn sie normalerweise in Wänden verborgen sind. Ein kongruenter visueller Kontext hilft, die Geruchsquelle zu erkennen und lässt Holzgerüche vertrauter und angenehmer erscheinen, insbesondere bei Massivholz. Es ist jedoch nicht unbedingt erforderlich, dass die Informationen visuell vermittelt werden, da auch die bloße Nennung der Geruchsquelle den Geruchseindruck moduliert (Yamanaka et al. 2009). Die Konnotation der Produkte scheint ein entscheidender Faktor zu sein.

Psychologischer Kontext

Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchung zeigen teils überraschende Befunde, die jedoch nicht überinterpretiert werden sollten. Sie deuten darauf hin, dass der Mensch grundsätzlich beeinflussbar ist – eine Eigenschaft, die sowohl Vorteile als auch Nachteile birgt. Dieses Prinzip liegt auch den bekannten Effekten wie dem Placebo- und Nocebo-Effekt zugrunde.

Ein zentraler Punkt der Ergebnisse ist die Bedeutung der Informationsvermittlung. Es zeigt sich, dass eine neutrale Informationsweitergabe wenig Wirkung entfaltet und im schlimmsten Fall sogar kontraproduktiv sein kann. Dies widerspricht der Annahme, dass Neutralität die optimale Form der Kommunikation darstellt. Ein Beispiel hierfür ist die Vermarktung von Zirbenholzprodukten: Durch wiederholte Behauptungen über positive

Gesundheitseffekte – unabhängig von deren tatsächlichen Evidenz – wird die Wahrnehmung dieser Produkte gezielt beeinflusst. Die Konsumenten sind dann überzeugt, von Vorteilen wie verbessertem Schlaf zu profitieren, was das Kaufverhalten nachhaltig prägt.

Im Bereich der Bauprodukte zeigt sich eine ähnliche Dynamik. Bauprodukte werden häufig mit negativen Gesundheitskonnotationen verbunden, was auch durch Ergebnisse des ODOR-IAT (Implicit Association Test) gestützt wird. Die Wahrnehmung von Bauprodukten wird oft mit unangenehmen oder störenden Gerüchen assoziiert. Demgegenüber wird Vollholz tendenziell positiver wahrgenommen als Holzwerkstoffe, was sowohl durch Literaturbefunde als auch die Hedonik-Bild-Ergebnisse untermauert wird. Allerdings zeigt sich, dass auch Vollholz nach gezielter Einflussnahme durch Videos signifikant negativer bewertet wird. Dies verdeutlicht, dass es keine objektive Hedonikbewertung gibt, da diese stark durch äußere Manipulation beeinflussbar ist.

Ein zukunftsweisender Ansatz könnte darin bestehen, die Aufklärung nicht auf technische Details wie VOC-Emissionen oder Gerüche zu fokussieren, sondern auf die grundlegenden Mechanismen der menschlichen Wahrnehmung. Menschen sollten darüber informiert werden, wie leicht Empfindungen, Wahrnehmungen und Entscheidungen manipulierbar sind, und dass diese nicht immer rational erfolgen. Nur so lässt sich ein bewusster Umgang mit Beeinflussung und deren Konsequenzen fördern.

Gesundheitliche oder entspannende Effekte bei akuten Expositionen

Kiefernholzemissionen werden von VOCs dominiert, die der Gruppe der bizyklischen Terpene zuzuordnen sind, sodass die entsprechenden Richtwerte entscheidend für die Nutzung von Kiefernholz als Baumaterial sind. Der Richtwert II wird aus toxikologischen Studien abgeleitet und berücksichtigt überwiegend Endpunkte chronischer Expositionen, da nur so die langfristige gesundheitliche Unschädlichkeit der VOCs in Innenräumen für den Nutzer sichergestellt werden können. Beim Richtwert I handelt es sich – nach Aussage der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte – ebenfalls um einen gesundheitlich begründeten Richtwert, der um den Faktor 10 oder 20 (siehe Tabelle 1) unter dem RW II liegt und auch dem Schutz vor Geruchsbelästigungen dient. Im Konzentrationsbereich zwischen den beiden Richtwerten wird dennoch eine Gesundheitsgefährdung vermutet, da eine Überschreitung der Grenzwerte Maßnahmen zur weiteren Reduktion möglicher Emissionsquellen nach sich ziehen. Bei den bizyklischen Terpenen ist der Endpunkt der Richtwertableitung eine alveolare Entzündungsreaktion die bei acht gesunden Versuchspersonen, die kontrolliert gegenüber Mischexpositionen von α -Pinen, β -Pinen, and 3-Caren im Mischungsverhältnis von 10:1:5 von 450 mg m^{-3} exponiert waren, auftraten. Durch die Nutzung verschiedener Faktoren wurde ein RW II von 2 mg m^{-3} abgeleitet, der als Gemischkonzentration für die bizyklischen Terpene, also den überwiegenden Teil der Kiefernholz-VOCs gilt. Eine chemosensorische Wahrnehmung und Wirkung ist in diesem Konzentrationsbereich unwahrscheinlich, aber nicht ausgeschlossen (siehe allgemeine RW I Begründung), empirisch aber bisher nicht untersucht. Im W4G Projekt sollten in diesem Konzentrationsbereich auch etwaige positive Wirkungen von Kiefernholz-VOCs, die in anderen Studien mit Holz und Holzgerüchen berichtet wurden, aber bisher nicht Gegenstand experimenteller Expositionstudien waren, untersucht werden. Mit einer etablierten und sensitiven Untersuchungsmethodik konnten keine akuten Effekte im Sinne sensorischer Irritationen (adverser Effekt in der Toxikologie) gefunden werden, aber auch keine Hinweise auf eine entspannende oder leistungsförderliche Wirkung des schwach wahrgenommenen Holzgeruches. Dabei waren die Ergebnisse für RW I und RW II nahezu identisch und es stellt sich die Frage, welchen Nutzen der konventionsgemäße Faktor 10 für die Vermeidung hygienisch unerwünschter Belastung oder Geruchsbelästigungen bei Kiefernholz-typischen Emissionen besitzt. Der RW I dient also in diesem Fall nicht der Vermeidung von Effekten, sondern es handelt sich um eine Konzentrationsreduktion, die keinen Einfluss auf geruchsbedingte Wahrnehmungen hat.

Die ausbleibenden positiven Effekte lassen sich wahrscheinlich mit den Ergebnissen erklären, die in den anderen W4G-Experimenten gewonnen wurden, da mit den Holz-VOCs nur der reine Geruch präsentiert wurde. Der visuelle Kontext spielt eine wesentliche Rolle bei den Wirkungen, die (Kiefern)holz auf den Menschen entfaltet. Es ist daher wahrscheinlich, dass erst die multisensorische Wahrnehmung von Holz zu Effekten führt, die

physiologisch messbar sind und Wirkungen auf das Wohlbefinden der Raumnutzer:innen besitzen könnten. Die im Ergebnisteil dargestellten und bereits diskutierten Unterschiede zwischen Stichproben oder Untergruppen, die an identischen Experimenten teilgenommen haben, zeigen auch, dass interindividuelle Unterschiede einen sehr deutlichen Einfluss auf alle Effekte haben, die durch Gerüche ausgelöst werden können. Diese Unterschiede sind auch bei einer sehr differenzierten Charakterisierung der Stichproben nicht vorhersagbar.

Abschlussfazit

Die Wirkung von Gerüchen auf den Menschen ist ein komplexes Zusammenspiel von Geruchsstoffkonzentration, dem Kontext der Geruchswahrnehmung, den ausgelösten Emotionen und Erinnerungen und weiteren, teils unbekannten Eigenschaften der Geruchsrezipient:innen. Es steht weiterhin außer Zweifel, dass bestimmte Gerüche oder Geruchsstoffe positive Wirkungen auf den Menschen haben, wobei eine gesundheitsförderliche Wirkung nach dem bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand nicht als gesichert angenommen werden kann. Dennoch gibt es gerade bei Holzprodukten, Wäldern und urbanem Grün zunehmend Hinweise auf derartige Effekte. Wird also der Geruch auf die minimale Beschreibungsdimension „Geruchsintensität“ reduziert und diese Dimension zu regulatorischen Zwecken genutzt, dann wird dieses sensorische Phänomen, das eine evolutionäre Bedeutung für den Menschen hat (vgl. Stevenson 2010), nicht hinreichend berücksichtigt.

Literaturverzeichnis

- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte (2009): Richtwerte für gesättigte azyklische aliphatische C4- bis C11-Aldehyde in der Innenraumluft. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 52 (6), S. 650–659. DOI: 10.1007/s00103-009-0860-2
- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte (2010a): Richtwerte für Benzaldehyd in der Innenraumluft. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 53 (6), S. 636–640. DOI: 10.1007/s00103-010-1090-3
- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte (2010b): Richtwerte für monocyclische Monoterpen (Leitsubstanz d-Limonen) in der Innenraumluft. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 53 (11), S. 1206–1215. DOI: 10.1007/s00103-010-1155-3
- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte (2011): Richtwerte für 2-Furaldehyd in der Innenraumluft. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 54 (4), S. 510–515. DOI: 10.1007/s00103-011-1251-z
- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte (2012): Richtwerte für die Innenraumluft: erste Fortschreibung des Basisschemas. *Bundesgesundheitsblatt* 55:279–290. DOI 10.1007/s00103-011-1420-0
- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte (2012a): Richtwerte für C9 - C15-Alkylbenzole in der Innenraumluft. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 55 (9), S. 1201–1214. DOI: 10.1007/s00103-012-1524-1
- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte (2012b): Richtwerte für die Innenraumluft: erste Fortschreibung des Basisschemas. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 55 (2), S. 279–290. DOI: 10.1007/s00103-011-1420-0
- Ad-hoc-Arbeitsgruppe IRK/AGLMB (1996): Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema. In: *Bundesgesundhbl.* 39, S. 422–426, zuletzt geprüft am 17.07.2024
- AgBB (2024) – Bewertungsschema für VOC aus Bauprodukten; Stand September 2024 Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/agbb-bewertungsschema-2024>, zuletzt geprüft am 13.01.2025
- AIR (2020): Rundungsregeln für die Anwendung von Richt- und Leitwerten des Ausschusses für Innenraumrichtwerte. Ausschuss für Innenraumrichtwerte. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 63 (3), S. 368–369. DOI: 10.1007/s00103-019-03090-x
- AIR (2023a): Festgelegte Richtwerte vom Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR). Version: 2023.01 (31.03.2023). Ausschuss für Innenraumrichtwerte. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de>, zuletzt geprüft am 15.07.2024
- AIR (2023b): Richtwerte für Methansäure, Ethansäure und Propansäure in der Innenraumluft. Ausschuss für Innenraumrichtwerte. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 66 (4), S. 460–475. DOI: 10.1007/s00103-023-03672-w
- AIR (2023c): Bewertung von Geruchsstoffen in der Innenraumluft – Weiterentwicklung des Geruchsleitwerte-Konzeptes des AIR. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 66(4):452–9. <https://doi.org/10.1007/s00103-023-03682-8>.
- Alyan, E.; Wascher, E.; Arnau, S.; Kaesemann, R.; Reiser, J. E. (2023): Operator State in a Workplace Simulation Modulates Eye-Blink Related EEG Activity. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 31, 1167–1179. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2023.3241962>
- Araujo, I. E. de; Rolls, E. T.; Velazco, M. I.; Margot, C.; Cayeux, I. (2005): Cognitive modulation of olfactory processing. In: *Neuron* 46 (4), S. 671–679. DOI: 10.1016/j.neuron.2005.04.021
- Bailer, J.; Witthöft, M.; Rist, F. (2006): The Chemical Odor Sensitivity Scale: Reliability and validity of a screening instrument for idiopathic environmental intolerance. *Journal of Psychosomatic Research*, 61(1), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2005.11.005>
- Bartsch, J.; Uhde, E.; Salthammer, Tunga (2016): Analysis of odour compounds from scented consumer products using gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography-olfactometry. In: *Analytica Chimica Acta* 904, S. 98–106. DOI: 10.1016/j.aca.2015.11.031

- Benjamini, Y.; Hochberg, Y. (1995): Controlling The False Discovery Rate - A Practical And Powerful Approach To Multiple Testing. In: *Journal of the Royal Statistical Society: Series B* 57 (1), S. 289–300. DOI: 10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x
- Bentley, P. R.; Fisher, J. C.; Dallimer, M.; Fish, R. D.; Austen, G. E.; Irvine, K. N.; Davies, Z. G. (2023): Nature, smells, and human wellbeing. *Ambio*, 52(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s13280-022-01760-w>
- Birmili, W.; Daniels, A.; Bethke, R. (2022): Formaldehyde, aliphatic aldehydes (C2-C11), furfural, and benzaldehyde in the residential indoor air of children and adolescents during the German Environmental Survey 2014–2017 (GerES V). *Indoor Air*; 32:e12927
- Blauer Engel (2016): Emissionsarme plattenförmige Werkstoffe (Bau- und Möbelplatten) für den Innenausbau DE-UZ 76
- Bontempi, C.; Brand, G.; Jacquot, L. (2024): Variability in odor hedonic perception: A challenge for neurosensory and behavioral research. In: *Behavioral neuroscience* 138 (5), S. 301–313. DOI: 10.1037/bne0000595
- Borkenau, P.; Ostendorf, F. (2007): NEO-Fünf-Faktoren-Inventar nach Costa und McCrae (NEO-FFI). 2. neu normierte und vollständig überarb. Aufl. Göttingen: Hogrefe
- Bratman, G. N.; Bembibre, C.; Daily, G. C.; Doty, R. L.; Hummel, T.; Jacobs, L. F.; Kahn, P. H.; Lashus, C.; Majid, A.; Miller, J. D.; Oleszkiewicz, A.; Olvera-Alvarez, H.; Parma, V.; Riederer, A. M.; Sieber, N. L.; Williams, J.; Xiao, J.; Yu, C.-P.; Spengler, J. D. (2024): Nature and human well-being: The olfactory pathway. *Science Advances*, 10(20), eadn3028. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adn3028>
- Breyer, B.; Bluemke, M. (2016): Deutsche Version der Positive and Negative Affect Schedule PANAS (GESIS Panel)
- Bulsing, P. J.; Smeets, M. A. M.; van den Hout, M. A. (2009): The implicit association between odors and illness. In: *Chem Senses* 34 (2), S. 111–119. DOI: 10.1093/chemse/bjn062
- Butter, K.; Ohlmeyer, M. (2021): Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen von Holz und Holzwerkstoffen. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut (Thünen-Rep, 86), zuletzt geprüft am 06.09.2024
- Cohen, J. (1992): A power primer. In: *Psychological bulletin* 112 (1), S. 155–159. DOI: 10.1037/0033-2909.112.1.155
- Coureaud G., Thomas-Danguin T., Sandoz J.-C., Wilson D. A. (2022): Biological constraints on configural odour mixture perception. *J Exp Biol*; 225(6). <https://doi.org/10.1242/jeb.242274>.
- Chiu, I.M., von Hehn, C.A., Woolf, C.J. (2012): Neurogenic inflammation and the peripheral nervous system in host defense and immunopathology. *Nat Neurosci* 15, 1063–1067. <https://doi.org/10.1038/nn.3144>
- Dalton P. (1999): Cognitive Influences on health symptoms from acute chemical exposure. *Health Psychol*; 18(6):579–90. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.18.6.579>
- Dalton, P. (2000): Psychophysical and Behavioral Characteristics of olfactory Adaptation. In: *Chem Senses* 25 (4), S. 487–492. DOI: 10.1093/chemse/25.4.487
- Delorme, A.; Makeig, S. (2004): EEGLAB: An open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134(1), 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2003.10.009>
- Destatis - Statistisches Bundesamt (2024): Baugenehmigungen neuer Gebäude: Bundesländer, Jahre 2015–2023, Gebäudeart, überwiegend verwendeter Baustoff. Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/>, zuletzt geprüft am 11.07.2024
- DIN EN ISO 16000-9:2008: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 9: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen - Emissionsprüfкамmer-Verfahren (ISO 16000-9:2006); Deutsche Fassung EN ISO 16000-9:2006
- DIN ISO 16000-6:2022: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 6: Bestimmung organischer Verbindungen (VVOC, VOC, SVOC) in Innenraum- und Prüfkammerluft durch aktive Probenahme auf Adsorptionsröhren, thermischer Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID (ISO 16000-6:2021)
- DIN ISO 16000-28:2021: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 28: Bestimmung der Geruchsstoffemissionen aus Bauprodukten mit einer Emissionsprüfкамmer (ISO 16000-28:2020)
- Distel, H.; Hudson, R. (2001): Judgement of Odor Intensity is Influenced by Subjects' Knowledge of the Odor Source. In: *Chem Senses* 26 (3), S. 247–251. DOI: 10.1093/chemse/26.3.247
- Djordjevic, J.; Lundstrom, J. N.; Clément, F.; Boyle, J. A.; Pouliot, S.; Jones-Gotman, M. (2008): A rose by any other name: would it smell as sweet? In: *Journal of neurophysiology* 99 (1), S. 386–393. DOI: 10.1152/jn.00896.2007

- Falk, A.A., Hagberg, M.T., Lof, A.E., Wigaeus-Hjelm, E.M., Wang, Z.P. (1990): Uptake, distribution and elimination of alpha-pinene in man after exposure by inhalation. *Scand J Work Environ Health* 16, 372–378
- Friedrich, S.; Pauly, M. (2018): MATS: Inference for potentially singular and heteroscedastic MANOVA. *Journal of Multivariate Analysis*, 165, 166–179. <https://doi.org/10.1016/j.jmva.2017.12.008>
- Friedrich, S.; Konietzschke, F.; Pauly, M. (2019): Resampling-Based Analysis of Multivariate Data and Repeated Measures Designs with the R Package MANOVA.RM. *The R Journal*, 11(2), 380. <https://doi.org/10.32614/RJ-2019-051>
- Friedrich, S.; Konietzschke, F.; Pauly, M. (2023): MANOVA.RM: Resampling-Based Analysis of Multivariate Data and Repeated Measures Design. R package version 0.5.4. <https://CRAN.R-project.org/package=MANOVA.RM>. Version R package version 0.5.4. Online verfügbar unter <https://CRAN.R-project.org/package=MANOVA.RM>
- Fromme, H.; Debiak, M.; Sagunski, H.; Röhl, C.; Kraft, M.; Kolossa-Gehring, M. (2019): The German approach to regulate indoor air contaminants. In: *International journal of hygiene and environmental health* 222 (3), S. 347–354. DOI: 10.1016/j.ijheh.2018.12.012
- Fürhapper C.; Habla E.; Stratev D.; Weigl M.; Dobianer K. (2020): Living Conditions in Timber Houses: Emission Trends and Indoor Air Quality. *Front. Built Environ.*; 5. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.00151>
- Gallus V.; Hucke C. I.; Butter K.; Ohlmeyer M.; van Thriel C. (2024): Translation and validation of the Nature Relatedness Scale to German. *Front. Psychol.* 15:1507983. doi: 10.3389/fpsyg.2024.1507983
- Ghadiriasli, R.; Wagenstaller, M.; Buettner, A. (2018): Identification of odorous compounds in oak wood using odor extract dilution analysis and two-dimensional gas chromatography-mass spectrometry/olfactometry. In: *Analytical and bioanalytical chemistry* 410 (25), S. 6595–6607. DOI: 10.1007/s00216-018-1264-7
- Gold, S.; Rubik, F. (2009): Consumer attitudes towards timber as a construction material and towards timber frame houses – selected findings of a representative survey among the German population. In: *Journal of Cleaner Production* 17 (2), S. 303–309. DOI: 10.1016/j.jclepro.2008.07.001
- Green, B. G.; Dalton, P.; Cowart, B.; Shaffer, G.; Rankin, K.; Higgins, J. (1996): Evaluating the „labeled magnitude scale“ for measuring sensations of taste and smell. *Chemical Senses*, 21(3), 323–334
- Greenberg M. I., Curtis J. A., Vearrier D. (2013): The perception of odor is not a surrogate marker for chemical exposure: a review of factors influencing human odor perception. *Clin Toxicol (Phila)* 51(2):70–6. <https://doi.org/10.3109/15563650.2013.767908>
- Greenwald, A. G.; McGhee, D. E.; Schwartz, J. L. (1998): Measuring individual differences in implicit cognition: the implicit association test. In: *Journal of personality and social psychology* 74 (6), S. 1464–1480. DOI: 10.1037/0022-3514.74.6.1464
- Greenwald, A. G.; Brendl, M.; Cai, H.; Cvencek, D.; Dovidio, J. F.; Friese, M. (2022): Best research practices for using the Implicit Association Test. In: *Behavior research methods* 54 (3), S. 1161–1180. DOI: 10.3758/s13428-021-01624-3
- Grosch, W. (1987): Reactions of hydroperoxides-products of low molecular weight. In: H. W.-S. Chan (Hg.): *Autoxidation of unsaturated lipids*. London: Academic Press, S. 95–140
- Gunnarsen, L.; Fanger, P. O. (1992): Adaptation to indoor air pollution. In: *Environment international* 18 (1), S. 43–54. DOI: 10.1016/0160-4120(92)90209-M
- Harmony, T. (2013): The functional significance of delta oscillations in cognitive processing. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnint.2013.00083>
- Herz, R. S.; Clef, J. von (2001): The influence of verbal labeling on the perception of odors: evidence for olfactory illusions? In: *Perception* 30 (3), S. 381–391. DOI: 10.1088/p3179
- Høibø, O.; Hansen, E.; Nybakk, E.; Nygaard, M. (2018): Preferences for Urban Building Materials: Does Building Culture Background Matter? In: *Forests* 9 (8). DOI: 10.3390/f9080504
- Homewood, J.; Stevenson, R. J. (2001): Differences in naming accuracy of odors presented to the left and right nostrils. In: *Biological Psychology* 58 (1), S. 65–73
- Hummel, T.; Sekinger, B.; Wolf, S. R.; Pauli, E.; Kobal, G. (1997): „Sniffin“ sticks'. Olfactory performance assessed by the combined testing of odor identification, odor discrimination and olfactory threshold. *Chemical Senses*, 22(1), 39–52. <https://doi.org/10.1093/chemse/22.1.39>
- Iregren, A.; Gamberale, F.; Kjellberg, A. (1996): SPES: A psychological test system to diagnose environmental hazards. *Neurotoxicology and Teratology*, 18(4), 485–491. [https://doi.org/10.1016/0892-0362\(96\)00033-5](https://doi.org/10.1016/0892-0362(96)00033-5)

- Jinks A., Laing D. G. (2002): The analysis of odor mixtures by humans: evidence for a configurational process;72(1-2):51–63. [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(00\)00407-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(00)00407-8)
- Jonsson, O.; Lindberg, S.; Roos, A.; Hugosson, M.; Lindström, M. (2008): Consumer Perceptions and Preferences on Solid Wood, Wood-Based Panels, and Composites: A Repertory Grid Study. In: *Wood and Fiber Science* 40 (4), S. 663–678, zuletzt geprüft am 24.07.2020
- Joussain, P., Rouby, C., Bensafi, M. (2014): A pleasant familiar odor influences perceived stress and peripheral nervous system activity during normal aging. *Frontiers in Psychology* 5, 113. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00113>
- Khan, R.M., Luk, C.-H., Flinker, A., Aggarwal, A., Lapid, H., Haddad, R., Sobel, N. (2007): Predicting Odor Pleasantness from Odorant Structure: Pleasantness as a Reflection of the Physical World. *Journal of Neuroscience* 27, 10015–10023. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1158-07.2007>
- Kasper, P. L.; Oxbøl, A.; Hansen, M. J.; Feilberg, A. (2018): Mechanisms of Loss of Agricultural Odorous Compounds in Sample Bags of Nalophan, Tedlar, and PTFE. In: *Journal of environmental quality* 47 (2), S. 246–253. DOI: 10.2134/jeq2017.07.0289
- Kehl, M. S.; Mackay, S.; Ohla, K.; Schneider, M.; Borger, V.; Surges, R.; Spehr, M.; Mormann, F. (2024): Single-neuron representations of odours in the human brain. *Nature*, 634(8034), 626–634. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08016-5>
- Kiesswetter, E. (1999): Questionnaire of chemical and general environmental sensitivity (CGES). *Allergologie*, 12, 719–735
- Kim, C.; Song, C. (2024): Effect of Wood Scent Inhalation on Brain Activity: Focusing on A Multi-Channel Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS). *Journal of People, Plants, and Environment*, 27(4), 319–327. <https://doi.org/10.11628/ksppe.2024.27.4.319>
- Kumpulainen, S., Kilpiäinen, M., Koski, J., Pesola, A.J. (2024): Wooden Interiors Improve Heart Rate Variability-Derived Psychophysiological Well-Being: An Acute Cross-Over Study. *Environment and Behavior* 56, 155–178. <https://doi.org/10.1177/00139165241270631>
- Kuznetsova, A.; Brockhoff, P. B.; Christensen, R. H. B. (2017): ImerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. In: *Journal of Statistical Software* 82 (13), S. 1–26. DOI: 10.18637/jss.v082.i13
- Langer S., Ramalho O., Derbez M., Ribéron J., Kirchner S., Mandin C. (2016): Indoor environmental quality in French dwellings and building characteristics. *Atmospheric Environment*; 128:82–91. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.12.060>
- Langer, S.; Ramalho, O.; Le Ponner, E.; Derbez, M.; Kirchner, S.; Mandin, C. (2017): Perceived indoor air quality and its relationship to air pollutants in French dwellings. In: *Indoor air* 27 (6), S. 1168–1176. DOI: 10.1111/ina.12393
- Leipzig Corpora Collection: Deutsches Nachrichten-Korpus basierend auf Texten von 2022 mit 31.774.802 Sätzen. Datensatz. Online verfügbar unter https://corpora.uni-leipzig.de?corpusId=deu_news_2022, zuletzt geprüft am 02.06.2023
- Lenth, R. V. (2023): emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.8.7. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>. Version R package version 1.8.7. Online verfügbar unter <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- Li, J.; Wu, J.; Lam, Frank; Zhang, C.; Kang, J.; Xu, H. (2021): Effect of the degree of wood use on the visual psychological response of wooden indoor spaces. In: *Wood Sci Technol* 55 (5), S. 1485–1508. DOI: 10.1007/s00226-021-01320-7
- Lim, J.; Wood, A.; Green, B. G. (2009): Derivation and Evaluation of a Labeled Hedonic Scale. *Chemical Senses*, 34(9), 739–751. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjp054>
- LimeSurvey GmbH.: LimeSurvey: An open source survey tool. Online verfügbar unter <https://www.limesurvey.org>
- Lipovac, D.; Burnard, M. D. (2021): Effects of visual exposure to wood on human affective states, physiological arousal and cognitive performance: A systematic review of randomized trials. *Indoor and Built Environment*, 30(8), 1021–1041. <https://doi.org/10.1177/1420326X20927437>
- Lüdecke, D.; Ben-Shachar, M. S.; Patil, I.; Waggoner, P.; Makowski, D. (2021): performance. An R Package for Assessment, Comparison and Testing of Statistical Models. In: *Journal of Open Source Software* 6 (60), S. 3139. DOI: 10.21105/joss.03139
- Ma Y., Tang K., Thomas-Danguin T., Xu Y. (2020): Pleasantness of Binary Odor Mixtures: Rules and Prediction. *Chem Senses*;45(4):303–11. <https://doi.org/10.1093/chemse/bja020>

- Makowski, M.; Ohlmeyer, M.; Meier, D. (2005): Long-term development of VOC emissions from OSB after hot-pressing. *Holzforschung* 59 (5), S. 519–523. DOI: 10.1515/HF.2005.086
- Manescu, S.; Frasnelli, J.; Lepore, F.; Djordjevic, J. (2014): Now you like me, now you don't: impact of labels on odor perception. In: *Chem Senses* 39 (2), S. 167–175. DOI: 10.1093/chemse/bjt066
- Mantau, U.; Döring, P.; Hiller, D. (2013): Holzeinsatz im Bauwesen – Verwendungsstrukturen nach Gebäuden und Gewerken. In: Holger W. und Dominik J. (Hg.): Holzverwendung im Bauwesen – Eine Marktstudie im Rahmen der „Charta für Holz“. Johann Heinrich von Thünen-Institut (Thünen Report, 9), 70 S.
- Maris, E.; Oostenveld, R. (2007): Nonparametric statistical testing of EEG- and MEG-data. *Journal of Neuroscience Methods*, 164(1), 177–190. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2007.03.024>
- Mergel, C.; Menrad, K.; Decker, T. (2024): Which factors influence consumers' selection of wood as a building material for houses? In: *Can. J. For. Res.* 54 (4), S. 467–478. DOI: 10.1139/cjfr-2023-0197
- Michels, N.; Boudrez, S.; Lamprea Pineda, P. A.; Walgraeve, C. (2023): Nature-Related Odors Influence Stress and Eating Behavior: A Laboratory Experiment With Pine and Grass Volatiles. *Environment and Behavior*, 55(6–7), 433–467. <https://doi.org/10.1177/00139165231201608>
- Morrot, G.; Brochet, F.; Dubourdieu, D. (2001): The Color of Odors. In: *Brain and Language* 79 (2), S. 309–320. DOI: 10.1006/brln.2001.2493
- Moskowitz, H. R.; Dravnieks, A.; Klarman, Leon A. (1976): Odor intensity and pleasantness for a diverse set of odorants. In: *Perception & Psychophysics* 19, S. 122–128. DOI: 10.3758/BF03204218
- Nakamura, M.; Ikeyi, H.; Miyazaki, Y. (2019): Physiological effects of visual stimulation with full-scale wall images composed of vertically and horizontally arranged wooden elements. In: *J Wood Sci* 65 (55). DOI: 10.1186/s10086-019-1834-0
- Nakashima, T.; Sun, M.; Honden, A.; Yoshimura, Y.; Nakagawa, T.; Ishikawa, H.; Nagano, J.; Yamada, Y.; Okamoto, T.; Watanabe, Y.; Yasunari, S.; Ohnuki, K.; Fujimoto, N.; Shimizu, K. (2013): Effects of volatile sesquiterpenes from Japanese cedarwood on visual processing in the human brain: an event-related potential study. *Journal of Wood Science* 69:15, DOI: 10.1186/s10086-023-02083-4
- Nakayama, Y.; Suzuki, N.; Nakaoka, H.; Tsumura, K.; Takaguchi, K.; Takaya, K.; Hanazato, M.; Todaka, E.; Mori, C. (2021): Assessment of Personal Relaxation in Indoor-Air Environments: Study in Real Full-Scale Laboratory Houses. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, 10246. <https://doi.org/10.3390/ijerph181910246>
- Nisbet, E. K.; Zelenski, J. M.; Murphy, S. A. (2009): The Nature Relatedness Scale. In: *Environment and Behavior* 41 (5), S. 715–740. DOI: 10.1177/0013916508318748
- Nordin, S.; Millqvist, E.; Löwhagen, O.; Bende, M. (2003): The Chemical Sensitivity Scale: Psychometric properties and comparison with the noise sensitivity scale. *Journal of Environmental Psychology*, 23(4), 359–367. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(03\)00002-1](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(03)00002-1)
- Nyrud, A. Q.; Bringslimark, T.; Bysheim, K. (2014): Benefits from wood interior in a hospital room: a preference study. In: *Architectural Science Review* 57 (2), S. 125–131. DOI: 10.1080/00038628.2013.816933
- Okumura, T., Kida, I., Yokoi, A., Nakai, T., Nishimoto, S., Touhara, K., Okamoto, M. (2024): Semantic context-dependent neural representations of odors in the human piriform cortex revealed by 7T MRI. *Human Brain Mapping* 45, e26681. <https://doi.org/10.1002/hbm.26681>
- Oleszkiewicz, A.; Schriever, V. A.; Croy, I.; Hähner, A.; Hummel, T. (2019): Updated Sniffin' Sticks normative data based on an extended sample of 9139 subjects. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 276(3), 719–728. <https://doi.org/10.1007/s00405-018-5248-1>
- Oostenveld, R.; Delorme, A.; Makeig, S. (2003): DIPFIT: equivalent dipole source localization of independent components. http://sccn.ucsd.edu/wiki/A08:_DIPFIT
- Oostenveld, R.; Fries, P.; Maris, E.; Schoffelen, J. M. (2011): FieldTrip: Open-source software for advanced analysis of MEG, EEG, and invasive electrophysiological data. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/156869>
- Pacharra, M.; Kleinbeck, S.; Schäper, M.; Blaszkiewicz, M.; van Thriel, C. (2016a): Multidimensional assessment of self-reported chemical intolerance and its impact on chemosensory effects during ammonia exposure. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 89(6), 947–959. <https://doi.org/10.1007/s00420-016-1134-6>

- Pacharra, M.; Kleinbeck, S.; Schäper, M.; Juran, S. A.; Hey, K.; Blaszkewicz, M.; Lehmann, M.-L.; Golka, K.; van Thriel, C. (2016b): Interindividual differences in chemosensory perception: Toward a better understanding of perceptual ratings during chemical exposures. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 79(22–23), 1026–1040. <https://doi.org/10.1080/15287394.2016.1219547>
- Pacharra, M.; Schäper, M.; Kleinbeck, S.; Blaszkewicz, M.; Wolf, O. T.; van Thriel, C. (2016c): Stress lowers the detection threshold for foul-smelling 2-mercaptoethanol. *Stress*, 19, 18–27
- Peirce, J.; Gray, J. R.; Simpson, S.; MacAskill, M.; Höchenberger, R.; Sogo, H. (2019): PsychoPy2: Experiments in behavior made easy. In: *Behavior research methods* 51 (1), S. 195–203. DOI: 10.3758/s13428-018-01193-y
- Petersson, G. (1988): High ambient concentrations of monoterpenes in a Scandinavian pine forest. In: *Atmospheric Environment* 22 (11), S. 2617–2619. DOI: 10.1016/0004-6981(88)90497-0
- Piepho, H.-P. (2018): Letters in Mean Comparisons: What They Do and Don't Mean. In: *Agronomy Journal* 110 (2), S. 431–434. DOI: 10.2134/agronj2017.10.0580
- Pion-Tonachini, L.; Kreutz-Delgado, K.; Makeig, S. (2019). ICLabel: An automated electroencephalographic independent component classifier, dataset, and website. *NeuroImage*, 198, 181–197. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.05.026>
- R Core Team (2021): R: A language and environment for statistical computing. Version 4.1.1. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical computing
- Rametsteiner, E., Oberwimmer, R., Gschwandt, I., 2007. EUROPEANS AND WOOD: What Do Europeans Think About Wood and its Uses? A Review of Consumer and Business Surveys in Europe
- Ríos-Rodríguez, M. L.; Testa Moreno, M.; Moreno-Jiménez, P. (2023): Nature in the Office: A Systematic Review of Nature Elements and Their Effects on Worker Stress Response. *Healthcare*, 11(21), 2838. <https://doi.org/10.3390/healthcare11212838>
- Risholm-Sundman, M.; Lundgren, M.; Vestin, E.; Herder, P. (1998): Emissions of acetic acid and other volatile organic compounds from different species of solid wood. In: *Holz als Roh- und Werkstoff* 56 (2), S. 125–129. DOI: 10.1007/s001070050282
- Ryan, C.; Morrow, L.; Hodgson, M. (1988): Cacosmia and neurobehavioral dysfunction associated with occupational exposure to mixtures of organic solvents. *American Journal of Psychiatry*, 145(11), 1442–1445. <https://doi.org/10.1176/ajp.145.11.1442>
- Sagunski, H.; Heinzel, B. (2003): Richtwerte für die Innenraumluft: Bicyclische Terpene (Leitsubstanz α -Pinen). In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 46 (4), S. 346–352. DOI: 10.1007/s00103-003-0584-7
- Sakr W., Weschler C. J., Fanger P. O. (2006): The impact of sorption on perceived indoor air quality. *Indoor Air* 16(2):98–110. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2005.00406.x>
- Salthammer T. (2011): Critical evaluation of approaches in setting indoor air quality guidelines and reference values. *Chemosphere*; 82(11):1507–17. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.11.023>
- Salthammer T. (2022): Temperature and indoor environments. *Indoor Air*; 32:e13022. <https://doi.org/10.1111/ina.13022>
- Salthammer T. (2022): TVOC - Revisited. *Environ Int.*; 167:107440. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107440>
- Salthammer, T.; Schulz, N.; Stolte, R.; Monegel, F.; Uhde, E. (2020): Sensory evaluation in test chambers: Influences of direct and indirect assessment. In: *Building and Environment* 172. DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.106668
- Schlink U.; Rehwagen M.; Damm M.; Richter M.; Borte M.; Herbarth O. (2004): Seasonal cycle of indoor-VOCs: comparison of apartments and cities. *Atmospheric Environment*; 38(8):1181–90. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.11.003>
- Schreiner, L.; Karacan, B.; Blankenagel, S.; Packhaeuser, K.; Freiherr, J.; Loos, H. M. (2020): Out of the woods: Psychophysiological investigations on wood odors to estimate their suitability as ambient scents. *Wood Science and Technology*, 54(5), 1385–1400. <https://doi.org/10.1007/s00226-020-01216-y>
- Schreiner, L.; Bauer, P.; Buettnner, A. (2018): Resolving the smell of wood - identification of odour-active compounds in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). In: *Scientific reports* 8 (1), S. 8294. DOI: 10.1038/s41598-018-26626-8
- Schreiner, L.; Ortner, E.; Buettnner, A. (2020): Nosy confirmation: reconstitution of the characteristic odor of softwood via quantitative analysis and human sensory evaluation. In: *Analytical and bioanalytical chemistry* 412 (5), S. 1137–1149. DOI: 10.1007/s00216-019-02339-3

- Seeber, A.; Blaszkewicz, M.; Golka, K.; Kiesswetter, E. (1997): Solvent exposure and ratings of well-being: Dose-effect relationships and consistency of data. *Environmental research*, 73(1–2), 81–91. <https://doi.org/10.1006/enrs.1997.3711>
- Seeber, A.; van Thriel, C.; Haumann, K.; Kiesswetter, E.; Blaszkewicz, M.; Golka, K. (2002): Psychological reactions related to chemosensory irritation. *Int Arch Occup Environ Health*, 75, 314–325. <https://doi.org/10.1007/s00420-002-0316-6>
- Senitkova I. (2014): Impact of indoor surface material on perceived air quality. *Materials Science and Engineering: C* 36:1–6. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.11.032>
- Sharmeen, J. B.; Mahomoodally, F. M.; Zengin, G.; Maggi, F. (2021): Essential Oils as Natural Sources of Fragrance Compounds for Cosmetics and Cosmeceuticals. In: *Molecules* 26 (3). DOI: 10.3390/molecules26030666
- Sikkema, R.; Styles, D.; Jonsson, R.; Tobin, B.; Byrne, K. A. (2023): A market inventory of construction wood for residential building in Europe – in the light of the Green Deal and new circular economy ambitions. In: *Sustainable Cities and Society* 90, S. 104370. DOI: 10.1016/j.scs.2022.104370
- Smeets, M. A. M.; Schifferstein, H. N. J.; Boelema, S. R.; Lensvelt-Mulders, G. (2008): The Odor Awareness Scale: A New Scale for Measuring Positive and Negative Odor Awareness. *Chemical Senses*, 33(8), 725–734. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjn038>
- Smeets, M. A. M.; Schifferstein, H. N. J.; Boelema, S. R.; Lensvelt-Mulders, G. (2008): The Odor Awareness Scale: a new scale for measuring positive and negative odor awareness. In: *Chemical senses* 33 (8), S. 725–734. DOI: 10.1093/chemse/bjn038
- Steinemann, A. C.; MacGregor, I. C.; Gordon, S. M.; Gallagher, L. G.; Davis, A. L.; Ribeiro, D. S.; Wallace, L. A. (2011): Fragranced consumer products: Chemicals emitted, ingredients unlisted. In: *Environmental Impact Assessment Review* 31 (3), S. 328–333. DOI: 10.1016/j.eiar.2010.08.002
- Stevenson, R.J. (2010): An initial evaluation of the functions of human olfaction. *Chem Senses* 35, 3–20. [https://doi.org/bjp083 \[pii\] 10.1093/chemse/bjp083](https://doi.org/bjp083 [pii] 10.1093/chemse/bjp083)
- Strömvall, A.-M.; Petersson, G. (1991): Conifer monoterpenes emitted to air by logging operations. In: *Scandinavian Journal of Forest Research* 6 (1-4), S. 253–258. DOI: 10.1080/02827589109382666
- Stübner C.A., Steinhaus M. (2023): Sotolon and (2E,4E,6Z)-nona-2,4,6-trienal are the key compounds in the aroma of walnuts. *J Agric Food Chem* 71(18):7099–108. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c01002>
- Tsunetsugu, Y.; Miyazaki, Y.; Sato, H. (2007): Physiological effects in humans induced by the visual stimulation of room interiors with different wood quantities. In: *J Wood Sci* 53 (1), S. 11–16. DOI: 10.1007/s10086-006-0812-5
- Umweltbundesamt (2007): Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 50 (7), S. 990–1005. DOI: 10.1007/s00103-007-0290-y
- Umweltbundesamt (2003): Kinder-Umwelt-Survey (KUS) 2003/06: Innenraumluft – Flüchtige organische Verbindungen in der Innenraumluft in Haushalten mit Kindern in Deutschland
- van Thriel, C., Seeber, A., Kiesswetter, E., Blaszkewicz, M., Golka, K., Wiesmüller, G. A. (2003): Physiological and psychological approaches to chemosensory effects of solvents. *Toxicology Letters*, 140–141, 261–271. [https://doi.org/10.1016/S0378-4274\(03\)00022-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4274(03)00022-5)
- van Thriel, C.; Schäper, M.; Kiesswetter, E.; Kleinbeck, S.; Juran, S.; Blaszkewicz, M. (2006): From chemosensory thresholds to whole body exposures-experimental approaches evaluating chemosensory effects of chemicals. In: *International archives of occupational and environmental health* 79 (4), S. 308–321. DOI: 10.1007/s00420-005-0057-4
- VDI 4302 Blatt 7:2018, 10/2018: Messen von Innenraumluftverunreinigungen: Messen von Carbonsäuren
- Vora, L. K.; Gholap, A. D.; Hatvate, N. T.; Naren, P.; Khan, S.; Chavda, V. P. (2024): Essential oils for clinical aromatherapy: A comprehensive review. In: *Journal of ethnopharmacology* 330, S. 118180. DOI: 10.1016/j.jep.2024.118180
- Výbošťok, J.; Pichlerová, M.; Lamatungga, K. E.; Tamatam, D.; Önkal, D.; Halaj, D.; Pichler, V. (2024): Preferences for woodland activities and forest features as predictors of well-being after forest visits: Evidence from a nationally representative survey in Slovakia. *Ambio*. <https://doi.org/10.1007/s13280-024-01982-0>

- Wallner P.; Munoz U.; Tappler P.; Wanka A.; Kundt M.; Shelton J. F. (2015): Indoor Environmental Quality in Mechanically Ventilated, Energy-Efficient Buildings vs. Conventional Buildings. *Int J Environ Res Public Health*; 12(11):14132–47. <https://doi.org/10.3390/ijerph121114132>
- Wang, Q.; Baum, A.; Schreiner, L.; Slavik, B.; Buettner, A.; Loos, H. M. (2024): Sensory characterization and identification of odorants in birch wood (*Betula pendula* Roth). In: *Wood Sci Technol*. DOI: 10.1007/s00226-024-01575-w
- Wijk, R. A. de; Cain, W. S. (1994): Odor identification by name and by edibility: life-span development and safety. In: *Hum Factors* 36 (1), S. 182–187. DOI: 10.1177/001872089403600112
- Williams, E. J. (1949): Experimental Designs Balanced for the Estimation of Residual Effects of Treatments. In: *Australian Journal of Scientific Research* 2 (2), S. 149–168. DOI: 10.1071/CH9490149
- Yamanaka T., Sagara K., Kotani H., Takemura A., Fujiwara M. (2009): Psychological bias caused by notification of odor name in sensory evaluation test of odor. *Building and Environment*; 44(7):1350–5. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.09.014>
- Yang, H.; Andersson, U.; Brines, M. (2021): Neurons Are a Primary Driver of Inflammation via Release of HMGB1. *Cells*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/CELLS10102791>
- Yeshurun Y., Sobel N. (2010): An Odor is Not Worth a Thousand Words: From Multidimensional Odors to Unidimensional Odor Objects. *Annual Review of Psychology* 61:219–41. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.60.110707.163639>

Anhang

Anhang Tabelle 1: Analysierte VOC und interner Standard

VOC	Auswertung über die Kalibrierfunktion von:
Terpene	
Camphen	α -Pinen
3-Caren	3-Caren
Limonen	α -Pinen
Longifolen	Longifolen
Myrcen	α -Pinen
Phellandren	α -Pinen
α -Pinen	α -Pinen
β -Pinen	β -Pinen
Terpinen	Terpinen
Terpineol	Terpineol
Terpinolen	Terpinolen
Thujen	α -Pinen
Tricyclen	α -Pinen
Organische Säuren	
Ethansäure	Ethansäure
Hexansäure	Hexansäure
Gesättigte Aldehyde	
Butanal	Pentanal
Heptanal	Pentanal
Hexanal	Hexanal
Nonanal	Nonanal
Octanal	Octanal
Pentanal	Pentanal
Ungesättigte Aldehyde	
trans-2-Decenal	trans-2-Heptenal
trans-2-Heptenal	trans-2-Heptenal
trans-2-Hexen-1-al	trans-2-Heptenal
trans-2-Octenal	trans-2-Octenal
trans-2-Undecenal	trans-2-Heptenal
Andere Aldehyde	
Benzaldehyd	Benzaldehyd
2-Furaldehyd	2-Furaldehyd
Alkohole	
1-Butanol	1-Butanol
1-Octen-3-ol	1-Pentanol
1-Pentanol	1-Pentanol
Alkylbenzole	
m-Cymol	p-Cymol
o-Cymol	p-Cymol
p-Cymol	p-Cymol
Ketone	
2-Heptanon	2-Heptanon
Andere Substanzen	
Heptan	Toluol _{d8}
n-Octan	Toluol _{d8}
2-Pentylfuran	Toluol _{d8}
Toluol	Toluol _{d8}

Interner Standard: Toluol_{d8}

Quelle: eigene Darstellung

Anhang Abbildung 1: Geruchspräsentation mittels PureSniff XL, einem Gerät, das es den Versuchspersonen ermöglicht, die Freisetzung des Geruchs selbstständig auszulösen.



Quelle: Thünen-Institut/Katja Butter

Anhang Abbildung 2: a) Ausbalanciertes Lateinisches Quadrat zur Vermeidung von Positions- und Carry-over-Effekten als Grundlage der Geruchssequenzen. b) Geruchssequenzen für 32 Versuchspersonen

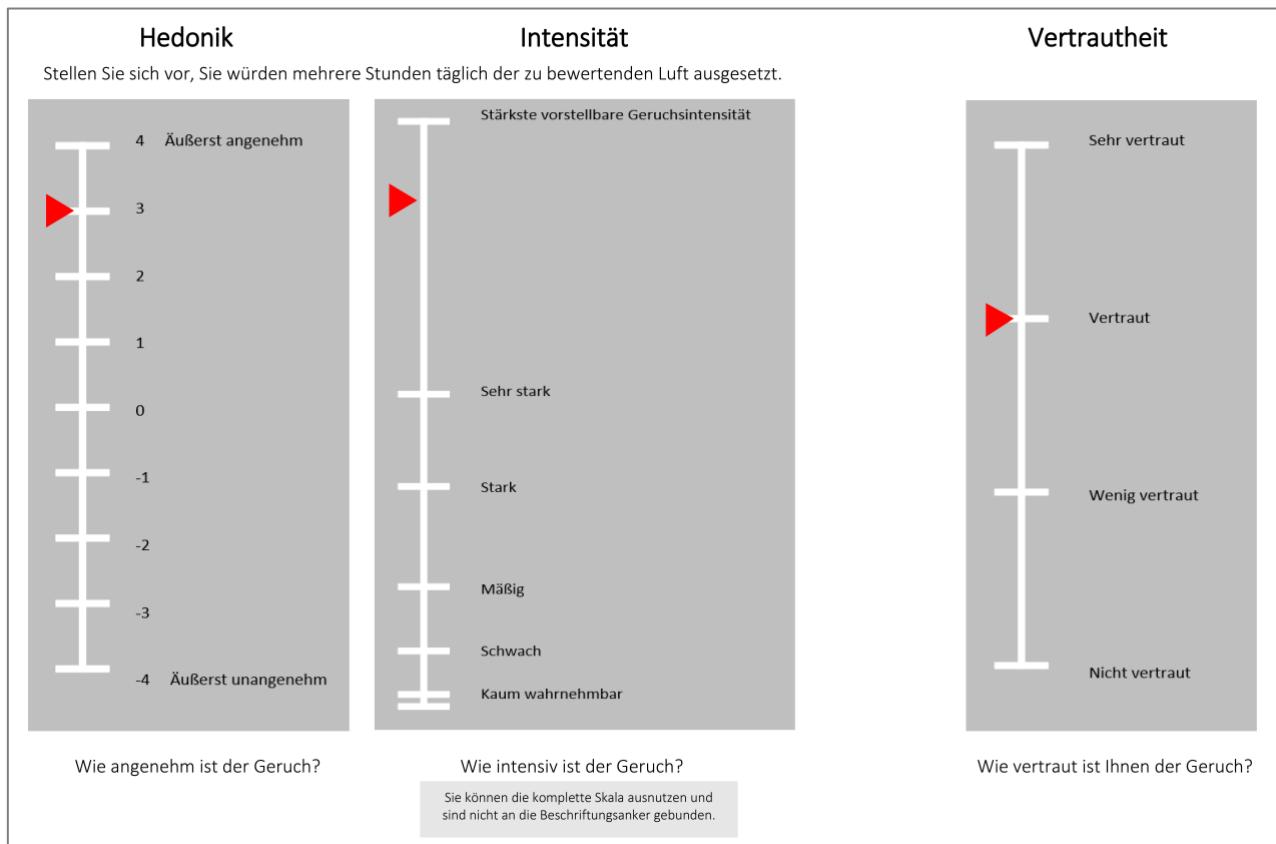
a)

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
A	B	C	D	E	F	G	H
B	C	D	E	F	G	H	A
H	A	B	C	D	E	F	G
C	D	E	F	G	H	A	B
G	H	A	B	C	D	E	F
D	E	F	G	H	A	B	C
F	G	H	A	B	C	D	E
E	F	G	H	A	B	C	D

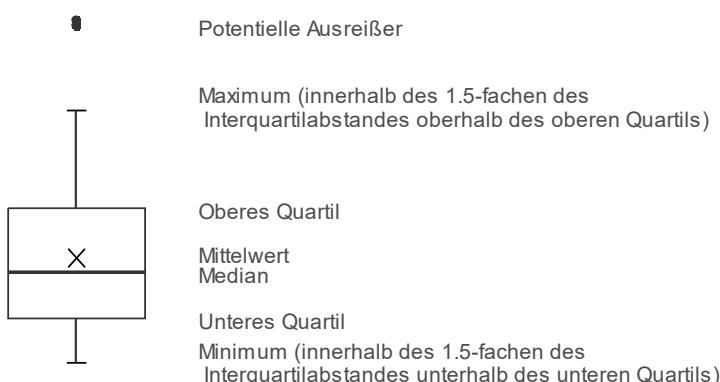
b)

1. Durchgang	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	32.	
	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H									
	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H	A									
	H	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G									
	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B									
	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G								
	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D								
	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G							
	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G						
2. Durchgang	H	A	B	C	D	E	F	G	G	H	A	B	C	D	E	F	D	E	F	G	H	A	B	C	C	D	E	F	G	H	A	B	
	A	B	C	D	E	F	G	H	H	A	B	C	D	E	F	G	E	F	G	H	A	B	C	D	D	E	F	G	H	A	B	C	
	G	H	A	B	C	D	E	F	F	G	H	A	B	C	D	E	C	D	E	F	G	H	A	B	B	C	D	E	F	G	H	A	B
	B	C	D	E	F	G	H	A	A	B	C	D	E	F	G	H	F	G	H	A	B	C	D	D	E	F	G	H	A	B	C	D	
	F	G	H	A	B	C	D	E	E	F	G	H	A	B	C	D	B	C	D	E	F	G	H	A	A	B	C	D	E	F	G	H	
	C	D	E	F	G	H	A	B	B	C	D	E	F	G	H	A	G	H	A	B	C	D	E	F	F	G	H	A	B	C	D	E	
	E	F	G	H	A	B	C	D	D	E	F	G	H	A	B	C	A	B	C	D	E	F	G	H	H	A	B	C	D	E	F		
	D	E	F	G	H	A	B	C	C	D	E	F	G	H	A	B	H	A	B	C	D	E	F	G	G	H	A	B	C	D	E	F	

Quelle: eigene Darstellung

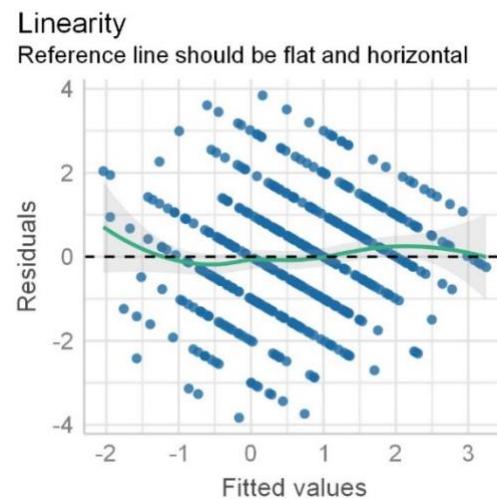
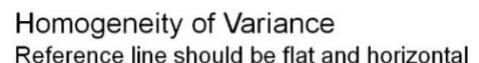
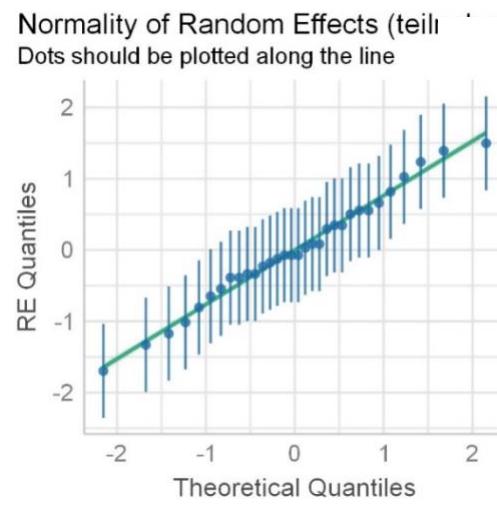
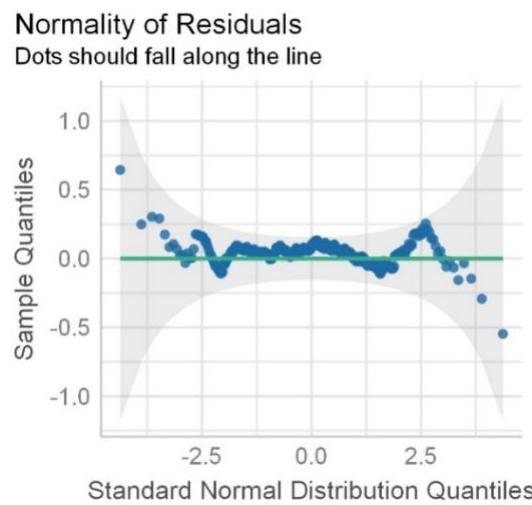
Anhang Abbildung 3: Geruchsbewertungskriterien (Hedonik, Intensität, Vertrautheit)

Quelle: eigene Darstellung

Anhang Abbildung 4: Beispiel für ein Boxplot mit Erläuterungen der Kennwerte

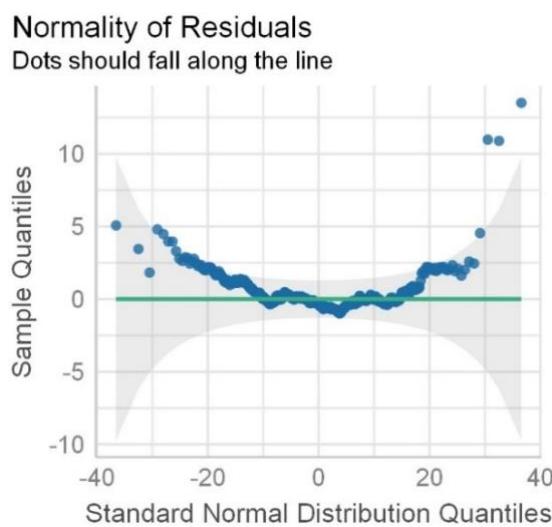
Quelle: eigene Darstellung

Anhang Abbildung 5: Versuch Visueller Kontext: Modellvoraussetzungen des linearen gemischten Modells zur Hedonikbewertung



Quelle: eigene Berechnung

Anhang Abbildung 6: Versuch Visueller Kontext: Modellvoraussetzungen des linearen gemischten Modells zur Intensitätsbewertung



Quelle: eigene Berechnung

Anhang Abbildung 7: Umfrage Grüne Woche: Fragebogen

Wie alt sind Sie?

Geben Sie bitte Ihr Geschlecht an!

- Männlich Weiblich Sonstiges

Sind Sie Raucher/in?

- Ja Nein

Haben Sie beruflich mit Holz oder Holzprodukten zu tun?

- Ja Nein

Wenn JA, welchen Beruf üben Sie aus?

Wie oft gehen Sie in der Regel in den Wald?

- Mehrmals pro Woche
 Einmal pro Woche
 Einmal alle 14 Tage
 Einmal pro Monat
 Seltener
 Gar nicht

Wie oft gehen Sie in der Regel in Baumärkte oder Heimwerkermärkte?

- Mehrmals pro Woche
 Einmal pro Woche
 Einmal alle 14 Tage
 Einmal pro Monat
 Seltener
 Gar nicht

Wie leben Sie aktuell?

- Sehr ländlich
 Eher ländlich
 Nicht ländlich

In welchem Bundesland leben Sie aktuell?

Wie haben Sie vorwiegend in Ihrer Kindheit gelebt?

- Sehr ländlich
 Eher ländlich
 Nicht ländlich

In welchem Bundesland haben Sie vorwiegend Ihre Kindheit verbracht?

Haben Sie schon einmal in einem Holzhaus gewohnt?

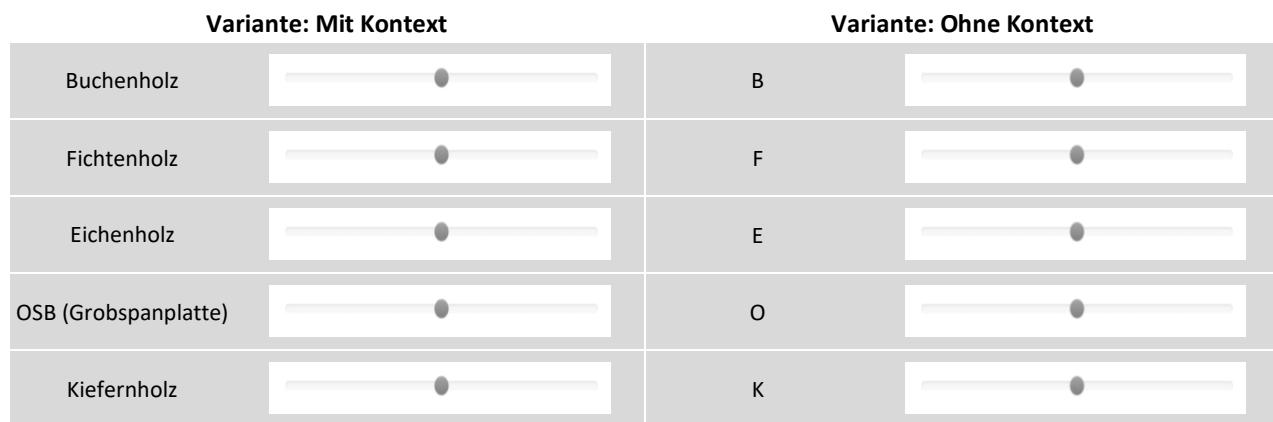
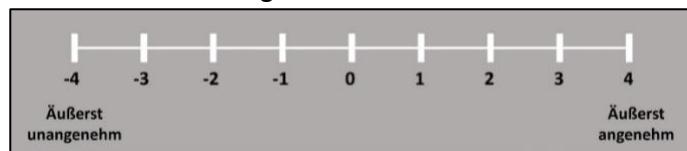
- Ja Nein

Quelle: eigene Darstellung

Anhang Abbildung 8: Umfrage Grüne Woche: Hedonikbewertung der Gerüche in zwei Varianten

Stellen Sie sich vor, Sie wären mehrere Stunden täglich dem Geruch ausgesetzt.

Wie angenehm ist der Geruch?

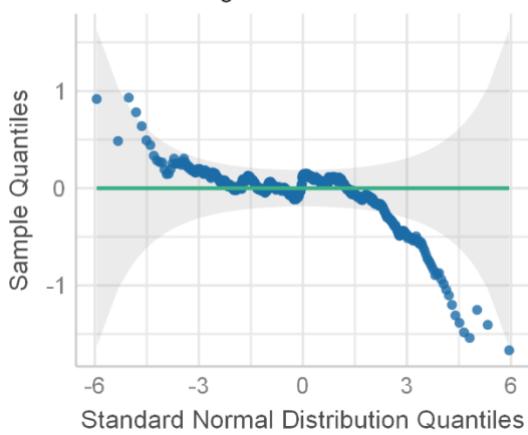


Quelle: eigene Darstellung

Anhang Abbildung 9: Umfrage Grüne Woche: Modellvoraussetzungen des linearen gemischten Modells zur Hedonikbewertung

Normality of Residuals

Dots should fall along the line



Quelle: eigene Berechnung

Anhang Tabelle 2: Transkript des NOCEBO- und PLACEBO-Videos

	NOCEBO-Video	PLACEBO-Video
Allgemeine Einführung in Thematik Innenraum, VOC, Gerüche und Bauprodukte	<p>Wir verbringen durchschnittlich um die 90 % des Tages in Innenräumen, sei es auf Arbeit, in Fahrzeugen oder im eigenen Zuhause. Uns interessieren im Speziellen Wohnräume und wie gesund diese Räume für uns sind. Ein Kriterium stellt dabei die Qualität der Luft darin dar, die wir tagtäglich einatmen. Aber wie setzt sich diese Luft überhaupt zusammen?</p> <p><i>Luft ist ein Gemisch aus verschiedenen Gasen, also ein Gasgemisch. Welche Gase sind das? Zum einen natürlich Sauerstoff. Den brauchen wir zum Atmen und Überleben. Doch Luft besteht nur zu 21 % aus Sauerstoff. Das meiste ist Stickstoff, rund 78 %. Und dann noch 1 % Argon. Das ist ein sogenanntes Edelgas. Außerdem sind da noch winzige Spuren von anderen Gasen, wie 0,04 % Kohlendioxid. (Original-Videosequenz des YouTube-Kanals <i>musstewissen Chemie</i>, nicht neu eingesprochen)</i></p> <p>In sehr geringen Mengen können sich in der Luft auch VOC befinden. Das sind flüchtige organische Verbindungen, die nicht zu den natürlichen Bestandteilen der Luft gehören. VOC umfassen eine Gruppe von über 200 Einzelsubstanzen mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften. Bei aller Vielfalt haben VOC eins gemeinsam: Es handelt sich dabei um organische, also kohlenstoffhaltige Stoffe, die sich bei Raumtemperatur verflüchtigen. Die Menge und Zusammensetzung der VOC in der Innenraumluft kann die Luftqualität entscheidend beeinflussen. Doch wie gelangen die VOC in den Innenraum? Wir beschäftigen uns dabei im Speziellen mit den VOC-Emissionen aus Bauprodukten. Bauprodukte sind alle fest verbauten Materialien in der Gebäudesubstanz, die dauerhaft eingebaut werden. Neben den klassischen Wandbaumaterialien wie Stein, Beton, Stahl oder Holz zählen beispielsweise auch Farben und Lacke sowie Boden- und Wandbeläge dazu. Bauprodukte können eine Reihe von flüchtigen organischen Substanzen freisetzen.</p>	
	Insbesondere das häufig im Baubereich eingesetzte Nadelholz kann hohe Mengen an VOC abgeben. Aber auch Laubhölzer sowie Holzwerkstoffe emittieren VOC. Zahlreiche weitere VOC-Quellen bestehen in Innenräumen.	Aber auch zahlreiche weitere Quellen können VOC in Innenräume abgeben.
	Sie können beispielsweise beim Kochen entstehen. Auch das Mobiliar kann Emissionen freisetzen. Und selbst der Mensch gibt infolge von Stoffwechselprozessen VOC ab. Bedeutende Emissionsquellen stellen zudem Pflege- und Reinigungsmitteln dar. Einige dieser Substanzen können wir riechen, wohingegen andere komplett geruchslos sind. Sie können den Geruch eines Raumes wesentlich mitbestimmen und damit auch unser Wohlbefinden beeinflussen.	
	Auffällige Gerüche sind dabei ein häufiger Anlass für Untersuchungen der Innenraumluft.	
	Messungen der Innenraumluft können Aufschluss darauf geben, welche Schadstoffe	Substanzen
	in der Luft vorkommen. Beispielsweise sehen sie hier eine Raumluftmessung, die im zukünftigen Wohnzimmer der Familie stattfindet. Dabei können alle Substanzen erfasst werden, die sich durch den Bau des Hauses ergeben haben. Nach 2 Stunden ist die Messung abgeschlossen. Der Bauleiter verpackt die Röhrchen mit den Luftproben und schickt sie zur Analyse ins Labor. Nach etwa 2 Wochen hat das Labor die Ergebnisse der Raumluftmessung geliefert. In der Zwischenzeit sind die Besitzer bereits mit ihren Möbeln eingezogen. Das kann die Raumluft natürlich noch einmal beeinflussen.	
	Für einige häufig vorkommende und gesundheitlich besonders besorgniserregende Schadstoffe gibt es Richtwerte für die Innenraumluft	VOC
Beeinflussung	, die nicht überschritten werden sollten. Gerade durch die moderne, luftdichte Bauweise können sich bei unzureichender Lüftung Emissionen von Baustoffen und Einrichtungsgegenständen im Innenraum anreichern. Durchschnittlich ist die Innenraumluft achtmal höher mit Schadstoffen belastet als die Außenluft. Das Problem dabei ist, dass wir dieser Luft den Großteil des Tages ausgesetzt sind!	. Damit ist es möglich, die Qualität der Innenraumluft objektiv zu beurteilen.
	Tatsächlich wurden auch in den Räumen der Familie erhöhte Konzentrationen von einigen VOC gemessen. Gelegentlich können einzelne VOC-Konzentrationen sehr hoch sein und zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen. Hohe Schadstoffkonzentrationen, die sich negativ auf unsere Gesundheit auswirken, können unmittelbar nach Bau- und umfangreichen Renovierungsmaßnahmen auftreten, sowie bei unsachgemäßer Verarbeitung und massivem Einsatz wenig geeigneter Produkte.	Üblicherweise sind die einzelnen VOC-Konzentrationen sehr gering und gesundheitliche Beeinträchtigungen sind nicht zu befürchten. So wurden auch in den Räumen der Familie keine erhöhten Konzentrationen einzelner VOC gemessen, sondern alle Richtwerte unterschritten. Auch Kontrollmessungen, nachdem die Familie mit all ihren Möbeln eingezogen ist, zeigten keine Grenzwertüberschreitungen. VOC sind allgegenwärtig sowohl in Innenräumen als auch draußen. Wir riechen sie beispielsweise bei einem Spaziergang im Wald. Oder denken sie an den erdigerfrischen und leicht feuchten Duft eines Sommerregens. Eine Vielzahl von Geruchsmolekülen sorgt auch für den charakteristischen Geruch von Blumen oder Kaffee.

<p>Studien haben gezeigt, dass eine zu hohe Schadstoffkonzentration zu Kopfschmerzen und Reizzungen der Augen und Schleimhäute führen kann. Einzelne VOC stehen zudem im Verdacht Allergien auszulösen. Diese Symptome können unmittelbar auftreten, wenn man den Schadstoffen ausgesetzt ist. Die Giftigkeit der einzelnen Stoffe unterscheidet sich jedoch stark. Studien zeigten, dass bei einer dauerhaften Belastung chronische Folge-erscheinungen nicht ausgeschlossen werden können: z. B. krebsfördernde, erbgutverändernde und fortpflanzungsgefährdende Auswirkungen. Besonders anfällig sind dabei Säuglinge und Kinder. Daneben kann es auch zu Geruchsbelästigungen kommen. Weitere spürbare Auswirkung können auch Erschöpfung und Konzentrationsschwäche sein. Das Wohlbefinden der Menschen kann durch Schadstoffbelastung deutlich beeinträchtigt werden.</p>	<p>Insbesondere das häufig im Baubereich eingesetzte Nadelholz kann einen sehr wohltuenden intensiven Geruch aufweisen. Aber auch Laubhölzer sowie Holzwerkstoffe besitzen ihren ganz eigenen Geruch. Mehrere in den letzten Jahren durchgeführte Studien zeigten, dass sich diese Geruchsmoleküle positiv auf den Körper und den Geist und ganz allgemein auf die menschliche Gesundheit auswirken können. Die Substanzen führen nicht nur dazu, dass sich die Menschen wohler fühlen, sondern auch dass sich ihre Konzentrationsfähigkeit erhöht und weniger Stresshormone ausgeschüttet werden. Die Ausdünstungen können sich positiv auf das vegetative Nervensystem auswirken, was sich beispielsweise in einer Blutdrucksenkenden Wirkung äußert. Dies sind alles Zeichen dafür, dass sich der Körper entspannt.</p>
---	--

Hintergrundfarbe des Textes: Textpassagen, die in beiden Videos (weiß), nur im NOCEBO-Video (orange) oder nur im PLACEBO-Video (grün) enthalten sind

Quelle: eigene Darstellung

Anhang Tabelle 3: Transkript des Aufklärungsvideos

Vielen Dank für Ihre Teilnahme an unserer Studie. Sie haben heute an einem Versuch teilgenommen, mit dessen Hilfe wir herausfinden wollen, ob bestimmte Vorinformationen über VOC-Emissionen und deren gesundheitlichen Wirkungen, den Menschen in seiner Geruchswahrnehmung beeinflussen können. Die Frage ist also, ob bestimmte Informationen schon ausreichen, dass wir Gerüche anders bewerten? Vielleicht erinnern Sie sich: Zu Beginn des Versuches haben wir Ihnen ein Video gezeigt. Von diesem Video haben wir allerdings zwei verschiedene Versionen erstellt. In der einen Variante wird das Augenmerk auf die vorteilhaften Wirkungen von VOC-Emissionen gelegt. In der anderen Variante verschiebt sich hingegen der Fokus auf die nachteiligen Effekte solcher Emissionen. Welches Video sie gesehen haben, war dabei rein zufällig. Wir haben Ihnen keine falschen Informationen gegeben. Aber wir haben Ihnen nur die halbe Wahrheit erzählt und sie damit womöglich zu einem gewissen Grad beeinflusst. In der Regel stellen VOC-Emissionen aus Bauprodukten und insbesondere aus Holzprodukten keine Probleme dar. Höhere Konzentrationen treten zumeist nur direkt nach Bau- und Renovierungsmaßnahmen auf, die aber normalerweise rasch wieder abklingen. Probleme können sich dann ergeben, wenn unzureichend gelüftet wird oder wenig geeignete Produkte verwendet werden. Ob diese Substanzen für uns wohlthwend sind oder aber die Gesundheit beeinträchtigen, kann man nicht pauschal sagen. In den Konzentrationen, wie sie üblicherweise in Innenräumen vorliegen, werden sie vermutlich gar keine Wirkung auf den menschlichen Organismus ausüben. Die Wirkung ist letztlich abhängig von der Substanz sowie ihrer Konzentration und wie lang wir ihr ausgesetzt sind. Falls Sie weitere Fragen haben, sprechen sie uns gern an.

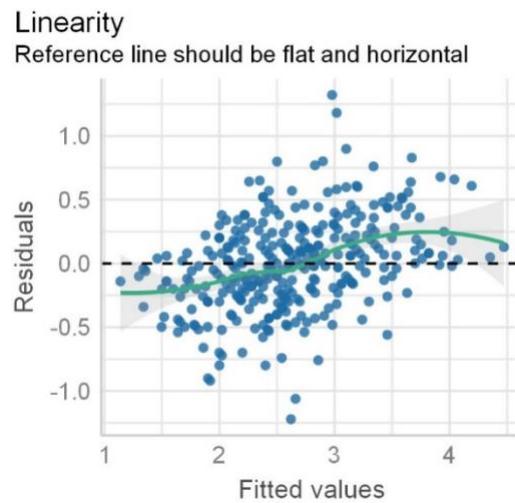
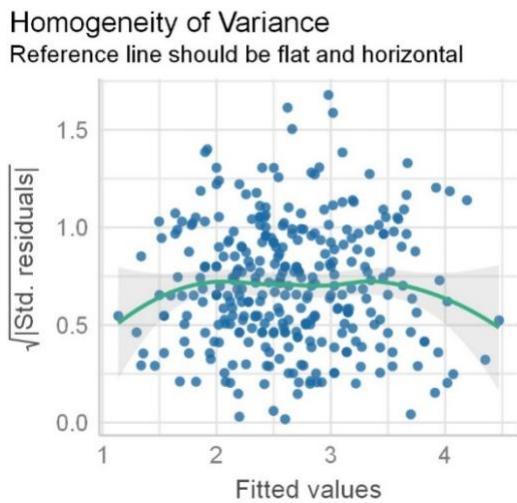
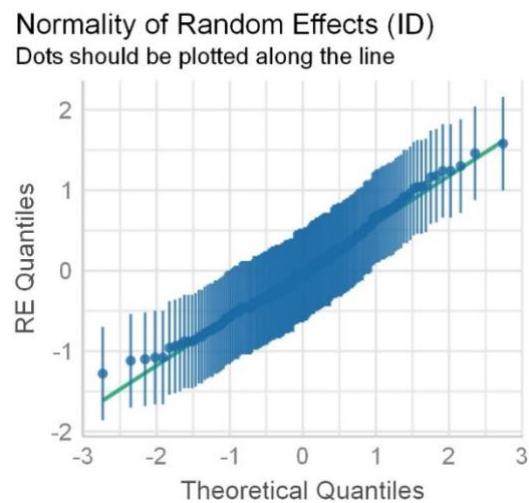
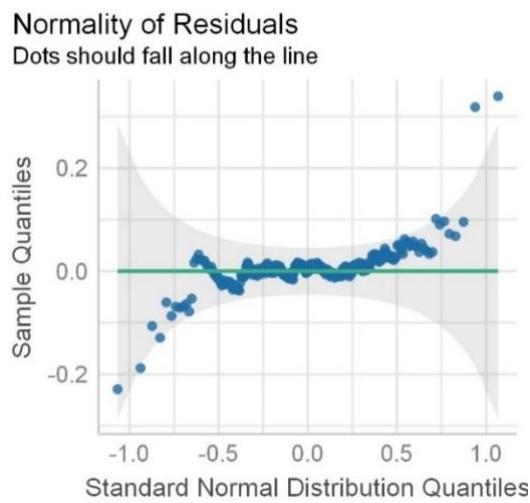
Quelle: eigene Darstellung

Anhang Tabelle 4: Bewertung der Gesundheit einzelner Wörter (5-stufige Bewertungsskala, 1 = „ungesund“, 3 = „neutral“, 5 = „gesund“)

	Mittelwert	Standardabweichung
Geruch	3,4	0,8
Hauch	3,2	0,6
Aroma	3,6	0,8
riechen	3,6	0,8
Nase	3,1	0,5
Duft	3,7	0,7
Kleidung	3,0	0,0
Mantel	3,1	0,3
Hose	3,0	0,2
Socken	3,1	0,4
Schuh	3,0	0,6
Hemd	3,0	0,5
krank	1,0	0,2
giftig	1,0	0,2
Kopfschmerzen	1,6	0,7
unwohl	1,7	0,5
erschöpft	2,1	0,8
Krebs	1,5	0,8
schwach	2,2	0,9
krebserregend	1,2	0,6
Allergie	2,0	0,8
schädlich	1,2	0,4
Erschöpfung	2,2	0,7
Gift	1,2	0,5
chronisch	2,0	0,7
gesund	4,9	0,4
vital	4,7	0,5
lebendig	4,2	0,8
erholt	4,7	0,6
glücklich	4,6	0,6
Entspannung	4,5	0,7
leistungsfähig	4,2	0,9
ausgeruht	4,5	0,5
fit	4,8	0,4
entspannt	4,3	0,7
wohltuend	4,4	0,6
stark	4,2	0,7
wohlfühlen	4,8	0,4

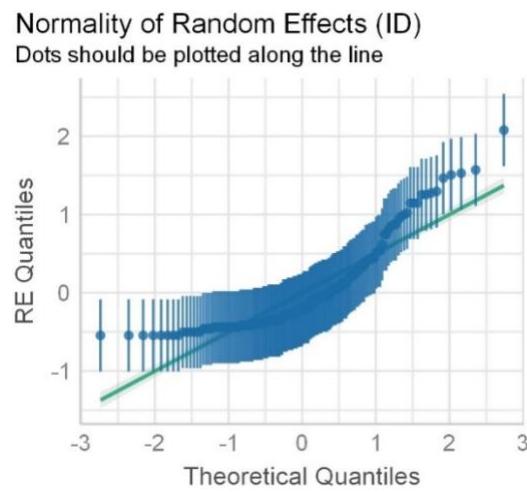
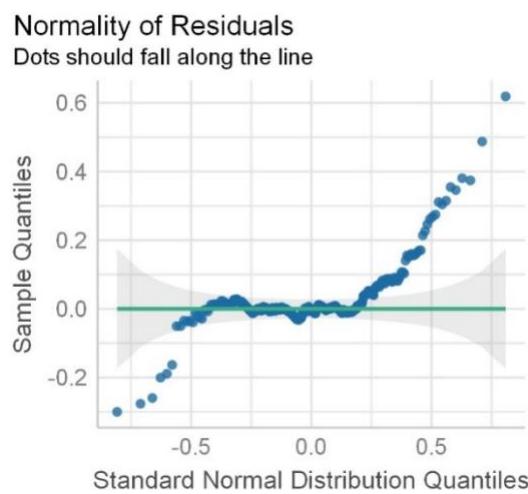
Quelle: eigene Berechnung

Anhang Abbildung 10: Versuch Videovalidierung: Modellvoraussetzungen des linearen gemischten Modells zu den PA



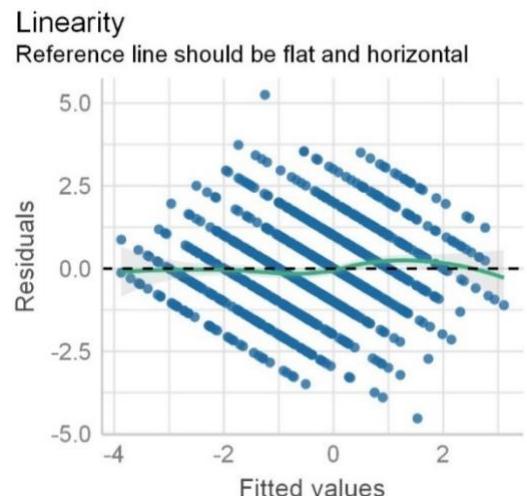
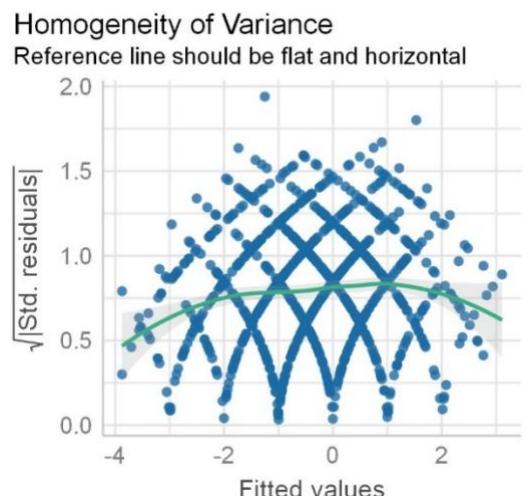
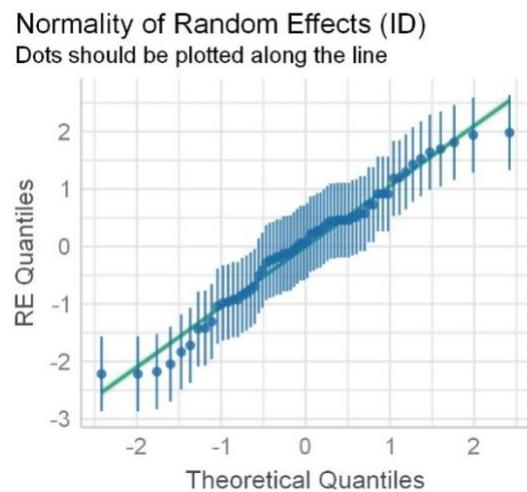
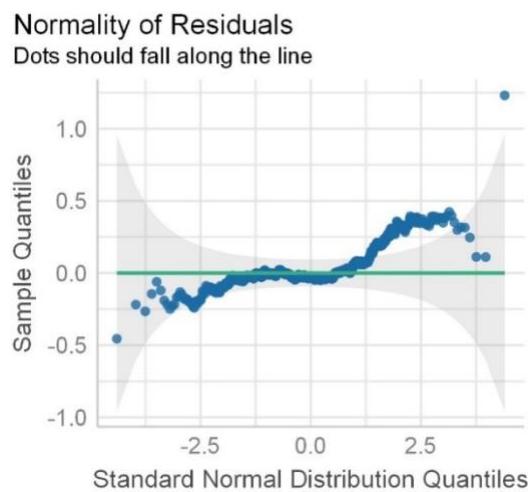
Quelle: eigene Berechnung

Anhang Abbildung 11: Versuch *Videovalidierung*: Modellvoraussetzungen des linearen gemischten Modells zu den NA



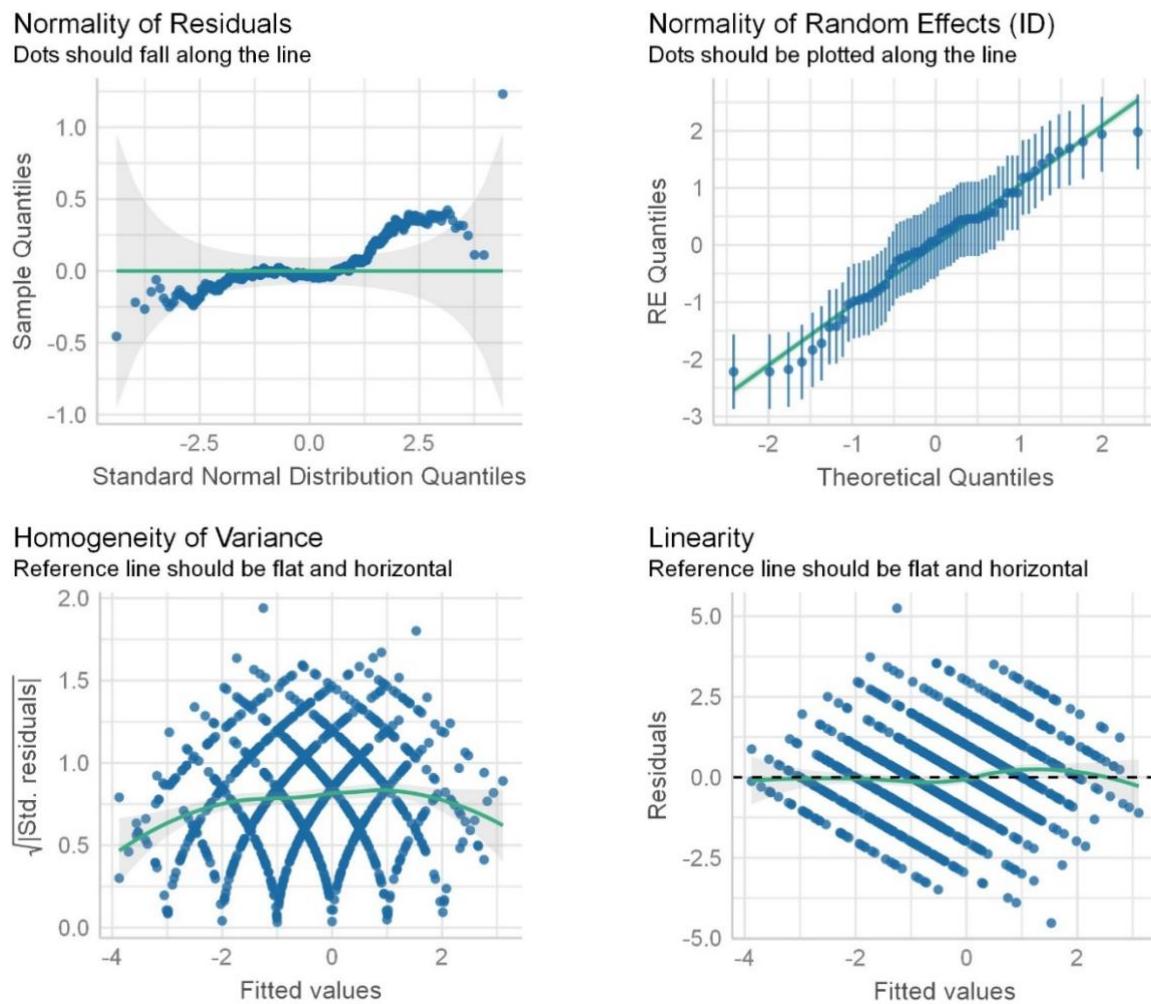
Quelle: eigene Berechnung

Anhang Abbildung 12: Versuch *Psychologischer Kontext*: Modellvoraussetzungen des linearen gemischten Modells zur Hedonikbewertung



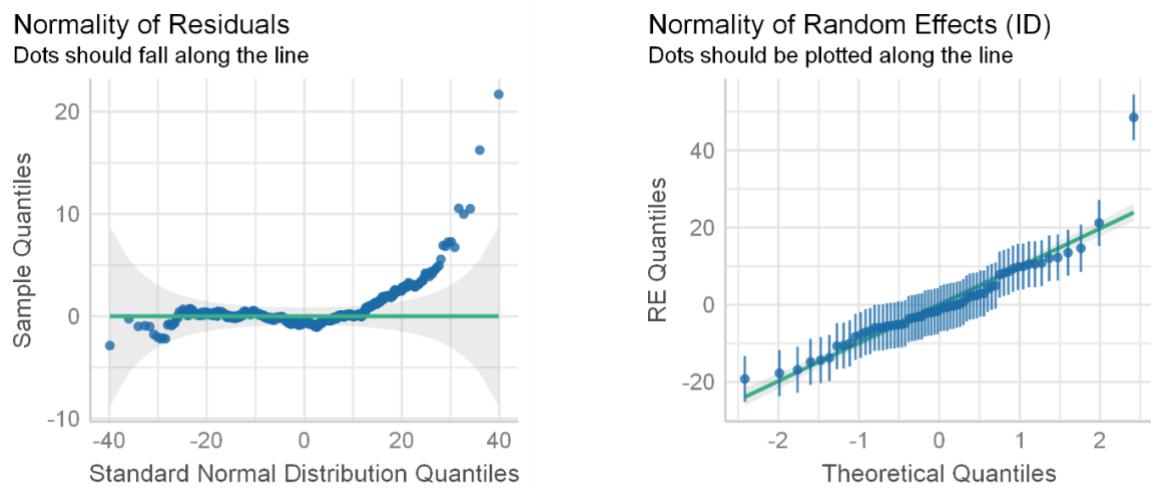
Quelle: eigene Berechnung

Anhang Abbildung 13: Vergleich Versuch *Visueller* und *Psychologischer Kontext*: Modellvoraussetzungen des linearen gemischten Modells zur Hedonikbewertung



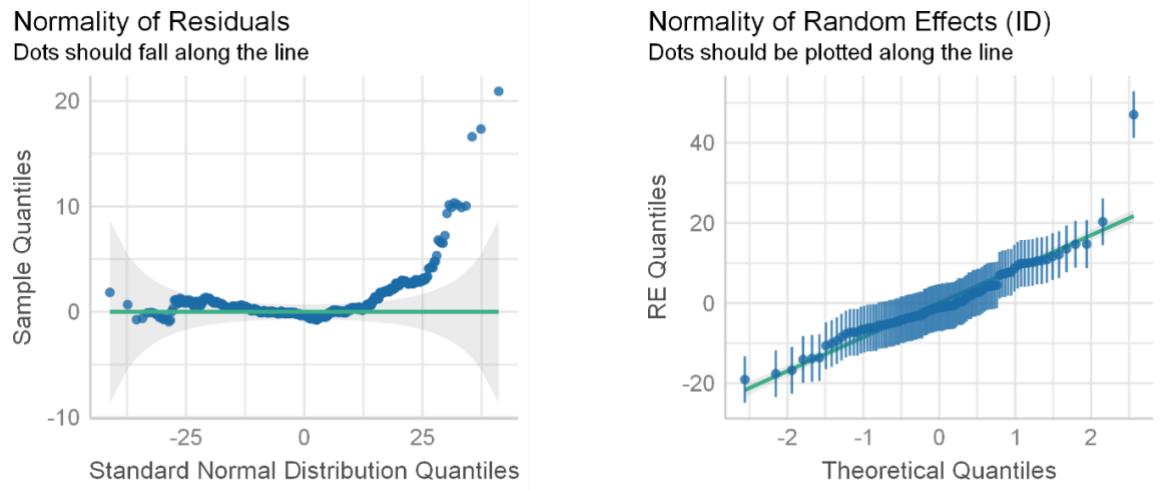
Quelle: eigene Berechnung

Anhang Abbildung 14: Versuch *Psychologischer Kontext*: Modellvoraussetzungen des linearen gemischten Modells zur Intensitätsbewertung



Quelle: eigene Berechnung

Anhang Abbildung 15: Vergleich Versuch Visueller und Psychologischer Kontext: Modellvoraussetzungen des linearen gemischten Modells zur Intensitätsbewertung



Quelle: eigene Berechnung

Thünen Report

Bereits in dieser Reihe erschienene Hefte – *Volumes already published in this series*

1 - 106	siehe http://www.thuenen.de/de/infothek/publikationen/thuenen-report/
107	Heino Fock, Robin Dammann, Finn Mielck, Gerd Kraus, Rebecca A. M. Lauerburg, Alfonso López González, Pernille Nielsen, Margarethe Nowicki, Matthias Pauli, Axel Temming Auswirkungen der Garnelenfischerei auf Habitate und Lebensgemeinschaften im Küstenmeer der Norddeutschen Bundesländer Schleswig-Holstein, Hamburg und Niedersachsen (CRANIMPACT)
108	Maximilian Zinnbauer, Max Eysholdt, Martin Henseler, Frank Herrmann, Peter Kreins, Ralf Kunkel, Hanh Nguyen, Björn Tetzlaff, Markus Venohr, Tim Wolters, Frank Wendland Quantifizierung aktueller und zukünftiger Nährstoffeinträge und Handlungsbedarfe für ein deutschlandweites Nährstoffmanagement – AGRUM-DE
109	Nele Schmitz, Andreas Krause, Jan Lüdtke Critical review on a sustainable circular bio-economy for the forestry sector : Zirkuläre Bioökonomie in der Forst- und Holzwirtschaft für eine nachhaltige Entwicklung - Eine wissenschaftliche Einordnung
110	Verena Beck, Josef Efken, Anne Margarian Regionalwirtschaftliche Auswirkungen einer Reduzierung der Tierhaltung in Konzentrationsgebieten : Abschlussbericht zum Projekt ReTiKo
111	Tuuli-Marja Kleiner, Marie Kühn Engagement im Spiegel sozialer und räumlicher Ungleichheit : Empirische Analyseergebnisse auf Basis des Deutschen Freiwilligensurveys (2019) und des Sozio-ökonomischen Panels (2001–2019)
112	Maximilian Zinnbauer, Max Eysholdt, Peter Kreins Entwicklung eines Modells zur Quantifizierung landwirtschaftlicher Stickstoffbilanzen in Rheinland-Pfalz – AGRUM-RP
113	Hauke T. Tergast Produktionsökonomische Analyse von Tierwohlmaßnahmen in typischen Milchviehbetrieben Nordwestdeutschlands
114	Joachim Kreis Lebensverhältnisse in ländlichen Räumen – Bewertungen Befragter zu ihrer Gegend: Inhaltliche und methodische Analysen auf Grundlage einer repräsentativen Bevölkerungsbefragung
115	Wolf-Christian Lewin, Marc Simon Weltersbach, Josefa Eckardt, Harry V. Strehlow Stakeholder-Beteiligung – Erkenntnisse und Perspektiven für ein nachhaltiges Fischereimanagement
116	Andreas Tietz, Lena Hubertus Erweiterte Untersuchung der Eigentumsstrukturen von Landwirtschaftsfläche in Deutschland: Ergebnisse der deskriptiven Analyse
117	Marlen Haß, Martin Banse, Max Eysholdt, Alexander Gocht, Verena Laquai, Frank Offermann, Janine Pelikan, Jörg Rieger, Davit Stepanyan, Viktoriya Sturm, Maximilian Zinnbauer Thünen-Baseline 2024 – 2034: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland

- 118** Annett Steinführer, Frank Osterhage (Hrsg.)
Vom Kommen, Gehen und Bleiben.
Wanderungsgeschehen und Wohnstandortentscheidungen aus der Perspektive ländlicher Räume
- 119** Mirko Liesebach, Ute Tröber (eds.)
Wald der Zukunft - Beitrag von Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung
8. Tagung der Sektion Forstgenetik/Forstpflanzenzüchtung vom 11. bis 13. September 2024 in Freiburg i. Br.
- 120** Fanny Barz, Simone Brüning, Ralf Döring, Tobias Lasner, Harry V. Strehlow
National Fisheries Profile Germany
- 121** Katja Butter, Christine Ida Hucke, Viviane Gallus, Christoph van Thriel, Martin Ohlmeyer
Wood for Good – Kontextbezogene gemisch- und konzentrationsabhängige Auswirkungen flüchtiger organischer Verbindungen verschiedener Holzarten auf neurophysiologische Prozesse und die chemosensorische Informationsverarbeitung des Menschen



Thünen Report 121

Herausgeber/Redaktionsanschrift

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

www.thuenen.de

