

BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Arbeitsplatzmodell für die orale Expositionsroute

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades Dr.-Ing.

in der
Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik

der
Bergischen Universität Wuppertal

vorgelegt von
Marlene Dietz
aus Bochum

Datum der Einreichung: 09.03.2026
Datum der Verteidigung: 28.09.2026

Erstgutachterin: Prof. Dr.-Ing. habil. Anke Kahl
Zweitgutachter: Prof. Dr. med. vet. habil. Matthias Greiner

Zusammenfassung

Orale Exposition am Arbeitsplatz wird bislang in der europäischen Chemikalienregulierung unter der Annahme einer guten Arbeitshygiene vernachlässigt. Demgegenüber stehen wissenschaftliche Studien, die aus parallelen Erhebungen der dermalen, inhalativen und systemischen Exposition Hinweise auf die Relevanz einer oralen Aufnahme liefern. Um einen umfassenden Schutz der Beschäftigten zu gewährleisten, müssen alle relevanten Expositionswege in der Bewertung berücksichtigt werden. Deshalb war es das Ziel dieser Arbeit, die Relevanz von oraler Exposition am Arbeitsplatz systematisch zu untersuchen. Darüber hinaus wurde die Entwicklung eines Screening-Modells zur quantitativen Beschreibung von beruflicher oraler Exposition verfolgt, sodass eine Entscheidungsgrundlage über die Relevanz entsteht und eine Methode für die Bewertung vorliegt.

Dazu erfolgten vier systematische Aufbereitungen dokumentierter Informationen, wobei die Relevanz beruflicher oraler Exposition, Verhaltensweisen und arbeitshygienische Praktiken, Entstehungsmechanismen sowie verfügbare Messdaten berücksichtigt wurden. Daran anschließend wurden weitere qualitative und quantitative Informationen zu relevantem Verhalten und arbeitshygienischen Praktiken anhand von Experteninterviews sowie Beobachtungen in Werkstätten und Laboren erhoben. Dokumentierte Transfereffizienzen, welche für die quantitative Beschreibung von oraler Exposition relevant sind, wurden statistisch ausgewertet und mittels darauf basierend identifizierter Einflussparameter aggregiert. Daran anschließend erfolgte die Entwicklung eines Modells zur Quantifizierung beruflicher oraler Exposition und dessen exemplarische Erprobung.

Gemäß der in dieser Arbeit durchgeführten Literaturrecherche ist orale Exposition insbesondere bei Arbeiten im industriellen Kontext, in Innenräumen sowie beim Recycling relevant. Die zugrundeliegenden Mechanismen der Expositionsroute sind der Transfer von Chemikalien sowie das Verschlucken von Aerosolen. Kontakte wie zum Beispiel zwischen Hand und Mund wurden anhand von Experteninterviews als Hauptursache identifiziert und deren Häufigkeit in Beobachtungen als sechs Kontakte pro Stunde (75. Perzentil) ermittelt. Gemäß der statistischen Auswertung der Transfereffizienzen werden die Stoffkategorie, Start und Destination des Transferpfads, die Kontaktdauer sowie die Kontaktart als

Einflussparameter unterschieden. Für alle Kombinationen dieser Parameter wurden aggregierte Transfereffizienzen zur weiteren Verwendung erstellt. Das hier entwickelte Gesamtmodell kombiniert modular Einträge durch Transfer und Aerosole. Zwölf Standard-Szenarien wurden entwickelt, welche die notwendigen Eingaben für das entwickelte Modell anwendungsfreundlich bereitstellen. Werden die Ergebnisse für die Standard-Szenarien mit Berechnungen basierend auf variierten Transfereffizienzen und Kontakthäufigkeiten verglichen, entsprechen die Modellergebnisse dem 78. bis 87. Perzentil. Auch aus der Literatur verfügbare Messdaten werden durch die Modellergebnisse überwiegend und verhältnismäßig überschätzt. Konkret liegt die Überschätzung von zu Mittelwerten aggregierten Messdaten bei einem Faktor von mindestens 1,9. Für das Modell steht eine Bedienoberfläche zur Verfügung, anhand derer Standard-Szenarien geladen, individuelle Eingaben gesetzt, die Berechnung durchgeführt und Ergebnisse ausgelesen werden können.

Durch die umfassenden Literaturaufbereitungen sind dokumentierte Informationen für die weitere Verwendung verfügbar. Die Kombination aus Experteninterviews und Beobachtungen generierte anhand einer heterogenen Stichprobe qualitative und quantitative Informationen zu Verhaltensweisen und arbeitshygienischen Praktiken, welche gut mit den vorherigen Ergebnissen aus der Literatur übereinstimmen und diese ergänzen. Die anhand einer umfangreichen Datenbasis ermittelten Einflussparameter von Transfereffizienzen erlauben deren Gruppierung. Dadurch stehen Standard-Werte für Transfereffizienzen bereit, welche im Modell hinterlegt sind und anderweitig für Modellanwendende schwer verfügbar wären. Das entwickelte Modell benötigt somit nur wenige Eingabeparameter. In Kombination mit den Standard-Szenarien sowie der Bedienoberfläche ist es anwendungsfreundlich.

Die Relevanz von oraler Exposition wurde insbesondere für einige Arbeitsbereiche aufgezeigt. Folglich ist künftig die Möglichkeit einer oralen Aufnahme im Arbeitskontext zu evaluieren. Die Einträge durch Transfer und Aerosole wurden umfassend beschrieben, weitere erforderliche Daten erhoben und letztendlich in einem Screening-Modell zusammengeführt. Dieses Modell ist zukünftig für Bewertungen der oralen Exposition am Arbeitsplatz verfügbar.

Abstract

Oral exposure in the workplace has so far been neglected in European chemicals regulation under the assumption of good occupational hygiene. This contrasts with scientific studies, which parallely monitor inhalation as well as dermal and systemic exposure and which thereby provide evidence of the relevance of oral uptake. In order to ensure comprehensive protection for workers, all relevant exposure pathways must be taken into account in the assessment. Thus, the aim of this work was to systematically evaluate the relevance of oral exposure in the workplace. In addition, the development of a screening model for the quantitative description of occupational oral exposure was pursued so that a basis for decision-making on relevance could be established and a method for evaluation could be provided.

To this end, four systematic reviews of documented information were carried out, taking into account the relevance of occupational oral exposure, relevant behavior and occupational hygiene practices, mechanisms leading to oral exposure and available measurement data. Subsequently, additional qualitative and quantitative information on relevant behavior and occupational hygiene practices was collected in expert interviews and observations in workshops and laboratories. Documented transfer efficiencies, which are relevant for the quantitative description of oral exposure, were statistically evaluated and aggregated using the thereby identified influencing parameters. Based on that, a model for quantifying occupational oral exposure was developed and exemplary tested.

According to the literature review conducted in this study, oral exposure is particularly relevant for work in industrial settings, in indoor areas as well as for recycling activities. The fundamental mechanisms of this exposure route are the transfer of chemicals and the ingestion of aerosols. Contacts between hands and mouth were identified as the main causes based on expert interviews, and their frequency in observations was determined as six contacts per hour (75^{th} percentile). According to the statistic evaluation of transfer efficiencies, the substance category, start and destination of the transfer pathway, the contact duration as well as the type of contact are distinguished as influencing parameters. Transfer efficiencies were aggregated for further use for all combinations of these parameters. The overall model developed here modularly combines the contributions of transfer and aerosols. Twelve standard scenarios were developed, which provide the necessary inputs for the developed model in a user-friendly manner. If the results for the standard scenarios are compared with calculations based on varied transfer efficiencies and contact frequencies, the model results correspond to the 78^{th} to 87^{th} percentile. Measurement data available

from the literature are also predominantly and proportionally overestimated. Specifically, the overestimation of measurement data aggregated to mean values is at least a factor of 1.9. A user interface is available for the model, which can be used to load standard scenarios, set individual inputs, perform the calculation and read out the results.

The comprehensive literature reviews provide documented information for further use. The combination of expert interviews and observations generated qualitative and quantitative information on behavior and occupational hygiene practices based on a heterogeneous sample, which corresponds well with and supplements previous findings from the literature. The transfer efficiencies could be grouped because their influencing parameters were determined on the basis of an extensive database. Thereby, default values for transfer efficiencies are provided, which are stored in the model and would otherwise be difficult to obtain for model users. The developed model therefore requires only a few input parameters. In combination with the standard scenarios and the user interface, it is user-friendly.

The relevance of oral exposure has been proven for at least specific workplaces. Consequently, the possibility of an oral uptake at work should be evaluated in the future. The contributions by transfer and aerosols were described in detail. Further necessary data was collected and finally merged into a screening model. This model will be available in the future for evaluations of occupational oral exposure.

Nach Möglichkeit wurden in dieser Arbeit geschlechtsneutrale Bezeichnungen von Personengruppen gewählt. In Ausnahmefällen, beispielsweise beim Begriff „Experteninterview“, wurde davon abgesehen, um eine bessere Lesbarkeit und die Verständlichkeit der Texte sicherzustellen. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für alle Geschlechter.

Danksagung

Zuerst möchte ich mich bei meiner Doktormutter Frau *Prof. Anke Kahl* bedanken, die meinem Thema von Beginn an mit großer Offenheit und Begeisterung begegnet ist. Sie hat mich während meiner Promotion begleitet, verschiedene methodische Ansätze mit mir diskutiert und war stets offen für neue Ideen und Vorschläge. Ihre positive und ermutigende Haltung war in meiner Promotion eine wichtige Unterstützung.

Herrn *Prof. Matthias Greiner* danke ich für die Übernahme der Zweitgutachtertätigkeit, die in Workshops eingebrachten Gedankengänge und Anregungen sowie die stets konstruktiven Vorschläge zur weiteren Entwicklung und Analyse des Modells.

Darüber hinaus danke ich Herrn *Dr. Urs Schlüter* für die fachliche Betreuung an der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Er hat mich jederzeit unterstützt und es ermöglicht, meine Dissertation in seiner Fachgruppe anzufertigen.

Bei meinen Kolleginnen und Kollegen möchte ich mich an dieser Stelle für den fachlichen Austausch, das kollegiale Miteinander und die moralische Unterstützung bedanken. Ganz besonders gilt dies für *Fabian Stemmler*, der mich bei der Durchführung der Experteninterviews und Beobachtungen tatkräftig unterstützte und jederzeit für Fragen und Diskussionen bereitstand. *Wiebke Schnieder* danke ich für die geduldige und gewissenhafte Extraktion der Transfereffizienzen und deren Aufbereitung in einer Datenbank. *Prof. Dr. Nadja Dörflinger* gilt mein besonderer Dank für ihre engagierte Beratung und die wertvollen Tipps zur Entwicklung und Durchführung der Experteninterviews. *Dr. Bruno Orthen* danke ich für das Einbringen seiner toxikologischen Perspektive zur Beschreibung des Eintrags der Aerosole, die vielen Telefonate und die hilfreichen Literaturempfehlungen.

Darüber hinaus gilt mein Dank den Expertinnen und Experten, ohne deren Zeit und Unterstützung die Interviews in dieser Arbeit nicht möglich gewesen wären. Ebenso möchte ich mich bei den Betrieben bedanken, die mich für die Beobachtungen willkommen geheißen haben und ohne die wichtige Daten fehlen würden.

Zuletzt gilt mein Dank meinen Eltern, meiner Familie und meinen Freunden, die mich immer unterstützen. Mein Mann *Arn* hat nicht nur geduldig mit mir diskutiert, sondern mir auch unterstützend den Rücken freigehalten. *Laura* und *Dorothee* möchte ich für die kontinuierliche Unterstützung, Motivation und das Korrekturlesen danken.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung **iii**

Abstract **v**

Abbildungsverzeichnis **xv**

Tabellenverzeichnis **xix**

Abkürzungsverzeichnis **xxi**

Symbolverzeichnis **xxiii**

1 Einleitung **1**

2 Systematische Informationsaufbereitung **5**

2.1 Methodik: PRISMA 5

2.1.1 Auswahl von Informationsquellen 6

2.1.2 Suchstrategien 8

2.1.3 Auswahl von Studien 9

2.1.4 Datenextraktion & Biasbewertung 10

2.1.5 Software 10

2.2 Relevanz beruflicher oraler Exposition 11

2.2.1 Spezifikation der Methodik & Durchführung 11

2.2.2 Auswertung & Ergebnisse 13

2.2.3 Diskussion 19

2.2.4 Zwischenfazit: Relevanz beruflicher oraler Exposition 21

2.3 Relevante Verhaltensweisen und Arbeitshygiene 22

2.3.1 Spezifikation der Methodik & Durchführung 22

2.3.2 Auswertung & Ergebnisse 25

2.3.3 Diskussion 34

2.3.4 Zwischenfazit: Relevante Verhaltensweisen und Arbeitshygiene . . . 36

2.4 Mechanismen oraler Exposition 37

2.4.1 Spezifikation der Methodik & Durchführung 37

2.4.2 Auswertung & Ergebnisse 39

2.4.3 Diskussion 46
2.4.4 Zwischenfazit: Mechanismen oraler Exposition 48
2.5 Messdaten zur Modellerprobung 49
2.5.1 Spezifikation der Methodik & Durchführung 49
2.5.2 Auswertung & Ergebnisse 49
2.5.3 Diskussion 53
2.5.4 Zwischenfazit: Messdaten zur Modellerprobung 53
2.6 Stärken und Schwächen der systematischen Literaturrecherchen 54
2.7 Ableitung einer Definition von oraler Exposition am Arbeitsplatz 55
2.8 Fazit zu systematischen Literaturrecherchen 56

3 Verhaltensweisen und arbeitshygienische Praxis 57
3.1 Experteninterviews 57
3.1.1 Experteninterviews: Methodik 57
3.1.2 Ergebnisse der Interviews 64
3.1.3 Diskussion der Interviewergebnisse 72
3.1.4 Fazit aus den Experteninterviews 76
3.2 Beobachtungen in Werkstätten und Laboren 77
3.2.1 Beobachtungen: Methodik 77
3.2.2 Auswertung und Ergebnisse der Beobachtungen 80
3.2.3 Diskussion der Beobachtungsergebnisse 86
3.2.4 Fazit aus den Beobachtungen 88
3.3 Methodentriangulation: Interviews & Beobachtungen 89
3.3.1 Fazit der Methodentriangulation 91

4 Transfer von Chemikalien 93
4.1 Material & Methoden 93
4.1.1 Datenbasis zu Transfereffizienzen 94
4.1.2 Identifikation von Einflussparametern 98
4.1.3 Aggregation von Transfereffizienzen 99
4.2 Ergebnisse 100
4.2.1 Identifikation von Einflussparametern 100
4.2.2 Aggregation von Transfereffizienzen 102
4.3 Diskussion 106
4.3.1 Datenbasis zu Transfereffizienzen 106
4.3.2 Transfereffizienzen: Modellbildung 106
4.3.3 Identifikation von Einflussparametern 107
4.3.4 Aggregierung von Transfereffizienzen 109
4.3.5 Methodentriangulation: Interviews und Beobachtungen 109

4.4 Fazit 110

5 Modellentwicklung & -erprobung 111

5.1 Abschätzung der beruflichen oralen Exposition 111
5.1.1 Transfer von Chemikalien 111
5.1.2 Eintrag durch Aerosole 115
5.1.3 Gesamtmodell 117
5.1.4 Vergleich: Abschätzung oraler Exposition für Verbrauchende 118
5.2 Entwicklung von Standard-Szenarien 119
5.3 Perzentil der oralen Exposition 122
5.4 Modellstruktur & -implementierung 124
5.5 Exemplarische Erprobung des Modells 129
5.6 Sensitivitätsanalyse 130
5.7 Gegenüberstellung der Expositionspfade 132
5.7.1 Vergleich von oraler mit dermaler und inhalativer Exposition 132
5.7.2 Variabilität von Exposition 133
5.8 Diskussion 135
5.8.1 Abschätzung der beruflichen oralen Exposition 135
5.8.2 Entwicklung von Standard-Szenarien 138
5.8.3 Perzentil der oralen Exposition 141
5.8.4 Modellstruktur & -implementierung 142
5.8.5 Exemplarische Erprobung des Modells 142
5.8.6 Sensitivitätsanalyse 144
5.8.7 Gegenüberstellung der Expositionspfade 145
5.9 Weitere Entwicklungen basierend auf dem OMORE-Modell 148
5.10 Fazit der Modellentwicklung 150

6 Fazit und Ausblick 151

Literatur 155

I Systematische Informationsaufbereitung 163

I.1 Relevanz oraler Exposition 163
Literatur 175
I.2 Verhalten und Arbeitshygiene 185
Literatur 207
I.3 Mechanismen oraler Exposition 216
Literatur 234
I.4 Messdaten 246

Literatur 251

II Verhaltensweisen und arbeitshygienische Praxis 253

II.1 Datenschutz und Ethik 253
II.2 Experteninterviews 262
II.3 Beobachtungen 284

III Transfer von Chemikalien 309

III.1 Datenlage 310
III.2 Voraussetzungen statistischer Analyse 313
III.3 Analyse einflussreicher Fälle 315

IV Modellentwicklung 317

IV.1 Entwicklung von Standard-Szenarien 317
IV.2 Perzentil der oralen Exposition 324
IV.3 Modellstruktur & -implementierung 325
IV.4 Dokumentationen: Modell, Standard-Szenarien 340
IV.5 Exemplarische Erprobung des Modells 346
IV.6 Identifikation einflussreicher Modellparameter 352
IV.7 Gegenüberstellung der Expositionspfade 362
Literatur 363

Abbildungsverzeichnis

1.1 Struktur der Arbeit. 3

2.1 Schritte einer systematischen Literaturrecherche. 6
2.2 Prinzip der Suchstrings. 8
2.3 PRISMA-Flowchart zur Relevanz oraler Exposition. 13
2.4 Detailkategorien der Konzeptmatrix: Relevanz. 15
2.5 Schlussfolgerungen zur Relevanz: Arbeitsbereiche. 17
2.6 Schlussfolgerungen zur Relevanz: Gewerbe und Industrie. 17
2.7 Schlussfolgerungen zur Relevanz: Stoffgruppen. 18
2.8 PRISMA-Flowchart zu Verhaltensweisen und Arbeitshygiene. 26
2.9 Detailkategorien der Konzeptmatrix: Verhaltensweisen und Arbeitshygiene. . 27
2.10 Kumulative Häufigkeiten der Hand-Mund Kontakte basierend auf Literatur. . 28
2.11 Händewaschen, Handdesinfektion und Handschuhe nach Arbeitsbereichen. 29
2.12 Boxplot zur Wirksamkeit von Schulungen. 31
2.13 Boxplot zur Wirksamkeit von Schulungen nach Arbeitsbereichen. 32
2.14 Boxplot der Variabilität. 34
2.15 PRISMA-Flowchart zu Mechanismen. 40
2.16 Detailkategorien der Konzeptmatrix: Mechanismen. 41
2.17 Kontext der Studien zu Mechanismen. 42
2.18 Korrelationen mit stoffspezifischen Transfer-Einflussparametern. 44
2.19 Korrelationen mit kontaktspezifischen Transfer-Einflussparametern. 45
2.20 Pfade von Aerosolen durch den Atemtrakt sowie in das Verdauungssystem. 46
2.21 PRISMA-Flowchart zu Messdaten beruflicher oraler Exposition. 50
2.22 Detailkategorien der Konzeptmatrix: Messdaten. 51
2.23 Boxplot der Messdaten zu oraler Exposition. 52

3.1 Experten- und Gesamtsteckbrief. 63
3.2 Experten: Verhaltensweisen im Kontext oraler Exposition. 66
3.3 Experten: Arbeitsumfeld. 67
3.4 Experten: Schutzmaßnahmen. 68
3.5 Experten: Weitere Betrachtung und Forschungsschwerpunkte. 69
3.6 Erfahrungsberichte der Experten: Sauberkeit. 70

3.7 Schematische Darstellung des Beobachtungsbogens 78
3.8 Boxplot der Kontakthäufigkeiten aus den Beobachtungen. 80
3.9 Ergebnisse Scheirer-Ray-Hare Test: Wechselhäufigkeit Handschuhe. 83
3.10 Effektgrößen und Konfidenzintervalle: Wechselhäufigkeit Handschuhe. . . . 84
3.11 Kumulative Häufigkeiten aus Beobachtungen und Literatur. 85

4.1 Parameter der Datenbank zu Transfereffizienzen. 95
4.2 Transfer-Datenbank: Boxplots der Transfereffizienzen (Mittelwerte). 96
4.3 Transfer-Datenbank: Datenaufbereitung. 97
4.4 Aggregierte Transfereffizienzen (Massen-normierte Daten). 104
4.5 Aggregierte Transfereffizienzen (Flächen-normierte Daten). 105

5.1 Kontaktflächenanteil am Beispiel einer Hand. 113
5.2 Aerosole in der Modellierung. 116
5.3 Monte Carlo-Simulation: Arbeiten mit Kühlschmierstoffen. 123
5.4 Modellstruktur. 124
5.5 Bedienoberfläche. 128
5.6 Modellerprobung. 130
5.7 Relative Sensitivitätsanalyse des Modells. 132
5.8 Interpretation der Sensitivitätsanalyse. 145

I.1 Kumulative Verteilungen der Kontakthäufigkeiten (Literatur, Mittelwerte) . . . 202
I.2 Kumulative Verteilungen der Kontakthäufigkeiten (Literatur, Mediane) 204
I.3 Kumulative Verteilungen der Kontakthäufigkeiten (Literatur, Maxima) 205
I.4 Mechanismen: Repräsentierte Stoffgruppen. 231
I.5 Korrelationen Transfer: Haut, Oberfläche, Start und Ziel sowie Umgebung. . 232
I.6 Korrelationen Transfer: Stoffspezifisch, kontaktspezifisch 233
I.7 Boxplots der Messdaten: Biomonitoring, Probenahme unter Fingernägeln, Wischen der Lippen. 250

II.1 Experten: Beschriebene Branchen. 277
II.2 Experten: Beschriebene Arbeitsplätze. 277
II.3 Experten: Perspektiven auf orale Exposition. 278
II.4 Experten: Ursachen und Mechanismen oraler Exposition. 278
II.5 Experten: Schulungen. 279
II.6 Erfahrungsberichte der Experten: Schutzmaßnahmen. 280
II.7 Erfahrungsberichte der Experten: Sicherheitskultur. 281
II.8 Erfahrungsberichte der Experten: Essen, Trinken. 282
II.9 Erfahrungsberichte der Experten: Arbeitsplatzspezifisch. 283
II.10 p-Werte, Effektgrößen und Konfidenzintervalle: Hand-Mund Kontakte. 297

II.11 p-Werte, Effektgrößen und Konfidenzintervalle: Arm-Mund Kontakte. 298
II.12 p-Werte, Effektgrößen und Konfidenzintervalle: Objekt-Mund Kontakte. . . . 299
II.13 p-Werte, Effektgrößen und Konfidenzintervalle: Objekt-Hand Kontakte. . . . 300
II.14 p-Werte, Effektgrößen und Konfidenzintervalle: Trinken. 301
II.15 p-Werte, Effektgrößen und Konfidenzintervalle: Händewaschen. 302
II.16 Kumulative Häufigkeiten aus Beobachtungen. 305
II.17 Kumulative Häufigkeiten: Vergleich von Laboren und Werkstätten. 308

III.1 Transfer-Datenbank: Boxplots der Transfereffizienzen (Mediane). 310
III.2 Transfer-Datenbank: Boxplots der Transfereffizienzen (Einzelwerte). 311
III.3 Transfer-Datenbank: Stoffkategorien. 312
III.4 Transfer: Residualdiagramme. 313
III.5 Transfer: Fehlerterme im QQPlot. 314
III.6 Transfer: Analyse einflussreicher Fälle. 315

IV.1 Modellerprobung: Geometrisches Mittel. 349
IV.2 Modellerprobung: Minima. 350
IV.3 Modellerprobung: Maxima. 350
IV.4 Modellerprobung: 10. Perzentil. 351
IV.5 Modellerprobung: 90. Perzentil. 351
IV.6 Modellerprobung: 95. Perzentil. 352
IV.7 Lineare Sensitivitätsanalyse des Modells. 352
IV.8 Sensitivität: Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen. 353
IV.9 Sensitivität: Arbeiten mit Antineoplastika. 353
IV.10 Sensitivität: Arbeiten mit geschmolzenen Metallen. 354
IV.11 Sensitivität: Arbeiten mit Kühlschmierstoffen. 354
IV.12 Sensitivität: Beschichten von Metallen. 355
IV.13 Sensitivität: Einfüllen, sprühen von Pestiziden. 355
IV.14 Sensitivität: Hochdruckreinigen. 356
IV.15 Sensitivität: Oberflächensprühen von Flüssigkeiten. 356
IV.16 Sensitivität: Produzieren von Batterien. 357
IV.17 Sensitivität: Reparieren von Metallbauteilen. 357
IV.18 Sensitivität: Sortieren in Sägewerken. 358
IV.19 Sensitivität: Streichen (Rolle, Bürste). 358

Tabellenverzeichnis

2.1 Informationsquellen der PRISMA-Studien. 7
2.2 Beispiel einer Konzeptmatrix. 10
2.3 Eignungskriterien: Verhaltensweisen & Arbeitshygiene 23
2.4 Eignungskriterien: Mechanismen oraler Exposition. 38
2.5 Aufschlüsselung der identifizierten Messdaten gemäß Stoffgruppen und Probenahmemethoden. 51

3.1 Semistrukturierter Interview-Leitfaden. 60
3.2 Beschreibung der Arbeitsbereiche durch die Experten. 64
3.3 Methodentriangulation: Interviews und Beobachtungen. 89

4.1 Transfer: Modelle für Massen-normierte und Flächen-normierte Daten. . . . 101
4.2 Eingabeparameter zur Auswahl einer Transfereffizienz. 103
4.3 Einflussparameter Transfer: Gegenüberstellung Literatur und Modell. 108

5.1 Gegenüberstellung OMORE-Modell und ConsExpo. 119
5.2 Berechnungsergebnisse für Standard-Szenarien. 122
5.3 Vergleich der dermalen, inhalativen und oralen Exposition. 133

I.1 Testergebnisse der Suchstrategien zur Relevanz. 163
I.2 Suchstrategien zur Relevanz. 164
I.3 Relevanz: Suchstrategien, Datenbanken bzw. Websites und Suchdaten. . . 164
I.4 Eingeschlossene Studien zur Relevanz oraler Exposition. 166
I.5 Evaluierung der Suchstrategien zu Arbeitshygiene und Verhalten. 185
I.6 Suchstrings Arbeitshygiene und relevantes Verhalten. 185
I.7 Arbeitshygiene und Verhalten: Suchstrategien, Datenbanken bzw. Websites und Suchdaten. 186
I.8 Eingeschlossene Studien zu Arbeitshygiene und relevanten Verhaltensweisen. 191
I.9 Suchstrings Mechanismen oraler Exposition. 216
I.10 Evaluierung der Suchstrategien zu Mechanismen oraler Exposition. 216
I.11 Mechanismen oraler Exposition: Suchstrategien, Datenbanken bzw. Websites und Suchdaten. 217
I.12 Eingeschlossene Studien zu Mechanismen oraler Exposition. 220

I.13 Suchstrings Messdaten. 246
I.14 Evaluierung der Suchstrategien zu Messdaten. 246
I.15 Messdaten: Suchstrategien, Datenbanken bzw. Websites und Suchdaten. . 246
I.16 Eingeschlossene Studien zu Messdaten. 249

II.1 Poisson-Parameter λ für Kontakthäufigkeiten mit dem Mund. 303

IV.1 Konservative Umrechnung basierend auf Konzentrationen. 317
IV.2 Standard-Szenarium: Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen 317
IV.3 Standard-Szenarium: Arbeiten mit Antineoplastika 318
IV.4 Standard-Szenarium: Arbeiten mit geschmolzenen Metallen (Raffinerie, Produktion) 318
IV.5 Standard-Szenarium: Arbeiten mit Kühlschmierstoffen 319
IV.6 Standard-Szenarium: Beschichten von Metallen 320
IV.7 Standard-Szenarium: Einfüllen, sprühen von Pestiziden 320
IV.8 Standard-Szenarium: Hochdruckreinigen 321
IV.9 Standard-Szenarium: Oberflächensprühen von Flüssigkeiten 321
IV.10 Standard-Szenarium: Produzieren von Batterien 322
IV.11 Standard-Szenarium: Reparieren von Metallbauteilen 322
IV.12 Standard-Szenarium: Sortieren in Sägewerken 323
IV.13 Standard-Szenarium: Streichen (Rolle, Bürste) 323
IV.14 Monte Carlo: Orale Exposition. 324
IV.15 Monte Carlo: Abhängigkeit von dermaler Exposition. 325
IV.16 Exemplarische Erprobung des Modells. 346
IV.17 Sensitivitätsanalyse für alle Standard-Szenarien. 359
IV.18 Vergleich der oralen, dermalen und inhalativen Variabilität. 362

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AGS	**A**usschuss für **G**efahr**s**toffe
AIC	**A**kaike **I**nformation **C**riterion
Al	**Al**veolarbereich
ANOVA	Varianzanalyse-Modelle (**An**alysis **o**f **va**riance)
BAuA	**B**undesanstalt für **A**rbeitsschutz **u**nd **A**rbeitsmedizin
BCa	**B**ias **C**orrected and **a**ccelerated method
BfR	**B**undesinstitut **f**ür **R**isikobewertung
DNEL	**D**erived **N**o **E**ffect **L**evel
ECETOC TRA	**E**uropean **C**entre for **E**cotoxicology and **T**oxicology of **C**hemicals **T**argeted **R**isk **A**ssessment
ECHA	**E**uropean **Ch**emicals **A**gency
ET	**E**xtra**t**horakal
ETEAM	Forschungsprojekt: **E**valuation of **T**ier 1 **E**xposure **A**ssessment **M**odels under REACH
GESIS	**Ge**sellschaft **S**ozialwissenschaftlicher **I**nfra**s**truktur-einrichtungen
HC	Heteroskedastizität-Konsistenz (**h**eteroskedasticity **c**onsistency)
HEAdhoc	BPC **Ad hoc** Working Group on **H**uman **E**xposure of the European Chemicals Agency
HSE	**H**ealth and **S**afety **E**xecutive
IOM	**I**nstitute of **O**ccupational **M**edicine
MEMORA	Modulare Modellansätze zur Expositionsabschätzung für die Risikobewertung am Arbeitsplatz im Rahmen der Chemikaliensicherheit (**M**odular **E**xposure **M**odels for **O**SH **R**isk **A**ssessment in Chemical Safety)
MW	**M**ittel**w**ert
NIOSH	**N**ational **I**nstitute for **O**ccupational **S**afety and **H**ealth
O	**O**utcome

Fortgeführt auf Folgeseite

Fortführung

Abkürzung	Bedeutung
OECD	**O**rganisation for **E**conomic **C**o-operation and **D**evelopment
OMORE	**O**ccupational **M**odel for **O**ral **R**oute **E**xposure
P	**P**opulation
PRISMA	**P**referred **R**eporting **I**tems for **S**ystematic reviews and **M**eta-**A**nalyses
PSA	**P**ersönliche **S**chutz**a**usrüstung
REACH	Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien (**R**egistration, **E**valuation, **A**uthorisation and Restriction of **Ch**emicals)
REEG	**R**EACH **E**xposure **E**xpert **G**roup
RIVM	National Institute for Public Health and the Environment (**R**ijks**i**nstituut voor **V**olksgezondheid en **M**ilieu)
STOP	**S**ubstitution, **T**echnische Schutzmaßnahmen, **O**rganisatorische Schutzmaßnahmen, **P**ersönliche Schutzmaßnahmen
TB	**T**racheo-**B**ronchialbaum
TE	**T**ransfer**e**ffizienz
TNO	Netherlands Organization for Applied Scientific Research (Nederlandse Organisatie voor **t**oegepast-**n**atuurwetenschappelijk **o**nderzoek)
TRGS	**T**echnische **R**egeln für **G**efahr**s**toffe
US EPA	**U**nited **S**tates **E**nvironmental **P**rotection **A**gency
WHO	**W**orld **H**ealth **O**rganization

Symbolverzeichnis

Symbol	Bedeutung	Einheit
$c_{Kontakt,\ groß}$	Kontaktflächenanteil für große kontaktierende Oberflächen	[-]
$c_{Kontakt,\ klein}$	Kontaktflächenanteil für kleine kontaktierende Oberflächen	[-]
c_{Min}	Minimale Konzentration	[%]
c_{Start}	Startkonzentration	[%]
c_{Ziel}	Zielkonzentration	[%]
$dermal_{Arm}$	Dermale Exposition: Arm	$[\mathrm{mg\,h^{-1}}]$
$dermal_{Hand}$	Dermale Exposition: Hand	$[\mathrm{mg\,h^{-1}}]$
$dermal_{Perioral}$	Dermale Exposition: Periorale Region	$[\mathrm{mg\,h^{-1}}]$
F	F-Wert	[-]
$f_{Arm\text{-}Oral}$	Kontakthäufigkeit Arm-Oral	[-]
$f_{Hand\text{-}Oral}$	Kontakthäufigkeit Hand-Oral	[-]
$f_{Obj\text{-}Oral}$	Kontakthäufigkeit Objekt-Oral	[-]
$I_{untere\ Grenze}$	Untere Intervallgrenze	[Kontakte]
I_i	Intervallmitte	[Kontakte]
$Intervallbreite_i$	Breite des i-ten Intervalls	[Kontakte]
$Kontamination_{Obj}$	Kontamination von Objekten	$[\mathrm{mg\,h^{-1}}]$
M	Anzahl der Intervalle	[-]
n	Anzahl der Studien	[-]
n_{ges}	Gesamtzahl der Beschäftigten der Beobachtungsstudie	[-]
n_i	Anzahl der Beschäftigten des Intervalls	[-]
oE	Orale Exposition	$[\mathrm{mg\,h^{-1}}]$
P	Modellparameter	[-]
P_0	Beobachtete Übereinstimmung	[-]
P_e	Erwartete Übereinstimmung	[-]
p	Signifikanzwert	[-]
R^2	Bestimmtheitsmaß	[-]

Fortgeführt auf Folgeseite

Fortführung

Symbol	Bedeutung	Einheit
$R_{0,95}$	Varianz nach Rappaport	[-]
$R^2_{adjusted}$	Bestimmtheitsmaß, korrigiert für die Anzahl der Variablen	[-]
$R^2_{multiple}$	Bestimmtheitsmaß für ein multiples lineares Modell	[-]
r	Korrelationskoeffizient	[-]
$Sensitivität_{linear}$	Sensitivität nach linearer Berechnung	[mg h^{-1}]
$Sensitivität_{relativ}$	Sensitivität nach relativer Berechnung	[-]
TE	Transfereffizienz	[-]
$TE_{Start\text{-}Haut,\ Dest\text{-}Haut}$	Transfereffizienz von Haut zu Haut	[-]
$TE_{Start\text{-}Obj,\ Dest\text{-}Haut}$	Transfereffizienz von Objekt zu Haut	[-]
t_i	Beobachtungsdauer des Intervalls	[h]
$\bar{x}$	Gewichteter Mittelwert	[Kontakte/h]
$\Delta\bar{x}_i$	Maximale Abweichung zwischen wahrem Wert und Intervallmitte	[Kontakte]
η^2	Effektstärke	[-]
κ	Cohen's kappa	[-]
λ	Poisson-Parameter	[-]

Kapitel 1

Einleitung

Für den umfassenden Schutz von Beschäftigten (Arbeitnehmenden) muss ihre berufliche Exposition gegenüber Gefahrstoffen gemäß der Gefahrstoffverordnung evaluiert werden [1, 2]. Auch für Risikobewertungen im Rahmen der REACH-Verordnung (Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien) muss die Exposition von Beschäftigten eingehend bewertet werden [3]. Dabei stehen bislang die inhalative und dermale Exposition im Fokus. Einen potenziellen dritten Expositionsweg am Arbeitsplatz stellt die orale Exposition dar, welche unterschiedliche Aufnahmewege durch Verschlucken zusammenfasst. Gemäß REACH-Guidance Dokument R.14 muss eine orale Exposition am Arbeitsplatz bislang nicht quantitativ bewertet werden, da diese bei guter Arbeitshygiene als vernachlässigbar angenommen wird [4].

Demgegenüber stehen einige Publikationen, welche die systemische Exposition aus Biomonitoring-Studien mit parallel erhobenen inhalativen und dermalen Daten vergleichen und daraus eine Relevanz von oraler Exposition am Arbeitsplatz ableiten. Beispielsweise identifizierten Karita *et al.* bei Beschäftigten einer Bleiraffinerie eine positive Korrelation aus Blutbleiwerten und Blei-Ablagerungen im Gesicht sowie unter den Fingernägeln [5]. Da sowohl die inhalative Exposition bei den vorliegenden Partikelgrößen als auch eine dermale Aufnahme von Blei vernachlässigbar sind, schließen die Autoren auf einen relevanten Beitrag der oralen Exposition. In der Galvanikindustrie folgerten Beattie *et al.* eine relevante orale Aufnahme, da die Biomonitoring-Werte von Chrom und Nickel nicht durch die parallel erhobene dermale und inhalative Exposition erklärt werden können [6]. Cherrie *et al.* schätzten die Relevanz der oralen Exposition weitergehend ab, indem sie 15,6 % der Beschäftigten in Großbritannien als potenziell betroffen identifizierten [7].

Darüber hinaus ist bislang keine systematische Bewertung der Relevanz von oraler Exposition am Arbeitsplatz verfügbar. Insbesondere liegen nur wenige Modellansätze und keine standardisierten Messmethoden vor, welche eine Abschätzung der oralen Exposition am Arbeitsplatz erlauben. In den wenigen bislang verfügbaren Studien liegt der Fokus der Betrachtungen auf der oralen Exposition gegenüber Feststoffen [8, 9]. Flüssigkeiten hingegen werden kaum betrachtet.

Um Beschäftigte umfassend vor allen Expositionswegen schützen zu können, ist folglich

eine vertiefende Betrachtung von oraler Exposition notwendig. Dabei liegt ein offensichtlicher Widerspruch zwischen Chemikalienregulation und Gefahrstoffverordnung einerseits und Ergebnissen einiger Studien an Arbeitsplätzen andererseits vor.

Das Hauptziel dieser Arbeit besteht deshalb darin, einen zielgerichteten Beitrag zur quantitativen Beschreibung von oraler Exposition am Arbeitsplatz zu leisten. Daraus resultieren folgende Ziele:

Z1 Die Relevanz von beruflicher oraler Exposition gegenüber Feststoffen und Flüssigkeiten ist umfassend aufzubereiten.

Z2 Ursachen und Mechanismen oraler Exposition sind zu identifizieren und qualitativ zu beschreiben.

Z3 Quantitative Hintergrundinformationen sind als Informationsbasis zu den beitragenden Mechanismen zu erheben und aufzubereiten.

Z4 Die Mechanismen selbst sind quantitativ zu beschreiben und in einem Screening-Modell für die orale Exposition am Arbeitsplatz zu verknüpfen.

Z5 Das so entwickelte Screening-Modell ist exemplarisch zu erproben. Durch weiterführende Analysen des Modells ist das Verständnis für die Entstehung von oraler Exposition zu vertiefen.

Dieses Screening-Modell wird schwerpunktmäßig für Chemikalien, insbesondere für Flüssigkeiten, entwickelt und soll einfach anwendbar sein. Darüber hinaus soll das Modell die tatsächliche orale Exposition sinnvoll überschätzen und somit konservativ sein. Die Modell-Berechnungen sollen dazu dienen, die Höhe der oralen Exposition zu quantifizieren. Weiterhin erlaubt das Modell die Analyse der Entstehung von beruflicher oraler Exposition basierend auf verschiedenen Einträgen. Dieses Verständnis ist Voraussetzung für die zukünftige Ableitung zielgerichteter arbeitsplatzspezifischer Schutzmaßnahmen. Zudem stellt die Entwicklung dieses Modells die Grundlage für einen fundierten Vergleich von dermaler, inhalativer sowie oraler Exposition an konkreten Arbeitsplätzen dar.

Zum Erreichen dieser Ziele ist die Arbeit wie folgt strukturiert und in Abb. 1.1 visualisiert, wobei Klammerausdrücke auf die jeweils verfolgten Ziele hinweisen:

1. Anhand vier systematischer Literaturrecherchen werden theoretische Grundlagen identifiziert und die bestehende dokumentierte Informationsbasis der folgenden Punkte erhoben:
   - Relevanz von oraler Exposition (Ziel ***Z1***),
   - relevante Verhaltensweisen und arbeitshygienische Praxis (Ziele ***Z2***, ***Z3***),
   - Entstehungsmechanismen oraler Exposition sowie (Ziele ***Z2***, ***Z3***)

- verfügbare Messdaten zur Modellerprobung (Ziel ***Z5***).

Im Rahmen der Informationsaufbereitungen wird eine Definition dessen, was in dieser Arbeit unter „oraler Exposition am Arbeitsplatz“ verstanden wird, entwickelt.

2. Qualitative und quantitative Informationen zu relevanten Verhaltensweisen und arbeitshygienischen Praktiken werden in semistrukturierten Experteninterviews und Arbeitsplatzbeobachtungen erhoben (Ziele ***Z2***, ***Z3***).

3. Einflüsse auf den Transfer von Chemikalien als Entstehungsmechanismus werden anhand einer Auswertung dokumentierter Messergebnisse identifiziert (Ziel ***Z3***).

4. Die einzelnen Module werden abschließend in einem Screening-Modell kombiniert, welches Einträge durch Transfer und Aerosole berücksichtigt (Ziel ***Z4***). Anhand der verfügbaren Daten wird das Modell exemplarisch erprobt (Ziel ***Z5***). Die Relation der Einträge sowie das Verhältnis zu dermaler und inhalativer Exposition wird exemplarisch analysiert (Ziel ***Z5***).

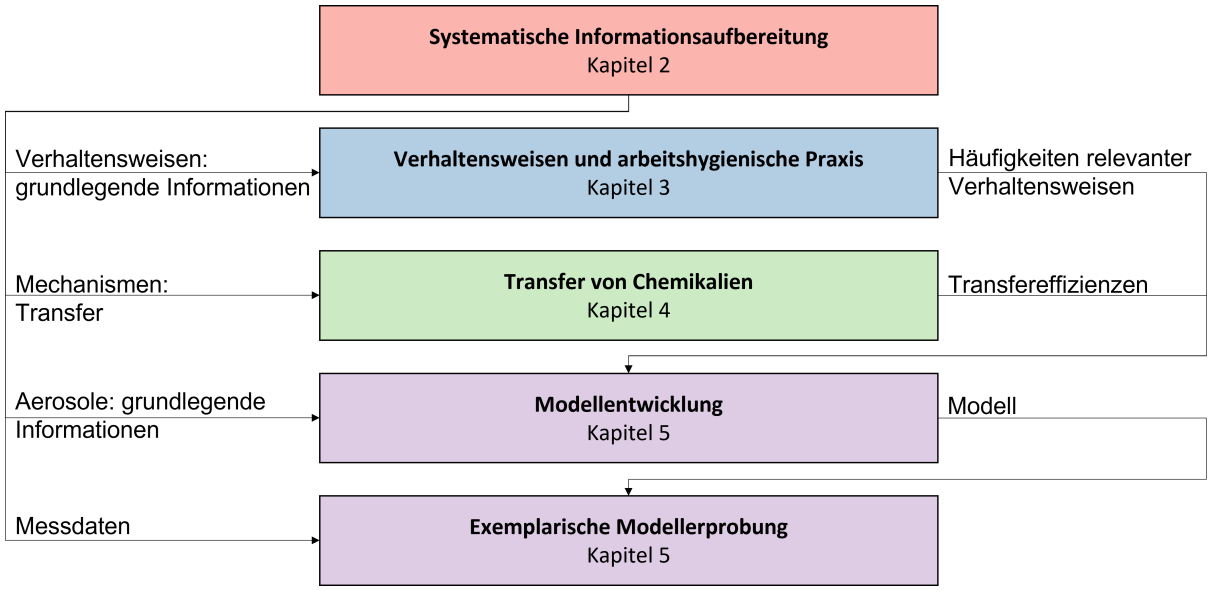


Abbildung 1.1: Zusammenfassende Darstellung der Struktur der Arbeit inklusive der Kapitel sowie Verknüpfungen anhand der Hauptergebnisse.

Kapitel 2

Systematische Informationsaufbereitung

Als Grundlage für die Entwicklung eines Modells zur Abschätzung von oraler Exposition am Arbeitsplatz wurden zunächst Informationen aus verschiedenen Themenbereichen aufbereitet. Die Relevanz von beruflicher oraler Exposition wurde in einer ersten systematischen Literaturrecherche analysiert. Qualitative und quantitative Informationen zu relevanten Verhaltensweisen und arbeitshygienischen Praktiken wurden in einer zweiten Recherche fokussiert. In einer dritten Informationsaufbereitung wurden Mechanismen identifiziert sowie vertiefend betrachtet. Als viertes wurden Messdaten zur späteren Modellerprobung berücksichtigt.

Nach der Identifikation von relevanten wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Studienberichten wurden die enthaltenen wesentlichen Informationen extrahiert und für die weiteren Entwicklungsschritte in dieser Arbeit nutzbar gemacht. Dies stellt sicher, dass die folgenden Entwicklungen unmittelbar an den aktuellen Wissensstand anknüpfen und verfügbare Informationen genutzt werden.

Im Folgenden wird zunächst die Methodik beschrieben, die allen vier Recherchen zugrunde liegt. Anschließend werden die einzelnen Recherchen hinsichtlich der Methodik spezifiziert und deren Ergebnisse beschrieben sowie diskutiert.

2.1 Methodik: PRISMA

Die systematischen Literaturrecherchen erfolgten auf Grundlage der **P**referred **R**eporting **I**tems for **S**ystematic reviews and **M**eta-**A**nalyses (PRISMA) Methode, welche ursprünglich aus der medizinischen Forschung stammt und in einer Erklärung festgehalten ist [10]. Die Methode sichert eine in jedem Schritt gut dokumentierte und damit möglichst reproduzierbare Herangehensweise sowie die systematische Identifikation relevanter dokumentierter Studien [10, 11]. Das im Folgenden für diese Arbeit beschriebene und in Abb. 2.1 zusammengefasste Vorgehen umfasst die Auswahl von Informationsquellen, die Definition und

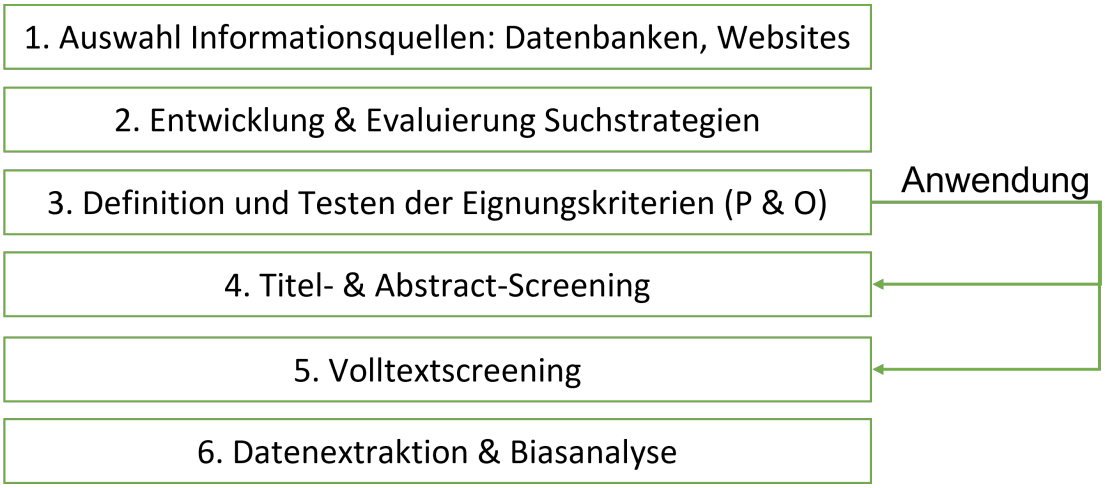


Abbildung 2.1: Zusammenfassende Darstellung der Schritte einer systematischen Informationsaufbereitung gemäß der in [10] festgelegten PRISMA-Methode.

Evaluierung von Suchstrings, die Auswahl von Studien anhand definierter Eignungskriterien sowie die Datenextraktion.

2.1.1 Auswahl von Informationsquellen

Die Auswahl der Informationsquellen sichert eine umfassende Abdeckung von unabhängig überprüften (peer-reviewed) Studien. Neben fachübergreifenden wissenschaftlichen Datenbanken wurden deshalb – sofern verfügbar – zudem fachspezifische Datenbanken zur Berücksichtigung entsprechend spezialisierter Literatur einbezogen. Aufgrund der größtenteils englischsprachigen Veröffentlichungen überwiegen englischsprachige Datenbanken. Da an der Informationsaufbereitung ausschließlich auch deutschsprachige Gutachtende beteiligt waren, wurde dieser Vorteil zum Einbezug zusätzlicher deutschsprachiger Datenbanken und entsprechender Veröffentlichungen genutzt.

Berichte von Forschungseinrichtungen, die zwar hohen Qualitätsstandards entsprechen, jedoch nicht als unabhängig geprüfte Veröffentlichungen erschienen sind, sind nicht in der bisherigen Auswahl von Datenbanken verfügbar. Um diese dennoch in der Informationsaufbereitung zu berücksichtigen, wurde die Liste der wissenschaftlichen Datenbanken um einige Websites renommierter Forschungsinstitute erweitert, bei denen mögliche relevante Publikationen zu erwarten sind. Eine Übersicht der verwendeten Informationsquellen gibt Tabelle 2.1.

Tabelle 2.1: Übersicht der verwendeten Datenbanken und Websites. Ergänzt sind die zugehörige URL sowie die Einordnung in allgemeine (allg.) oder spezifische Datenbanken.

Nr.	Datenbank / Website	Webadresse	Allg.	Spezifisch
1	bergischbib	http://www.bergischbib.de/	x	-
2	COCHRANE	https://www.cochranelibrary.com/advanced-search	-	Medizin
3	Deutsche Nationalbibliothek	https://katalog.dnb.de	x	-
4	PubMed	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/advanced/	x	-
5	PubPsych	https://pubpsych.de/	-	Psychologie
6	Web of Science	https://www.webofscience.com	x	-
7	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)	https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Publikationen_node.html	x	-
8	United States Environmental Protection Agency (US EPA)	https://www.epa.gov/nscep (advanced search)	x	-
9	Health and Safety Executive (HSE)	https://www.hse.gov.uk/pubns/	x	-
10	Institute of Occupational Medicine (IOM)	https://www.iom-world.org/research/online-library/	x	-
11	National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)	https://www2a.cdc.gov/nioshtic-2/advsearch2.asp	x	-
12	Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)	https://www.oecd-ilibrary.org/	x	-
13	National Institute for Public Health and the Environment (RIVM)	https://www.rivm.nl/en/recentpublications	x	-
14	Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO)	https://repository.tno.nl/islandora/search/	x	-
15	World Health Organization (WHO)	https://apps.who.int/iris/	x	-

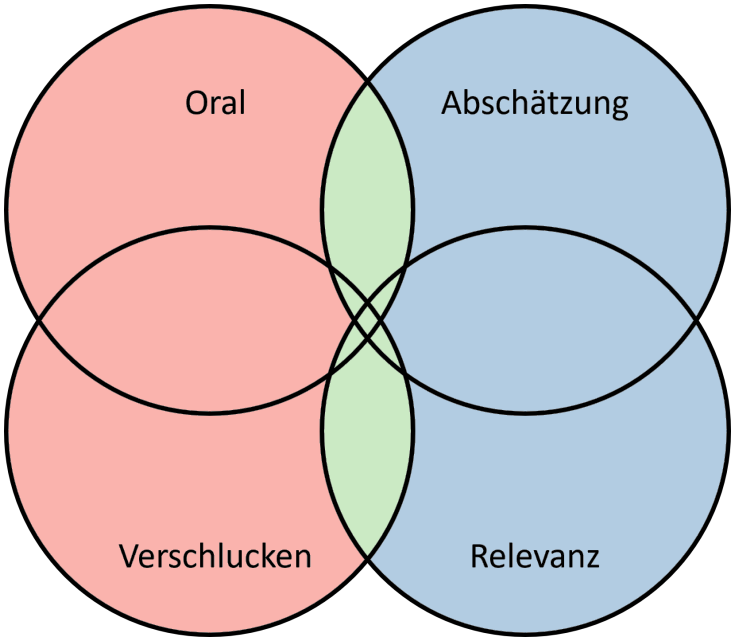


Abbildung 2.2: Exemplarische Visualisierung der Verknüpfung von verschiedenen Suchbegriffen anhand boolescher Operatoren anhand eines Venn-Diagramms. Rosa bzw. blau sind je die Synonyme gefärbt (OR). Grünlich ist die gesuchte Schnittmenge (AND).

2.1.2 Suchstrategien

In jeder Informationsquelle wurde ein umfassender aber auch zielgenauer Einbezug relevanter Veröffentlichung verfolgt. Um diese spezifizierte Identifikation der Veröffentlichungen sicherzustellen, wurde ein zur Suchstrategie zählender Suchstring verwendet. Dazu enthalten Suchstrings einzelne Suchbegriffe sowie deren Synonyme, welche insbesondere mit den booleschen Operatoren „AND“ und „OR“ verknüpft werden [12]. Beispielsweise identifiziert der Suchstring (Oral OR Verschlucken) AND (Relevanz OR Abschätzung) alle Veröffentlichungen, die mindestens einen der Begriffe „Oral“ oder „Verschlucken“ und mindestens einen der Begriffe „Relevanz“ oder „Abschätzung“ enthalten. Grafisch ist diese Vorgehensweise in Abb. 2.2 aufbereitet.

Die zielgenaue Identifikation von möglichst vielen relevanten, aber wenig irrelevanten Veröffentlichungen durch verknüpfte Suchbegriffe erfordert eine Optimierung des Suchstrings. Dieser Optimierungsprozess basierte auf bereits bekannten und hinsichtlich ihres Informationsgehalts geeigneten Veröffentlichungen. Die Optimierung war erfolgreich, wenn die bekannten, geeigneten Veröffentlichungen anhand des Suchstrings möglichst vollständig identifiziert werden.

Neben dem Suchstring wird eine Suchstrategie durch einige Einschränkungen definiert. Im Rahmen dieser Arbeit wurden nur Publikationen einbezogen, die ab dem Jahr 2000 veröffentlicht wurden. Basierend auf vorangegangenen stichprobenartigen Recherchen sind

für diesen Zeitraum eine Mehrheit der relevanten Veröffentlichungen zu erwarten. Weiterhin wurden vorwiegend englischsprachige Publikationen verwendet. Ausnahmen bestehen für die Datenbanken bergischbib und Deutsche Nationalbibliothek, in denen auch deutschsprachige Veröffentlichungen eingeschlossen wurden.

2.1.3 Auswahl von Studien

Nachdem basierend auf den Suchstrategien für die einzelnen Themenfelder Veröffentlichungen identifiziert wurden, erfolgte die manuelle Auswahl geeigneter Publikationen. Um diese objektiv zu gewährleisten, wurden Eignungskriterien für Population (P) und Outcome (O) definiert [13]. Das Population-Kriterium beschreibt die Studienpopulation, welche die Veröffentlichung behandeln muss, um geeignet zu sein. Üblicherweise werden anhand dieses Kriteriums Personengruppen spezifiziert. Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Population-Begriff ausgedehnt, sodass alle fokussierten Studienobjekte, beispielsweise auch Chemikalien, darunterfallen. Im Rahmen des Outcome-Kriteriums wurden wie allgemein üblich alle Zielgrößen erfasst, die in Bezug auf das Studienobjekt beschrieben sein müssen.

Um den Aufwand bei der Anwendung der Kriterien zu reduzieren, erfolgte diese in einem zweistufigen Screening-Verfahren. Zunächst wurden allgemeine P- & O-Kriterien auf die Titel und Abstracts der Veröffentlichungen angewandt. Nach diesem ersten Schritt verblieb eine stark reduzierte Anzahl an Publikationen, deren Volltexte in einem zweiten Screening-Schritt anhand spezifischer P- und O-Kriterien geprüft wurden.

Um eine hohe Qualität aller Eignungskriterien zu sichern, wurden auf beiden Screening-Ebenen Konsistenzprüfungen (Consistency Checks) ausgeführt. Dabei wendeten zwei Personen parallel und blind die P- & O-Kriterien auf eine zufällige Auswahl von 50 bzw. zehn Veröffentlichungen auf Titel- / Abstract- bzw. auf Volltext-Ebene an. Die Übereinstimmung wurde anhand Cohen's kappa (κ) verglichen, welches eine Bewertung unter Berücksichtigung der zufällig erwartbaren Übereinstimmung erlaubt [14]. Dabei entspricht P_0 der beobachteten und P_e der erwarteten Übereinstimmung:

$$\kappa = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e} \tag{2.1}$$

Abhängig von der errechneten Übereinstimmung können die Kriterien iterativ angepasst werden, sodass diese letztendlich konsistent und objektiv auf verschiedene Veröffentlichungen angewandt werden können. Dies ist Voraussetzung für eine qualitative Identifikation der Studien.

2.1.4 Datenextraktion & Biasbewertung

Aus den identifizierten Veröffentlichungen müssen relevante Informationen für die weitere Modellentwicklung nutzbar sein, wozu diese aus den Publikationen extrahiert wurden. Eine strukturierte Möglichkeit dazu stellen Konzeptmatrizen dar, in denen tabellarisch qualitative Informationen gesammelt werden [15]. Hierfür wurden Konzepte oder auch Kategorien entwickelt, welche verschiedene Informationen widerspiegeln, die eine Veröffentlichung enthalten kann. Beispielsweise wäre ein solches Konzept, dass Hand-Gesicht-Kontakte auf einer unterbewussten Ebene stattfinden. In dieser Arbeit wurden Konzeptmatrizen erweitert, sodass auch quantitative Informationen in entsprechende Tabellenspalten eingetragen werden können. Ein fiktives Beispiel für eine solche erweiterte Konzeptmatrix ist in Tabelle 2.2 dargestellt. Die so erhaltenen Konzeptmatrizen ermöglichen eine übersichtliche Aufbereitung von Informationen aus zahlreichen Veröffentlichungen, sodass eine zusammenfassende Darstellung sowohl von qualitativen als auch von quantitativen Informationen vorliegt.

Tabelle 2.2: Fiktives Beispiel einer Konzeptmatrix mit qualitativen und quantitativen Informationen.

Autor	**Titel**	**Jahr**	**Hand-Gesicht Kontakte sind unterbewusst.**	**Mittelwert Hand-Gesicht Kontakte [h^{-1}]**
Autor 1	A	2022	-	1,7
Autor 2	B	2023	x	2,6

Im Rahmen einer PRISMA-Studie wird die Belastbarkeit der extrahierten Informationen anhand einer Biasbewertung der zugrundeliegenden Studien untersucht. In medizinischen Zusammenhängen erfolgt diese meist quantitativ, indem die veröffentlichten Ergebnisse mit dem vorregistrierten Studienprotokoll verglichen werden [11]. Im Rahmen dieser Arbeit sind die Studiendesigns jedoch sehr vielseitig und die Studien nicht vorregistriert, sodass eine quantitative Biasanalyse nicht möglich war. Stattdessen erfolgte eine qualitative Analyse für die einzelnen Themenfelder [16].

2.1.5 Software

Die beschriebene Herangehensweise wurde hinsichtlich der Literaturverwaltung mit der Software EndNote X9 umgesetzt. In der Software CADIMA [17] erfolgte die Entfernung von Duplikaten sowie das Screening auf Titel- / Abstract- bzw. auf Volltext-Ebene. Die Konzeptmatrizen wurden in Excel 2016 erstellt und Folgeauswertungen in R Programming 4.2.3 ausgeführt.

2.2 Relevanz beruflicher oraler Exposition

In der ersten von vier dementsprechend durchgeführten systematischen Literaturrecherchen wurden Informationen zur Relevanz von beruflicher oraler Exposition aufbereitet. Ein Fokus dabei lag auf der Identifikation von Arbeitsbereichen und Stoffen, für welche die orale Exposition eine besondere Rolle spielt.

2.2.1 Spezifikation der Methodik & Durchführung

In diesem Kapitel wird dargelegt, wie die Informationsquellen, Suchstrategien, Auswahl der Studien und Datenextraktion an die Thematik der ersten systematischen Informationsaufbereitung angepasst wurden.

Informationsquellen & Suchstrategien

Für diese Recherche wurden alle fachübergreifenden Datenbanken sowie COCHRANE verwendet. Ergänzend wurden alle in Tabelle 2.1 aufgeführten Websites durchsucht.

Um geeignete Publikationen hinsichtlich der Relevanz oraler Exposition am Arbeitsplatz zu identifizieren, enthalten alle Suchstrategien englischsprachige Synonyme für die Themenbereiche „Arbeit“, „oral“ und „Exposition“. Da die orale Exposition am Arbeitsplatz bislang selten im Fokus wissenschaftlicher Untersuchungen stand, wurde diese Basissuche anhand verschiedener Zusätze erweitert. Diese umfassen Studien, welche:

1. direkt die Relevanz oraler Exposition untersuchen,
2. indirekt aus parallelem Biomonitoring der internen Exposition sowie externen Messungen der inhalativen und dermalen Belastung auf eine Rolle der oralen Exposition am Arbeitsplatz schließen,
3. anhand von Modellierung oder Abschätzungen auf berufliche orale Exposition verweisen,
4. spezifische Tätigkeiten untersuchen, die in der Studienvorbereitung im Zusammenhang mit oraler Exposition identifiziert wurden.

Für jeden dieser vier Suchansätze wurde eine entsprechende Suchstrategie entwickelt. Darüber hinaus wurden für die ersten drei Ansätze Synonyme für „Flüssigkeiten“ ergänzt, um die Erkenntnislage zu dieser bislang wenig erforschten Stoffgruppe zielgerichtet zu erheben. Für die vierte Suchstrategie wurde diese Ergänzung nicht vorgenommen, da eine entsprechende Spezifikation durch die Suche nach Tätigkeiten bereits vorliegt. Somit ergeben sich insgesamt sieben Suchstrategien (Tabelle I.2).

Die zugehörigen Suchstrategien wurden anhand von 15 Veröffentlichungen in den Datenbanken Web of Science sowie PubMed evaluiert und iterativ optimiert. Eine Übersicht der genutzten Veröffentlichungen sowie der Testergebnisse gibt Tabelle I.1. Die daraus abgeleiteten finalisierten Suchstrings können Tabelle I.2 entnommen werden. Weiterhin enthält Tabelle I.3 eine Übersicht der vereinfachten Suchstrings zur Nutzung auf Websites, da diese sowohl hinsichtlich der Länge von Suchstrings als auch der Verwendung von booleschen Operatoren Einschränkungen unterliegen.

Auswahl von Studien

Für die so identifizierten Studien wurden gemäß Abschnitt 2.1.3 sowohl für das Titel- / Abstract-Screening als auch für das Volltext-Screening Population- und Outcome-Kriterien entwickelt. Für beide Ebenen müssen Beschäftigte als Studienpopulation untersucht werden. Dies garantiert, dass der berufliche Kontext betrachtet wird. Auf der Titel- / Abstract-Ebene wurde das Studien-Outcome allgemein gehalten. Publikationen, deren Studiendesign eine Bewertung der oralen Exposition am Arbeitsplatz erlaubt, wurden weitergehend betrachtet. Dieses weit gefasste Kriterium stellt sicher, dass möglichst viele Veröffentlichungen, die im weiteren Verlauf auch die Relevanz von beruflicher oraler Exposition evaluieren, identifiziert wurden. Spezifiziert wurde das Outcome-Kriterium für die Volltext-Ebene, wo konkrete Schlussfolgerungen hinsichtlich oraler Exposition enthalten sein mussten. Die Eignung dieser Kriterien wurde in Konsistenzprüfungen für beide Screening-Ebenen untersucht.

Während des Screenings wurden die Veröffentlichungen gemäß des Auftretens einiger, als relevant eingeschätzter Schlüsselbegriffe („occupation“, „worker“, „occupational exposure“, „ingestion“, „oral exposure“) sortiert.

Datenextraktion & Datenanalyse

Für die identifizierten Publikationen wurden die Kategorien der Konzeptmatrix in zwei Schritten entwickelt. Zunächst wurden die Schlussfolgerungen hinsichtlich oraler Exposition gemäß der Grobkategorien „irrelevant“, „potenziell relevant“ und „relevant“ eingeordnet. Zudem wurden Informationsgrundlagen für die Schlussfolgerungen anhand der Konzepte „modellbasiert“ oder „basierend auf Messdaten“ erhoben. Auf Grundlage dieser ersten Sortierung wurden Detailkategorien abgeleitet, wie sie in Abschnitt 2.2.2 beschrieben werden.

An dieser Stelle wurde zwischen Primärquellen und Sekundärquellen unterschieden. Ist eine Sekundärquelle nicht bereits in der Literaturrecherche enthalten, wurde diese weiter betrachtet. Ist jedoch bereits die zugehörige Primärquelle vorhanden, wurde die entsprechende Schlussfolgerung nicht aufgenommen, da diese sonst mehrfach gewichtet würde.

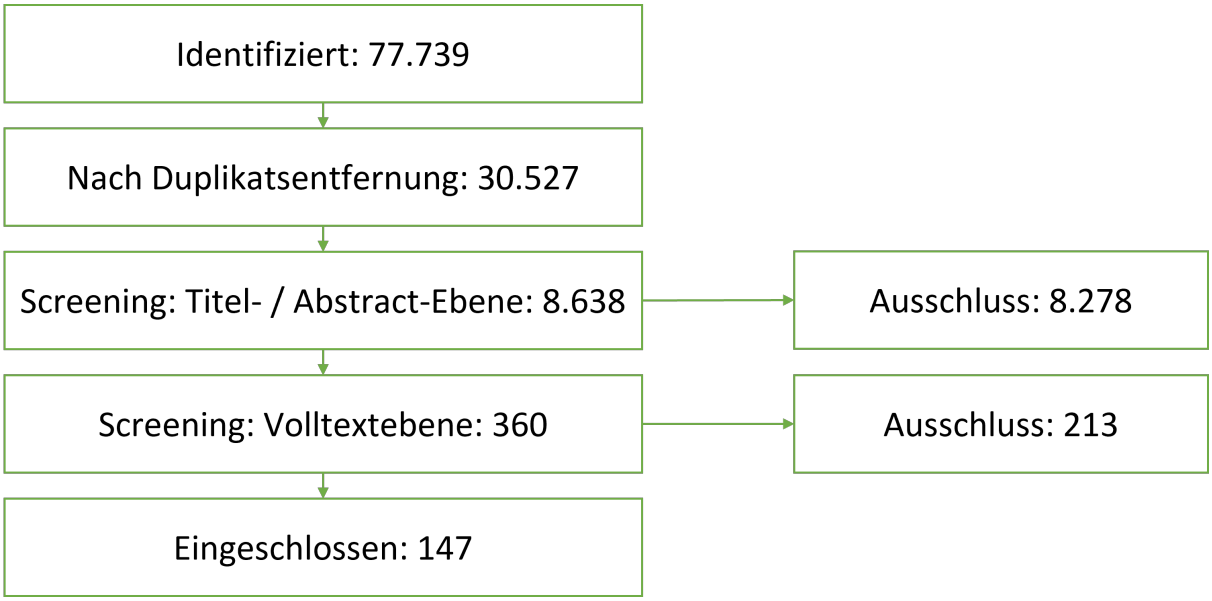


Abbildung 2.3: Anzahl der betrachteten Veröffentlichungen je Screening-Schritt für die Literaturrecherche zur Relevanz beruflicher oraler Exposition. Im Titel- und Abstract-Screening wurden die ersten 8.638 Publikationen basierend auf der Sortierung nach Schlüsselbegriffen geprüft.

2.2.2 Auswertung & Ergebnisse

Aus der Umsetzung dieser an das Recherchethema angepassten Methodik resultieren folgende Ergebnisse:

Auswahl von Studien & eingeschlossene Publikationen

Für die Studienauswahl ergaben sich in den Konsistenzprüfungen für das Titel- / Abstract- bzw. Volltext-Screening Cohen's kappa Werte von 0,63 bzw. 0,81. Gemäß Landis und Koch entspricht dies einer substanziellen bzw. beinahe perfekten Übereinstimmung [18]. Die durch die Konsistenzprüfung ermittelten Abweichungen zwischen beiden Gutachtenden wurden in einem gemeinsamen Gespräch diskutiert und durch Konsens gelöst. Eine Anpassung der Kriterien war nicht erforderlich.

Die Nutzung der Suchstrings in den ausgewählten Datenbanken bzw. Websites sowie die Anwendung der Eignungskriterien führt zu den in Abb. 2.3 dargestellten Anzahlen von Veröffentlichungen. Demnach wurden 8.638 Publikationen basierend auf der Sortierung nach Schlüsselbegriffen im Titel- / Abstract-Screening ausgewertet. 360 verbleibende Studien wurden auf Volltextebene geprüft und 147 Publikationen eingeschlossen. Eine Zusammenfassung der eingeschlossenen Publikationen steht in Tabelle I.4 zur Verfügung.

Datenextraktion

Folglich wurden Daten aus 147 Veröffentlichungen anhand von Konzeptmatrizen extrahiert und zu diesem Zweck relevante Inhalte nach Relevanz, Stoff, Arbeitsbereich sowie zugrundeliegender Modellierung oder Messung kategorisiert. Die von den Grobkonzepten abgeleiteten Detailkategorien können Abb. 2.4 entnommen werden. Falls mehrere dieser Kategorien überlappen, wurde die präzisere Information gewählt. Beispielsweise würde das Ausbringen von Saatgut als „Landwirtschaft“ und nicht als „Arbeiten in Außenbereichen“ beschrieben. Wenn zur Beschreibung eines Stoffes mehrere Kategorien benötigt werden, z.B. bei metallhaltigen Stäuben, wurden alle entsprechenden Kategorien ausgewählt (im Beispiel: Staub / Pulver, Metalle). Dadurch lässt sich die Relevanz oraler Exposition hinsichtlich aller zutreffender Kategorien, im Beispiel Staub / Pulver und Metalle, auswerten.

Relevanz und Irrelevanz

Anhand der so erstellten Konzeptmatrix wurde zunächst evaluiert, welche Schlussfolgerungen in den Veröffentlichungen gezogen werden und welche Informationsquellen zugrunde liegen. Die meisten Studien schließen auf eine potenzielle Relevanz von oraler Exposition (Anzahl der Studien: n=123). Andere Publikationen ordnen diesen Expositionsweg als relevant (n=80) oder irrelevant (n=9) ein. Diese Schlussfolgerungen basieren in 94 Fällen auf Messansätzen und in 78 Fällen auf Modellansätzen. Die Häufigkeiten überschreiten die Anzahl der einbezogenen Studien, da einige Publikationen sowohl Messungen als auch Modellierungen zugrunde legen oder aber mehrere Szenarien betrachten.

Um ein tieferes Verständnis für die Schlussfolgerungen zu erhalten, wurden diese im nächsten Schritt näher aufgeschlüsselt. 31 Veröffentlichungen sehen die orale Exposition als eine beitragende Expositionsroute am Arbeitsplatz, 53 Studien betrachten berufliche orale Exposition hingegen als den Hauptexpositionsweg. Acht Publikationen bewerten die orale Aufnahme aufgrund spezieller Charakteristika der durchgeführten Arbeiten als irrelevant. Eine Veröffentlichung bewertet orale Exposition als irrelevant basierend auf guter arbeitshygienischer Praxis.

Einige der Publikationen mit der Schlussfolgerung (potenziell) relevant führen zudem Mechanismen an, durch welche die orale Exposition entstanden sein kann. Erwähnung finden dabei transferbasierte Einträge ausgehend von

- kontaminierter Kleidung,
- perioraler, also mundnaher dermaler Exposition,
- kontaminierten Oberflächen,
- Nägel kauen,

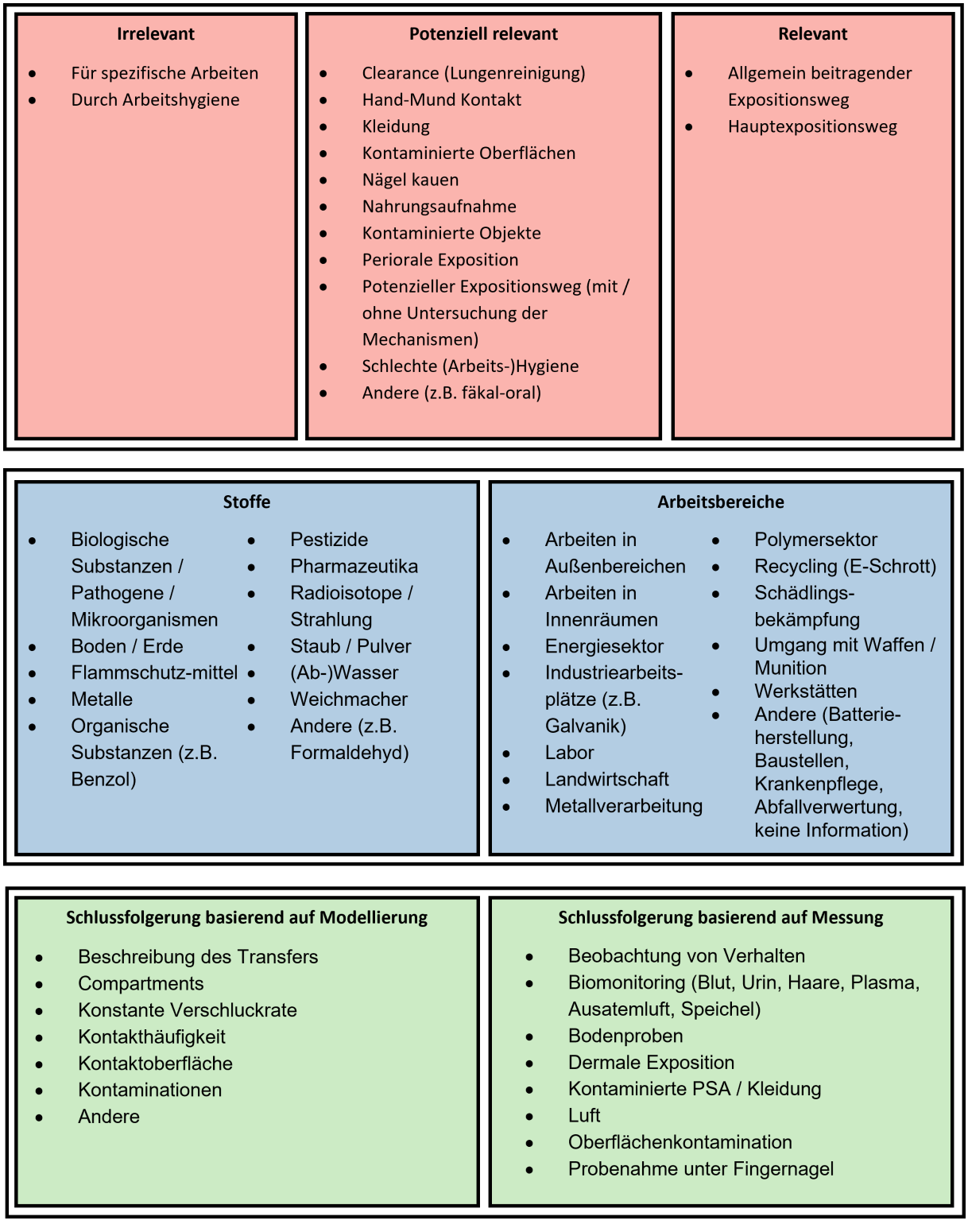


Abbildung 2.4: Detailkategorien, anhand derer Informationen zur Relevanz von oraler Exposition am Arbeitsplatz kategorisiert wurden.

- kontaminierten Objekten,
- Hand-Mund Kontakten, sowie
- der Aufnahme kontaminierter Nahrung.

Weiterhin werden Einträge über die Atemwege und Lungenreinigung sowie schlechte (Arbeits-)Hygiene identifiziert.

Arbeitsbereiche

Basierend auf den identifizierten Schlussfolgerungen in Bezug auf (potenzielle) Relevanz, scheint orale Exposition an einigen Arbeitsplätzen von Bedeutung für die Gesamtexposition zu sein. Um näher zu untersuchen, auf welche Arbeitsplätze die verschiedenen Schlussfolgerungen entfallen, wurden diese gemäß der zugrundeliegenden Branchen aufgeschlüsselt. Gemäß Abb. 2.5 werden Arbeitsplätze im Labor, der Schädlingsbekämpfung sowie im Energiesektor als überwiegend irrelevant bewertet. Demgegenüber stehen Arbeitsplätze in Innenräumen, im Recycling (von Elektroschrott) oder in der Industrie, für die ausschließlich Schlussfolgerungen zur (potenziellen) Relevanz von beruflicher oraler Exposition vorliegen. Weitere Arbeitsbereiche weisen durchmischte Schlussfolgerungen auf, beispielsweise die Landwirtschaft oder Arbeitsplätze in Werkstätten.

Ein weiterer Unterschied zwischen Arbeitsbereichen liegt in deren gewerblicher oder industrieller Prägung. Mit gewerblichen Arbeiten werden überwiegend manuelle Tätigkeiten mit geringerem Schutzstandard assoziiert, wohingegen industrielle Arbeiten tendenziell mit einer stärkeren Automatisierung und höheren Schutzstandards verbunden werden. Demnach würden gewerbliche Arbeitsplätze vermehrt als (potenziell) relevant identifiziert werden. Um dies näher zu untersuchen, wurden die identifizierten Arbeitsbereiche abhängig vom Gesamteindruck der zugehörigen Veröffentlichungen entweder dem Gewerbe (Außenbereiche, Innenräume, Labor, Landwirtschaft, Metallverarbeitung, Recycling (E-Schrott), Schädlingsbekämpfung, Umgang mit Waffen / Munition, Werkstatt) oder der Industrie (Energiesektor, Polymersektor, sonstige Industrie) zugeordnet. Diese Einordnung ist folglich nicht eindeutig, sondern repräsentiert die Mehrheit der in den Veröffentlichungen geschilderten Arbeitsplätze. Wie in Abb. 2.6 dargestellt, überwiegen die gewerblich eingeordneten Arbeitsplätze sowohl für (potenziell) relevante als auch für irrelevante Schlussfolgerungen. Dies spiegelt sich analog in beiden Untersuchungsmethoden (Messansätze und Modellansätze) wider.

Stoffgruppen

Neben der Identifikation von Arbeitsbereichen ist auch eine Betrachtung relevanter Stoffgruppen von Bedeutung. Folglich wurden analog verschiedene Stoffgruppen, wie in Abb. 2.7

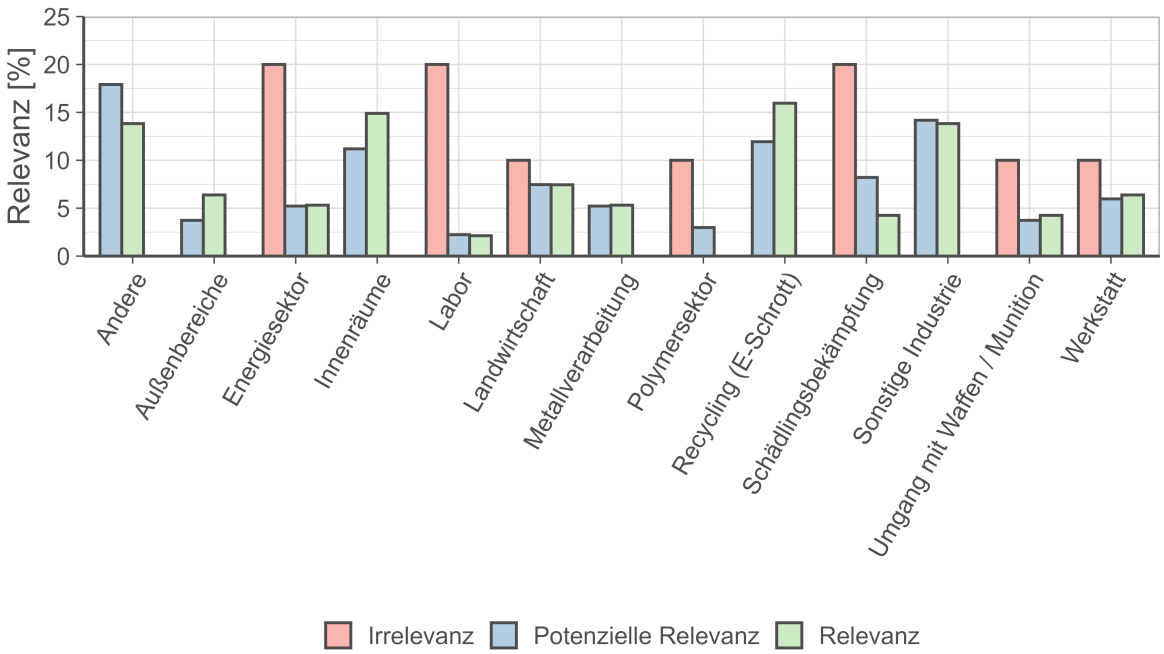


Abbildung 2.5: Schlussfolgerungen zur Relevanz oraler Exposition nach Arbeitsbereichen. x-Achse: Arbeitsbereiche, welche in den Publikationen betrachtet werden. y-Achse: Prozentualer Anteil der jeweiligen Schlussfolgerungen, die auf entsprechende Branchen entfallen. Beispielsweise wurden 20 % der „irrelevant"-Schlussfolgerungen für Arbeitsplätze im Energiesektor getroffen.

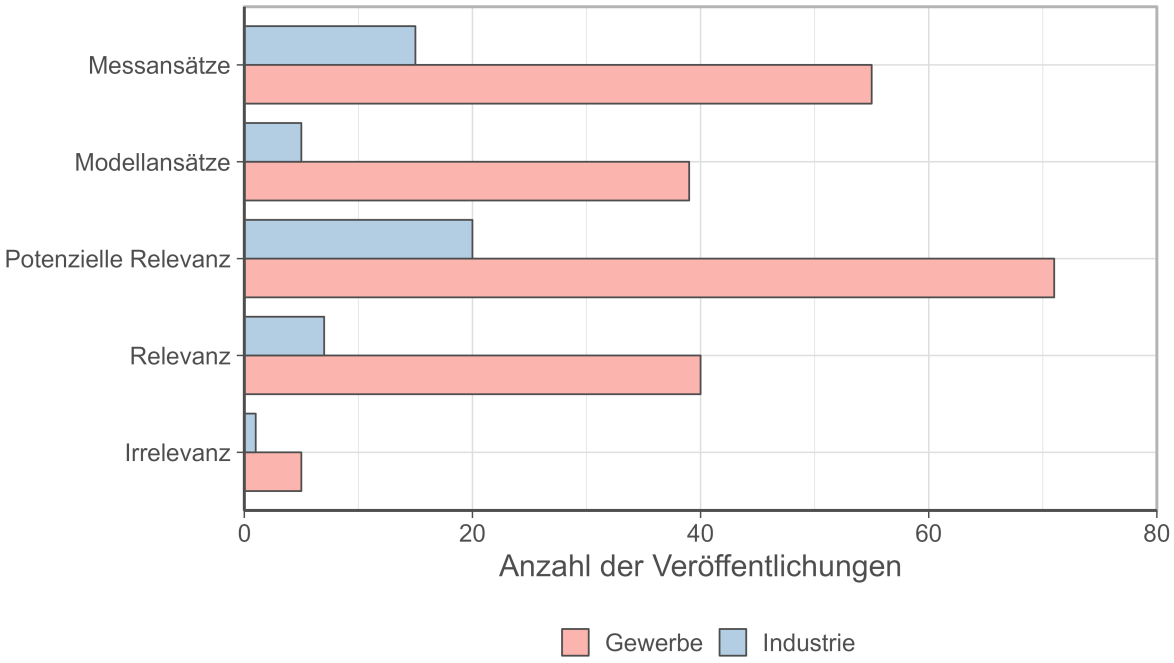


Abbildung 2.6: Anzahl der Schlussfolgerungen, die jeweils auf gewerbliche bzw. industrielle Arbeitsplätze bezogen sind.

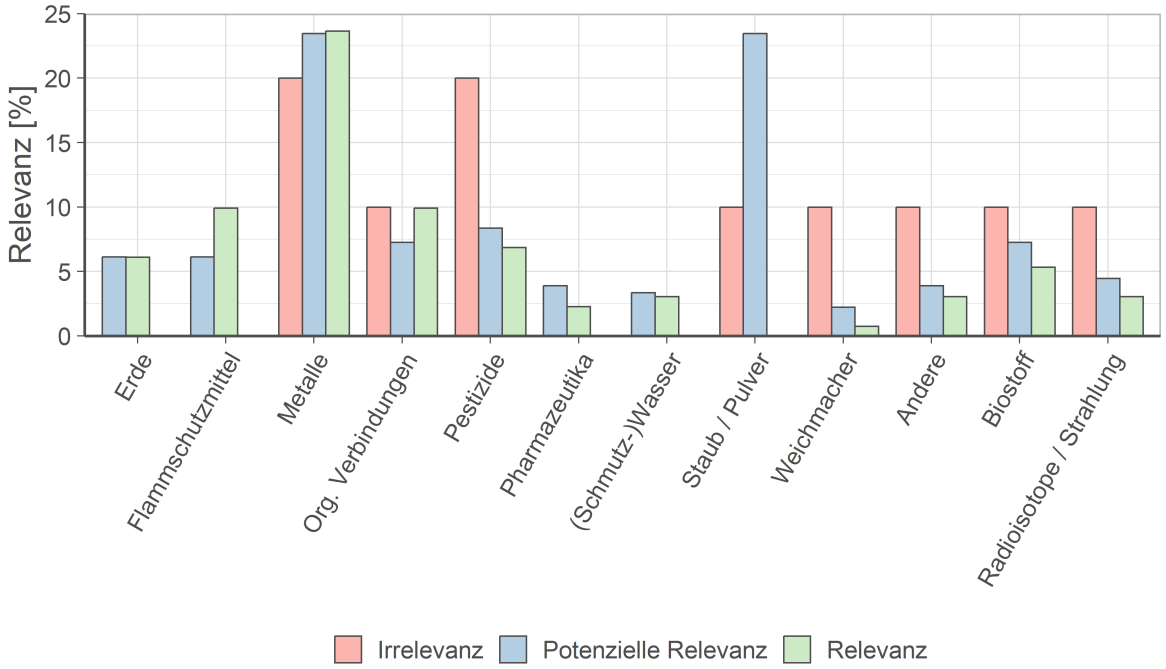


Abbildung 2.7: Unterscheidung der Schlussfolgerungen zur Relevanz oraler Exposition nach Stoffgruppen.

dargestellt, untersucht. Im Gegensatz zur Untersuchung der Arbeitsbereiche überwiegen hier für einzelne Stoffgruppen nicht spezifische Schlussfolgerungen, sondern es liegen sowohl viele Aussagen zur Relevanz als auch zur Irrelevanz vor. Folglich konnte keine Stoffgruppe identifiziert werden, für die orale Exposition eine besondere Rolle spielt. Stattdessen ist lediglich die orale Exposition gegenüber den Stoffgruppen der Metalle, Pestizide und Staub / Pulver verstärkt erforscht.

Darüber hinaus betrachten einige der Studien die orale Exposition von Beschäftigten als ergänzenden Baustein zu deren Exposition als Verbrauchende. Demnach wurden vermehrt Stoffe untersucht, welche für Privatpersonen im Fokus stehen. Stoffgruppen wie (Schmutz-) Wasser oder Biostoffe, die für Beschäftigte relevant sind, wurden vergleichsweise selten betrachtet.

Modellierungsansätze und Probenahmemethoden

Zusätzlich zur bisherigen Perspektive auf berufliche orale Exposition ist es für weitere Arbeiten hilfreich, bisherige Beschreibungsansätze des Expositionswegs zu kennen. Daher wurden die den Veröffentlichungen zugrundeliegenden Modellierungsansätze näher untersucht. Ein Großteil der Modellierungen beruht auf der Setzung einer konstanten Verschluckungsrate (n=60). Laut Empfehlung der US EPA sollen für Erwachsene $30\,\mathrm{mg}$ Staub pro Tag berücksichtigt werden [19]. Basierend auf einer bekannten Konzentration von Staubkontaminationen kann im Produkt mit der Verschluckungsrate daraus die orale Exposition

gegenüber einem Stoff berechnet werden. Ein Beispiel für ein entsprechendes Modell zur Abschätzung von oraler Exposition Verbrauchender ist ConsExpo [20].

Weitere, jedoch weitaus weniger Modellansätze, beziehen Kontakthäufigkeiten (n=17), einen Transfer von Chemikalien (n=14), die Kontaktoberfläche (n=12), Kontaminationen (n=9) oder Compartments wie die Hände oder Objekte (n=7) ein. Einflüsse durch persönliche Gewohnheiten und Verhaltensweisen sowie Berechnungen basierend auf Biomonitoring werden je einmal genannt. Die Häufigkeit des Händewaschens wird in keiner Veröffentlichung als Modellparameter beschrieben.

Ferner wurden in 94 Studien ein oder mehrere Ansätze zur Messung von oraler Exposition am Arbeitsplatz genannt. Dazu zählen Biomonitoring-Ansätze (n=44) wie beispielsweise die Analyse von Kondensaten der Ausatemluft. Die Beprobung von Oberflächenkontaminationen (n=42), Luftmessungen (n=33) oder dermale Expositionsmessungen der perioralen Region, des Gesichts, der Hand oder sonstiger Körperoberflächen (n=29) wurden beschrieben. Darüber hinaus wurden Bodenproben (n=8), die Analyse von Kontaminationen der persönlichen Schutzausrüstung (PSA) oder Kleidung (n=5), die Beobachtung von Verhalten (n=5) und die Probenahme unter Fingernägeln (n=1) genannt. Hinsichtlich der Häufigkeiten stechen Oberflächenkontaminationen, Luftmessungen, dermale Handexpositionsmessungen und Biomonitoring-Messungen hervor, wie sie in Kombination für parallele Expositionsmessungen (beispielsweise [6]) benötigt werden.

2.2.3 Diskussion

Im Folgenden werden die Ergebnisse der systematischen Literaturrecherche zur Relevanz von oraler Exposition am Arbeitsplatz diskutiert.

Relevanz und Irrelevanz

Die analysierten Veröffentlichungen enthalten eine deutlich höhere Anzahl an Schlussfolgerungen mit dem Ergebnis (potenziell) relevant (n=123; n=80) als irrelevant (n=9). Dabei war die orale Expositionsroute häufig nicht das Hauptthema der Studie, sondern wurde als ein fehlendes Puzzleteil im untersuchten Szenarium identifiziert. Autoren, die hingegen keine Relevanz von oraler Exposition annehmen, führen dazu wahrscheinlich keine gezielten Studien durch. Zudem halten sie diese Einschätzung in ihren Veröffentlichungen meist nicht fest, sodass Publikationsbias entsteht. Ein Grund für die Annahme von Irrelevanz könnte die in REACH-Guidance R.14 [4] festgehaltene Perspektive darstellen, nach der berufliche orale Exposition aufgrund guter Arbeitshygiene nicht quantitativ untersucht werden muss.

Arbeitsbereiche

Dennoch unterstreichen die identifizierten Studien, dass es zumindest einige Arbeitsplätze gibt, an denen orale Exposition eine Rolle für die Gesamtexposition und somit den Schutz der Beschäftigten spielt. Im nächsten Schritt wurden als relevante Arbeitsbereiche insbesondere Innenräume, das Recycling und industrielle Kontexte bestimmt, um darauf basierend einen zielgerichteten Schutz der betroffenen Beschäftigten zu ermöglichen. Die meisten der in dieser Arbeit einbezogenen Veröffentlichungen beschreiben jedoch lediglich einen groben Kontext der betrachteten Arbeiten, sodass eine Auswertung nach spezifischen Tätigkeiten nicht möglich war. Hinsichtlich der Belastbarkeit der identifizierten Arbeitsbereiche muss zudem berücksichtigt werden, dass gerade die Anzahl der als irrelevant identifizierten Arbeitsbereiche aufgrund des Publikationsbias gering ist und wahrscheinlich Informationen zur Irrelevanz fehlen.

Ein weiterer Gesichtspunkt hinsichtlich der Identifikation relevanter Arbeitsbereiche ist, dass die einbezogenen Studien aus aller Welt stammen. Demzufolge beschreiben die Publikationen hochtechnisierte Industriearbeitsplätze, genauso wie stark manuell und von kaum Schutzmaßnahmen geprägte Arbeitsplätze in Privaträumen. Dennoch erlaubt die Aufschlüsselung eine Identifikation von Arbeitsbereichen, in denen nach bisherigen Erkenntnissen die orale Aufnahme eine besondere Rolle spielt.

Die Aufschlüsselung nach gewerblichen und industriellen Arbeitsplätzen zeigt, dass sowohl für (potenziell) relevante als auch für irrelevante Schlussfolgerungen gewerbliche Arbeitsplätze überwiegen. Basierend auf der insbesondere für irrelevante Einschätzungen geringen Studienzahl lässt sich hier keine grundlegende Aussage treffen. Folglich bleibt die Vermutung bestehen, dass die orale Exposition in gewerblich geprägten Bereichen vermehrt eine Rolle spielen könnte. Mögliche Ursachen wären eine seltenere Verwendung geschlossener Systeme im gewerblichen Kontext oder eine verringerte Umsetzung von Hygiene- und Schutzmaßnahmen an mobilen Arbeitsplätzen.

Stoffgruppen

Eine analoge Analyse von Stoffen ergab keine Identifikation von Substanzen, für welche die orale Aufnahme besonders wichtig ist. Stattdessen spiegelt die Auswertung den bisherigen Forschungsschwertpunkt wider. Dennoch bestätigt die Untersuchung, dass Flüssigkeiten bislang wenig betrachtet wurden, weshalb diese – wo die Datenlage es erlaubt – im Rahmen dieser Arbeit fokussiert werden.

Modellierungsansätze und Probenahmemethoden

Bei der folgenden Analyse von Modellierungsansätzen wurde die Setzung einer konstanten Verschluckungsrate am häufigsten identifiziert. Diese vernachlässigt jedoch örtliche Bedingungen wie das Ausmaß vorliegender Kontaminationen und dermaler Expositionen. Folglich stellt dieser Ansatz keine differenzierte Möglichkeit zur Abschätzung von oralen Exposition am Arbeitsplatz dar.

Bislang konnten keine standardisierten Methoden zur Bestimmung der beruflichen oralen Exposition identifiziert werden. Allerdings wurden verschiedene, teils indirekte Messmethoden ermittelt. Um zukünftig orale Exposition am Arbeitsplatz messtechnisch fundiert erheben zu können, ist folglich eine Weiterentwicklung hinsichtlich der Eignung der Probenahmemethoden sowie deren Standardisierung erforderlich. Weitere Einschränkungen basieren auf der Übertragbarkeit, da beispielsweise Biomonitoring-Methoden stoffspezifisch sind.

2.2.4 Zwischenfazit: Relevanz beruflicher oraler Exposition

Zusammenfassend zeigt die systematische Aufbereitung von Informationen zur Relevanz von oraler Exposition am Arbeitsplatz, dass dieser Aufnahmeweg von Bedeutung sein kann. Besonders häufig wurde die Relevanz bislang für Arbeiten in industriellen Umfeldern, in Innenräumen sowie im Recycling-Bereich festgestellt. Eine Identifikation von Stoffen mit besonderer Relevanz für die berufliche orale Exposition ist anhand der aktuellen Datenlage nicht möglich.

2.3 Relevante Verhaltensweisen und Arbeitshygiene

In der zweiten systematischen Literaturrecherche lag der Fokus auf Verhaltensweisen und arbeitshygienischen Praktiken, welche die Entstehung von oraler Exposition am Arbeitsplatz beeinflussen können. Ergänzend wurden Informationen zu beeinflussenden Schulungen, dem Bewusstsein hinsichtlich relevanter Kontakte sowie dem typischen Ausmaß von Variabilität in der Exposition aufbereitet. Diese Aspekte wurden anhand von fünf Fragestellungen strukturiert, um relevante qualitative und quantitative Informationen zu erzielen.

2.3.1 Spezifikation der Methodik & Durchführung

Die Methodik und Durchführung wurde dazu folgendermaßen an das Thema der Recherche angepasst:

Informationsquellen & Suchstrings

Als Informationsquellen wurden alle in Tabelle 2.1 aufgelisteten Datenbanken und Websites verwendet. Insbesondere die fachspezifische Datenbank PubPsych wurde zur Identifizierung psychologisch geprägter Veröffentlichungen zu Verhaltensweisen ausgewählt.

Der Themenbereich zu relevanten Verhaltensweisen und Arbeitshygiene wurde anhand von fünf Fragestellungen aufbereitet:

1. *Schwerpunkt:* Wie häufig treten Kontakte (beispielsweise zwischen Hand und Mund) auf, die zu oraler Exposition führen können?
2. *Schwerpunkt:* Welche arbeitshygienischen Einflüsse oder Schutzmaßnahmen spielen für die Entstehung oder Reduktion von oraler Exposition am Arbeitsplatz eine Rolle?
3. *Ergänzend:* Welchen Einfluss haben Schulungen auf die Anpassung von Verhaltensweisen?
4. *Ergänzend:* Inwiefern findet Verhalten, das zu oraler Exposition am Arbeitsplatz führt, auf einer bewussten oder unterbewussten Ebene statt?
5. *Ergänzend:* In welchen Bereichen liegt Variabilität zwischen / innerhalb von Beschäftigten für die inhalative oder dermale Exposition?

Die ersten beiden Fragestellungen stellen sicher, dass verfügbare Informationen hinsichtlich zu oraler Exposition führender Kontakte sowie relevanter arbeitshygienischer Praktiken für die spätere Modellentwicklung nutzbar sind und repräsentieren daher den Schwerpunkt der Recherche.

Das genannte dritte Thema adressiert ergänzend dazu den Einfluss bzw. die Wirksamkeit von Schulungen auf Verhaltensänderungen, da diese ggf. das Auftreten von relevanten Verhaltensweisen beeinflussen. Somit können – abhängig von den Ergebnissen der Suche – Schulungen als Einflussparameter in der Modellierung berücksichtigt werden.

In der REACH-Guidance R.14 [4] wird angenommen, dass gute arbeitshygienische Praxis orale Exposition hinreichend minimiert. Deshalb wurde in der vierten Fragestellung untersucht, inwiefern relevante Verhaltensweisen kontrolliert bzw. auf einer bewussten Ebene erfolgen.

Eine fünfte Suche bereitet eine Auswertung hinsichtlich der Variabilität von oraler Exposition vor, die besonders stark von persönlichem Verhalten geprägt sein könnte. Für dermale und inhalative Exposition erfolgt die Beschreibung anhand der Variabilität zwischen (between worker) und innerhalb (within worker) der Beschäftigten. Ursachen sind beispielsweise grundsätzlich verschiedene Techniken einzelner Beschäftigter („zwischen“) oder tagesspezifisch abweichende Bewegungsabläufe einer Personen („innerhalb“). Mithilfe eines Vergleichs der Größenordnungen von dermaler, inhalativer und oraler Variabilität wird im Verlauf der Arbeit exemplarisch betrachtet, inwiefern diese für orale Exposition verstärkt berücksichtigt werden muss. Zunächst erfolgte dazu eine Datenerhebung für dermale und inhalative Exposition.

Zur Evaluierung der entwickelten Suchstrings wurden für jede Fragestellung individuelle Testpublikationen ausgewählt sowie die Identifikation dieser Publikationen in den Datenbanken PubMed und Web of Science geprüft (Tabelle I.5). Die optimierten Suchstrings sind in Tabelle I.6 zusammengefasst. Tabelle I.7 beinhaltet die vereinfachten Suchstrings für Websites.

Auswahl von Studien

Für jede der Suchstrategien wurden sowohl für die Titel- / Abstract-Ebene als auch für die Volltext-Ebene Eignungskriterien für Population und Outcome der Studien definiert (Tabelle 2.3).

Tabelle 2.3: Eignungskriterien für die Studienauswahl zu relevanten Verhaltensweisen sowie arbeitshygienischer Praxis.

Suchstrategie	Population	Outcome
Titel- / Abstract-Ebene		
1. Verhalten	Erwachsene	Jegliche Informationen zu Kontakten oder Verhalten, welche zu oraler Exposition führen können
		Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle 2.3 – Fortführung

Suchstrategie	Population	Outcome
2. Hygiene	Beschäftigte	Jegliche Informationen zu Arbeitshygiene
3. Schulungen	Beschäftigte	Jegliche Informationen zur Häufigkeit und Effizienz von Schulungen im Hinblick auf Verhaltensänderungen oder Expositionshöhe
4. Kontrollierbarkeit	Erwachsene	Jegliche Informationen zu vermeidbaren oder unterbewussten Verhaltensweisen
5. Variabilität	Beschäftigte	Informationen zur Variabilität zwischen / innerhalb von Beschäftigten
Volltext-Ebene		
1. Verhalten	Erwachsene	Quantitative Informationen zu relevantem Verhalten (Häufigkeiten)
2. Hygiene	Beschäftigte	Qualitative Informationen zu arbeitshygienischer Praxis, welche die Informationen aus der Technischen Regel für Gefahrstoffe 500 (TRGS 500) [21] ergänzen; Quantitative Informationen zu Effizienzen und Häufigkeiten von Maßnahmen
3. Schulungen	Beschäftigte	Quantitative Informationen zu Schulungseffizienzen; Ausgenommen: Feedback, Audits, Veränderung der Arbeitsbedingungen, Einschränkungen (bspw. durch nicht verfügbares Wasser), Schulungen zu spezifischen Tätigkeiten wie bspw. Schweißen
4. Kontrollierbarkeit	Erwachsene	Qualitative oder quantitative Informationen zur Kontrollierbarkeit des eigenen Verhaltens
5. Variabilität	Beschäftigte	Relative quantitative Angaben zur Variabilität zwischen / innerhalb von Beschäftigten

Die Eignung der Kriterien wurde für beide Screening-Ebenen in Konsistenzprüfungen evaluiert.

Datenextraktion und Datenanalyse

Analog zum Themenbereich der Relevanz beruflicher oraler Exposition erfolgte die anschließende Datenextraktion kleinschrittig. Eine allgemeine Übersicht stellt dar, welche Publikation zu welchen Fragestellungen Informationen enthält. Zusätzlich wurden Konzeptmatrizen zu jedem einzelnen Themenschwerpunkt erarbeitet. Dabei wurden ergänzende Sekundärquellen in die Konzeptmatrix aufgenommen, wenn entsprechend zitierte Studien die Population- und Outcome-Kriterien erfüllen. Dadurch sind auch einige Veröffentlichungen enthalten, die vor dem Jahr 2000 publiziert wurden.

2.3.2 Auswertung & Ergebnisse

Bei Anwendung der beschriebenen Methodik resultieren folgende Ergebnisse:

Auswahl von Studien & eingeschlossene Publikationen

Die Konsistenzprüfungen für Titel- / Abstract- bzw. Volltext-Ebene ergaben Cohen's kappa-Werte von 0,17 und 0,50. Diese entsprechen laut Landis und Koch [18] einer leichten bzw. moderaten Übereinstimmung. Die Ursachen für diese Abweichungen wurden zwischen den beiden Gutachtenden intensiv diskutiert und Missverständnisse hinsichtlich der Kriterien identifiziert. Beispielsweise wurde im Kontext der Schulungen im Anschluss spezifiziert, dass die Beschäftigten selbst geschult werden müssen. Es genügt folglich nicht, wenn Beschäftigte als Dozierende eine Schulung durchführen. Die Gutachtenden haben anschließend gemeinsam festgestellt, dass die Schärfung der Kriterien eine konsistente Bewertung der Publikationen gewährleistet. Die verbesserten Kriterien sind bereits in Tabelle 2.3 dargestellt.

Die Anzahl der ein- bzw. ausgeschlossenen Publikationen ist in Abb. 2.8 dargestellt. Insgesamt wurden 142 geeignete Veröffentlichungen identifiziert (Tabelle I.8). Davon beschreiben 18 Studien Kontakthäufigkeiten (erste Suchstrategie). 37 behandeln quantitative Maßnahmen, zwei beschreiben qualitative Maßnahmen in Ergänzung zu TRGS 500 (zweite Suchstrategie). Die Effizienz von Schulungen betrachten 25 Veröffentlichungen (dritte Suchstrategie), weitere 16 beschäftigen sich mit der Kontrollierbarkeit von Verhalten (vierte Suchstrategie). 52 Studien beschreiben die Variabilität von Exposition (fünfte Suchstrategie). Einige Studien beinhalten Informationen zu mehreren Suchstrategien.

Datenextraktion

Aus den 142 identifizierten Veröffentlichungen wurden anhand erweiterter Konzeptmatrizen die relevanten qualitativen und quantitativen Daten extrahiert. Dabei sammelt je eine

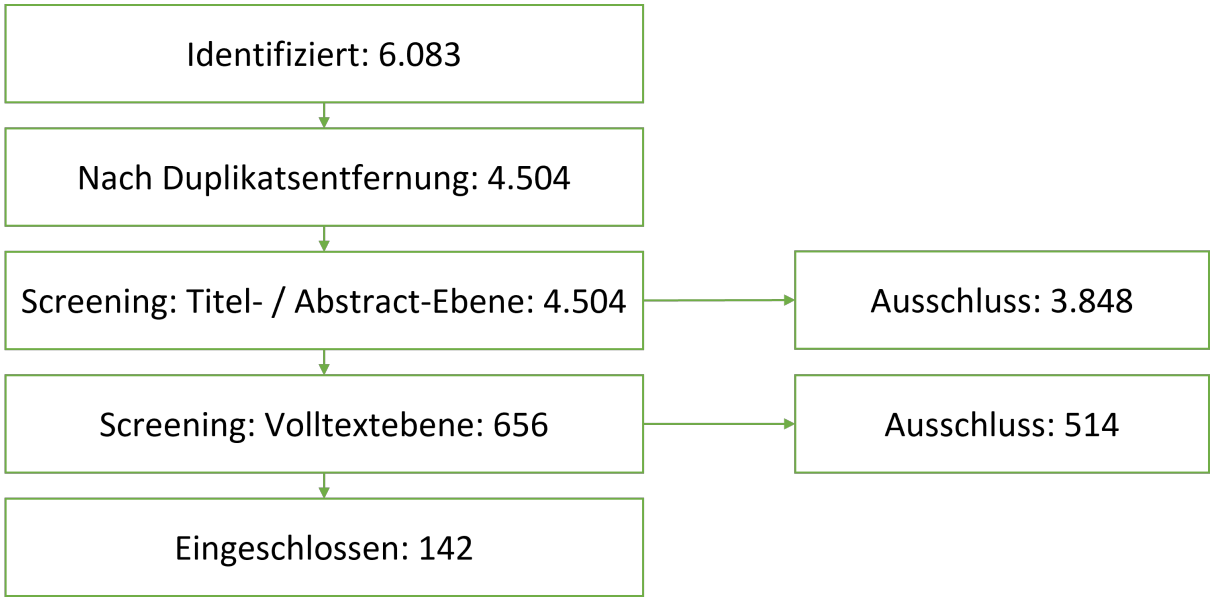


Abbildung 2.8: Anzahl der identifizierten Veröffentlichungen je Screening-Schritt für die Literaturrecherche zu Verhaltensweisen und Arbeitshygiene.

Konzeptmatrix die identifizierten Informationen zu einer der fünf Suchstrategien. Die dazu verwendeten Kategorien der einzelnen Konzeptmatrizen können Abb. 2.9 entnommen werden.

Verhalten

Wie in der ersten Suchstrategie widergespiegelt sind Kontakthäufigkeiten für die modellbasierte Beschreibung der beruflichen oralen Exposition von Interesse. In den identifizierten Studien wurden insbesondere Mittelwerte, Mediane sowie Maxima als Datentypen der Kontakthäufigkeiten angegeben, welche jeweils einzeln ausgewertet wurden. Weiterhin wurden weitestgehend Kontakte zwischen Objekten, Händen und Armen auf der einen Seite mit dem Mund oder Gesicht auf der anderen Seite beschrieben. Die verwendete Terminologie und die Trennung verschiedener Regionen variierte teils stark zwischen den einzelnen Studien. Daher wurden in dieser Arbeit alle Kontakte mit der perioralen Region, den Lippen sowie der Mundhöhle als Kontakte mit dem Mund zusammengefasst. Diese Kontaktarten teilen aufgrund der unmittelbaren Nähe zum Mund ein hohes Potenzial für Chemikalieneinträge und darauffolgendes Verschlucken. Analog wurden die Angaben zur T-Zone (Stirn, Nase, Kinn) den Kontakten mit dem Gesicht zugeordnet.

Für die spätere Modellierung ist nicht von Interesse, wie viele Publikationen einzelne Kontakthäufigkeiten ermitteln. Stattdessen ist es relevant, wie viele Beschäftigte statistisch gewisse Kontakthäufigkeiten durchführen, weshalb die Anzahl der betroffenen Beschäftigten als Bezugsgröße verwendet wurde. Basierend auf diesen Vorüberlegungen wurden aus Studien, für welche die Zahl der Teilnehmenden verfügbar war, kumulative Verteilungen für



Abbildung 2.9: Detailkategorien, anhand derer Informationen zu Verhaltensweisen und arbeitshygienischer Praxis kategorisiert wurden.

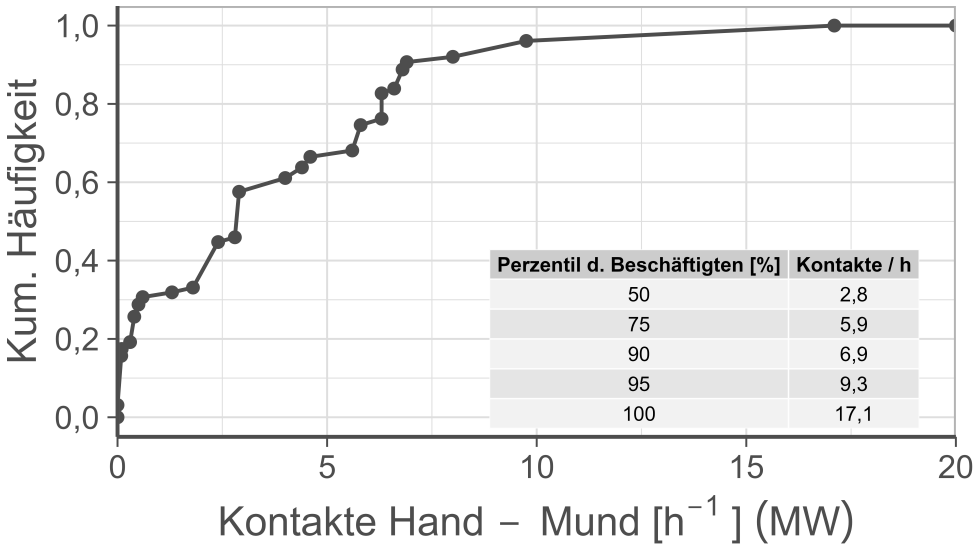


Abbildung 2.10: Kumulative (kum.) Verteilfunktion der Hand-Mund Kontakte basierend auf in der Literatur dokumentierten Mittelwerten (MW).

alle Kontakthäufigkeiten sowie Datentypen erstellt. Daraus kann für die Modellierung ermittelt werden, welche Kontakthäufigkeit ein gewisses Perzentil (beispielsweise 75 %) der Beschäftigten nicht überschreiten. Eine exemplarische Verteilung für Hand-Mund Kontakte ist in Abb. 2.10 dargestellt. Basierend auf dieser Verteilung liegt die Hand-Mund Kontakthäufigkeit gemäß der Literatur für 75 % der Beschäftigten bei maximal 5,9 Kontakten/h. Weitere kumulative Häufigkeitsverteilungen stehen in Abb. I.1 bis I.3 zur Verfügung.

Qualitativ beschreiben einige der Studien einen Einfluss des Beschäftigungsgrades, also inwiefern die Hände in die Ausführung der Tätigkeit eingebunden sind [7, 8, 22–24]. Bei hoher Auslastung wären diese demnach für Kontakte, die zu oraler Exposition führen können, nicht verfügbar. Weitere Veröffentlichungen beschreiben Stress, Unaufmerksamkeit oder Ermüdung sowie persönliche Gewohnheiten wie Nägel kauen als Einflussparameter [7, 24, 25].

Schutzmaßnahmen und arbeitshygienische Praxis

Neben individuellen Verhaltensweisen wurden Maßnahmen und arbeitshygienische Praktiken identifiziert, welche getrennt nach qualitativen und quantitativen Gesichtspunkten ausgewertet wurden. Quantitative Informationen liegen zur Häufigkeit des Händewaschens und zu Handdesinfektionen vor. Abweichend davon wird die Nutzung von Handschuhen in der Literatur meist als Tragedauer beschrieben. Dies schließt zwar eine Betrachtung von Handschuhwechseln aus, erlaubt dafür aber eine Berücksichtigung potenzieller Änderungen des Verhaltens mit und ohne Handschuhen. Entsprechende mittlere Häufigkeiten sind für verschiedene Arbeitsbereiche in Abb. 2.11 aufgeschlüsselt. Dabei wurde der Lebensmittelsektor nicht aufgetragen, da nur zwei Datenpunkte vorliegen.

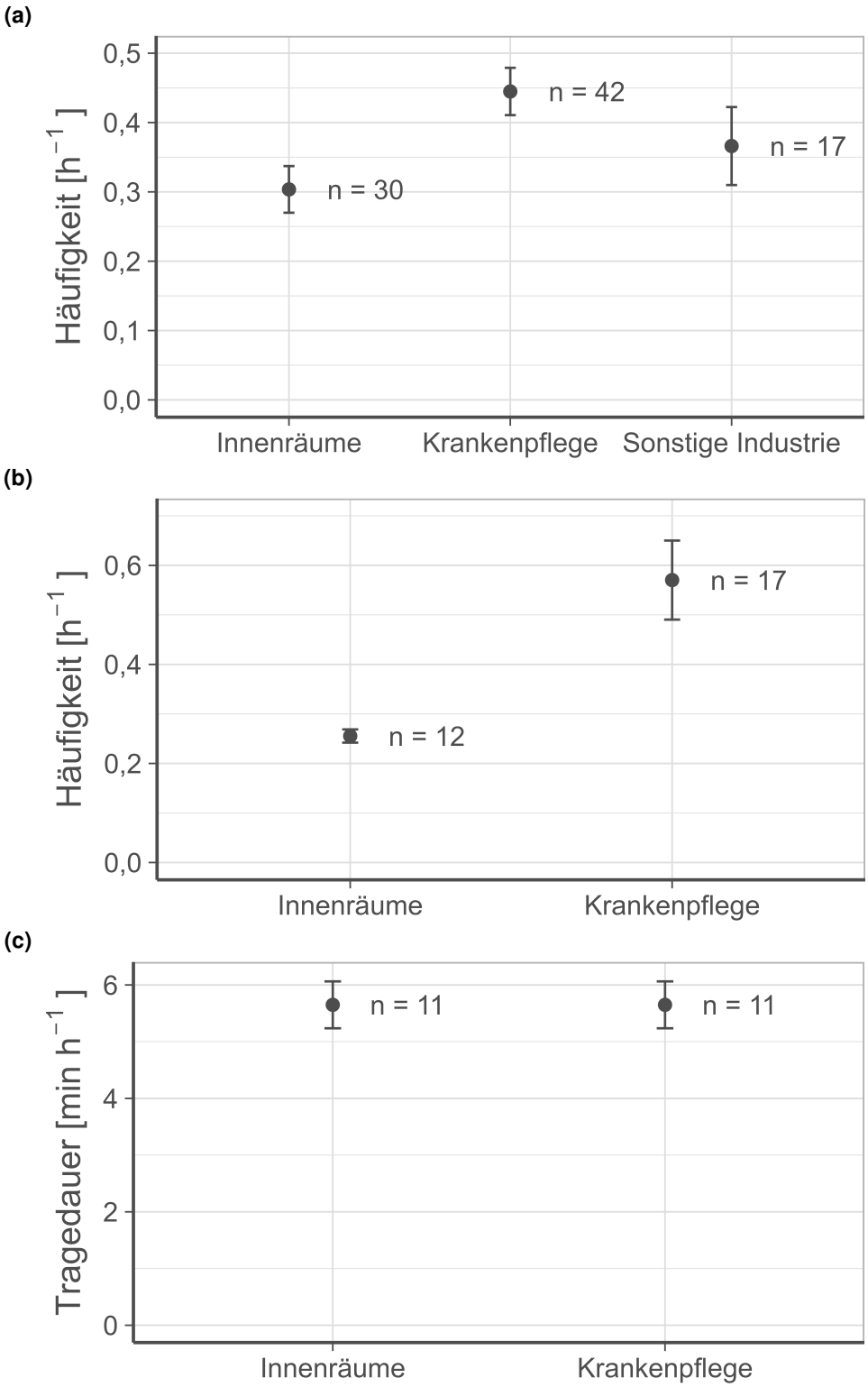


Abbildung 2.11: Aufschlüsselung basierend auf in der Literatur widergespiegelten Arbeitsbereichen für mittlere Häufigkeiten (a) des Händewaschens, (b) der Handdesinfektion und (c) mittlere Tragedauern von Handschuhen.

Die angegebenen Fehlerbalken basieren auf einer Gaußschen Fehlerfortpflanzung. Diese berücksichtigt, dass entsprechende Häufigkeiten oder Dauern nicht als präziser Wert,

sondern als Intervall angegeben werden. Beispielsweise werden Häufigkeiten von 0-3; 4-6 und $\geq 7\,\mathrm{Kontakten/h}$ (fiktive Einteilung) kategorisiert. Somit weichen berechnete Mittelwerte basierend auf den Intervallmitten vom wahren Wert ab. Die genaue Berechnung der resultierenden Fehler kann in Anhang I.2.3 nachvollzogen werden.

Im Vergleich zu Innenräumen sowie industriellen Arbeiten werden in der Krankenpflege die Hände häufiger gewaschen sowie desinfiziert. Eine Ursache dafür können die besonderen Hygieneanforderungen in diesem Arbeitsbereich darstellen. Bezogen auf die Krankenpflege unterscheiden sich die Größenordnungen der Häufigkeiten des Händewaschens sowie des Desinfizierens nicht maßgeblich. Die Tragedauer von Handschuhen wurde in der Literatur sowohl für Arbeiten in Innenräumen als auch die Krankenpflege dokumentiert und beträgt in beiden Bereichen circa 5 bis $6\,\mathrm{min\,h^{-1}}$.

Weitere verfügbare quantitative Informationen zu Schutzmaßnahmen beziehen sich auf die Wirksamkeit von Händewaschen oder Handdesinfektionen, für die jeweils 20 bzw. 44 Einzelwerte verfügbar sind. Jeder dieser Werte spiegelt spezifische Bedingungen wie die verwendete Seife oder die Anwendungsdauer wider. Daher wurden keine aggregierten Werte berechnet.

In Ergänzung zu TRGS 500 beschreiben zwei Studien weitere qualitative Maßnahmen. Konkret benannt wurden die Beschriftung von Gebinden mit entsprechenden Kennzeichen, das Abdecken von Behältnissen um Spritzer zu vermeiden sowie die Anwendung von Spezialseife, welche zur Entfernung der verwendeten Stoffe geeignet ist [26, 27].

Schulungen

Für Schulungen, welche Verhaltensweisen und die Umsetzung von Schutzmaßnahmen beeinflussen sollen, wurde kein konkreter Schulungsinhalt als Eignungskriterium festgelegt. Folglich stammen die identifizierten Studien aus unterschiedlichen Arbeitsbereichen und Zusammenhängen. Dabei sind die Krankenpflege (n=14), Landwirtschaft (n=5), der Lebensmittelsektor (n=4), Arbeiten in Innenräumen (n=2), Außenarbeitsbereiche (n=2), Baustellen (n=1), industrielle Arbeitsplätze (n=1) und die Metallverarbeitung (n=1) vertreten. Die Anzahl der Teilnehmenden der Studien liegt im Mittel bei 96 und variiert zwischen 20 und 500.

Die Wirksamkeit der unterschiedlichen Schulungen wird durch Vorher-Nachher-Vergleiche ermittelt. Vor Beginn einer Schulung wird das Wissen oder das Verhalten der Teilnehmenden anhand einer Prüfung oder einer Beobachtung erhoben. Anschließend erfolgt die Schulung gemäß der in der Studie spezifizierten Methode. Zuletzt erfolgt eine erneute Erhebung des Wissensstandes oder Verhaltens anhand einer Prüfung oder Beobachtung. Daraus lässt sich die Wirksamkeit verschiedener Schulungsformate wie Online, Präsenz,

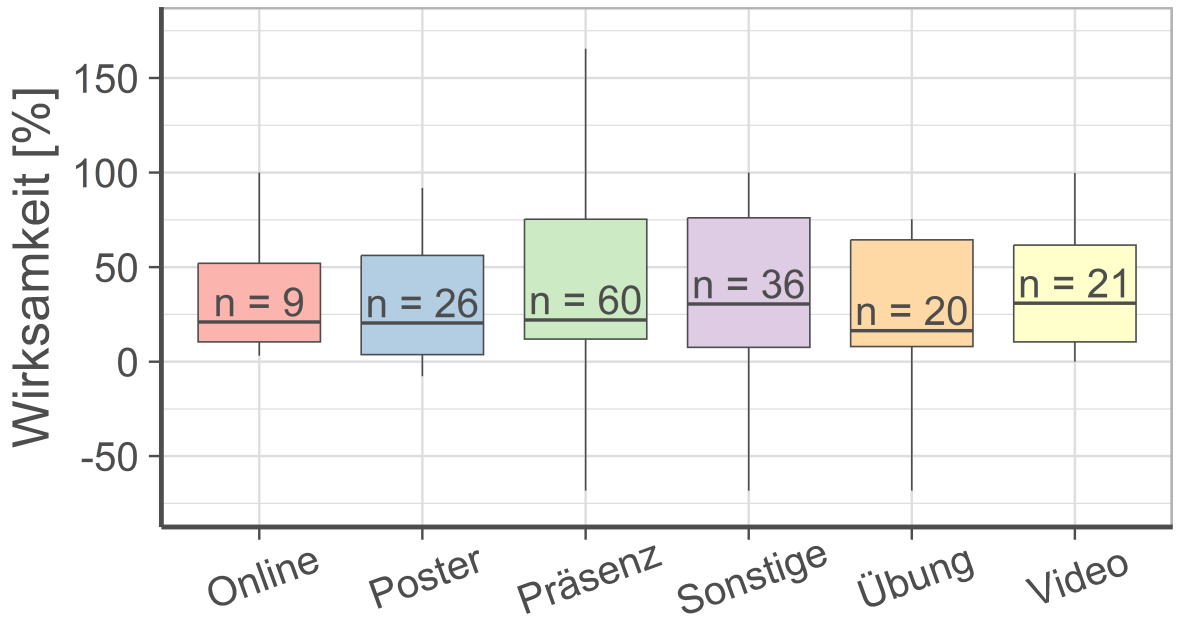


Abbildung 2.12: Boxplot zur Wirksamkeit von Schulungen. Horizontal eingezeichnet sind das 25. Perzentil, der Median und das 75. Perzentil.

Poster, praktische Übung, Video oder sonstige Methoden berechnen. Unter „sonstige Methoden“ wurden Einzelfälle zusammengefasst, beispielsweise komponierten die Teilnehmenden Songs oder setzten E-Learning Spiele ein.

Für die verschiedenen Formate liegt die Wirksamkeit in einem Bereich von 16 % - 31 %. Die Ergebnisse je Schulungsformat sind als Boxplot in Abb. 2.12 dargestellt. Die Whisker geben die minimalen bzw. maximalen Werte an, für die jeweils folgendes gilt:

$$\textit{Minimaler Wert} > \textit{25. Perzentil} - 1{,}5 \cdot \textit{Interquartilsabstand} \tag{2.2}$$

$$\textit{Maximaler Wert} < \textit{75. Perzentil} + 1{,}5 \cdot \textit{Interquartilsabstand} \tag{2.3}$$

Aus der Auftragung geht eine deutliche Variabilität innerhalb der einzelnen Schulungsformate hervor. Demnach hängt die Wirksamkeit von Schulungen von weiteren Faktoren ab. Eine Rolle hierbei kann das Vorwissen der Teilnehmenden spielen, welches in den Schulungen als sehr unterschiedlich beschrieben wurde. Je weniger Vorwissen Teilnehmende vor Studienbeginn mitbringen, desto stärker kann der gemessene Fortschritt nach einer Schulung ausfallen. Darüber hinaus sticht keins der identifizierten Formate durch eine besonders gute Wirksamkeit hervor.

Für Schulungen sind mögliche Unterschiede je nach Arbeitsbereich von Interesse, da diese in einen späteren Modellansatz einfließen könnten. Eine entsprechende Aufschlüsselung ist daher in Abb. 2.13 dargestellt. Mit einer Wirksamkeit von über 50 % bzw. über 100 %

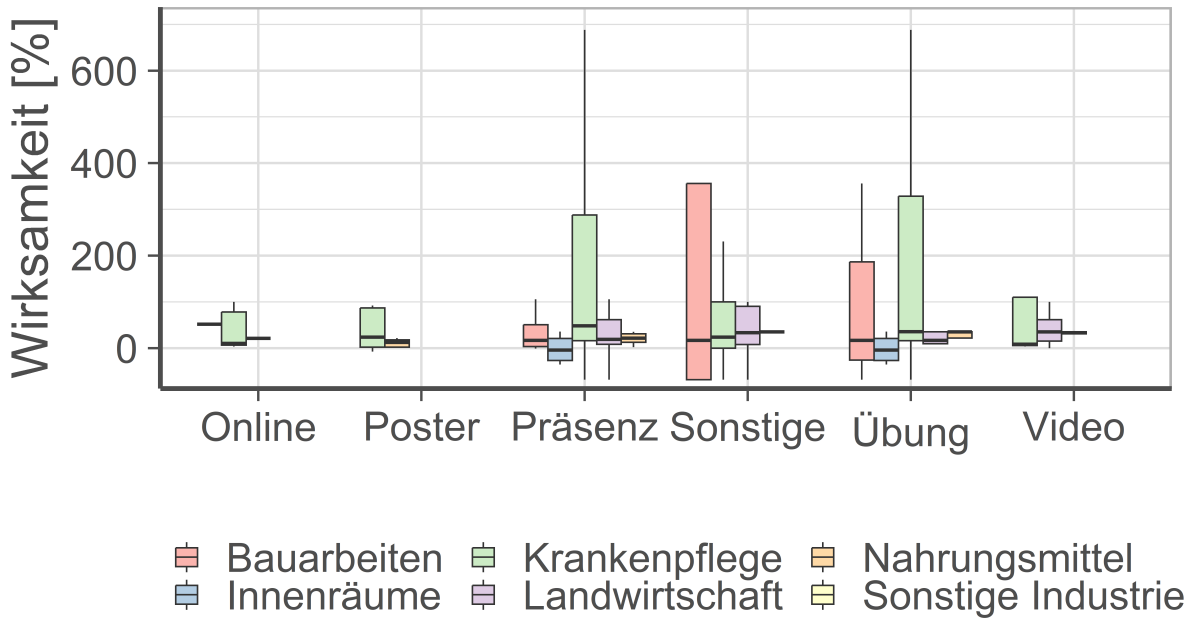


Abbildung 2.13: Boxplot zur Wirksamkeit von Schulungen aufgeschlüsselt nach Arbeitsbereichen.

sind hier Online-Schulungen bei Innenraum-Arbeitsplätzen bzw. Video-basierte Schulungen in der Lebensmittelbranche auffallend. Dennoch ist basierend auf dieser Datenlage unter Berücksichtigung der verschiedenen Schulungsformate und Arbeitsbereiche keine eindeutige Tendenz zu erkennen.

Kontrollierbarkeit

Neben der Beeinflussung durch Schulungen wurde untersucht, inwiefern relevante Verhaltensweisen kontrolliert bzw. bewusst erfolgen. Die Kontrollierbarkeit bzw. das Bewusstsein lässt sich anhand von vier Kategorien beschreiben:

1. Verhaltensweisen, insbesondere Kontakte zwischen Hand und Gesicht können unterbewusst stattfinden: Zwölf Publikationen
2. Hand-Gesicht Kontakte sind (teilweise) nicht nur unterbewusst, sondern unkontrolliert: Drei Publikationen
3. Hand-Gesicht Kontakte sind kontrolliert: Zwei Studien (eine der beiden Studien revidiert diesen Standpunkt im weiteren Verlauf)
4. Hand-Gesicht Kontakte sind notwendig, insbesondere zur Selbstregulierung in emotional oder kognitiv herausfordernden Situationen: Zehn Publikationen

Dem ist zu entnehmen, dass relevante Verhaltensweisen wie Hand-Gesicht Kontakte teilweise unterbewusst oder unkontrolliert stattfinden. Demnach können diese Kontakte während der Arbeit nicht vollständig unterdrückt werden und können für die Entstehung von oraler Exposition am Arbeitsplatz relevant sein.

Neben diesen qualitativen Aussagen über relevante Kontakte enthalten diese Studien zudem einige quantitative Informationen zu unterbewussten oder unkontrollierten Hand-Gesicht Kontakten. Im Mittel erfolgen demnach 17,3 unterbewusste Hand-Gesicht Kontakte pro Stunde. Die in diesem Wert aggregierten Studien beschreiben künstliche Situationen, in denen die Teilnehmenden emotionalen oder kognitiven Herausforderungen ausgesetzt wurden. Aus der kumulativen Verteilung zu Hand-Gesicht Kontakten, wie sie in Abb. I.1 beschrieben wird, geht hervor, dass circa 5 % der Beschäftigten ihr Gesicht häufiger als 17,3 mal/h berühren. Demnach könnten Studien, in denen emotional oder kognitiv herausfordernde Situationen nachgestellt werden, einen realistischen Worst-Case beschreiben.

Variabilität

Durch die Abhängigkeit von individuellen, teils unterbewussten Verhaltensweisen ist die Entstehung von oraler Exposition am Arbeitsplatz variabel. Auch inhalative und dermale Expositionen variieren durch individuelles Verhalten. Mithilfe der Variabilität zwischen sowie innerhalb von Beschäftigten wird dies beschrieben und durch die Verwendung von (konservativen) Perzentilen der Expositionshöhe berücksichtigt. Inwiefern die Variabilität zwischen und innerhalb von Beschäftigten für orale Exposition mit analogen Perzentilen berücksichtigt werden kann, erfordert einen Vergleich der Variabilität verschiedener Expositionswege.

Vorbereitend hierzu wurden Daten für die Variabilität zwischen und innerhalb von Beschäftigten für Inhalation und dermale Exposition gemäß den zugrundeliegenden Berechnungsansätzen gruppiert. Eine Gruppe von Ansätzen stellen Varianzanalyse-Modelle (ANOVA) mit zufälligen oder festen Effekten dar, die an Messdaten angepasst werden [28, 29]. Alternativ kann basierend auf der log-normal Verteilung der Daten das Verhältnis zwischen 97,5. und 2,5. Perzentil ($R_{0,95}$) berechnet werden [30].

Da sich die Unterschiede der anfänglichen log- bzw. ln-Transformation der Daten im Verlaufe der Berechnungen heraus kürzen, sind die entsprechenden Variabilitätswerte gemeinsam in Abb. 2.14 dargestellt. Insgesamt sind mehr Daten zu Inhalation (n=41) als zu dermaler Exposition (n=8) in die Auswertung eingegangen. Nicht aufgetragen sind identifizierte Studien, welche nicht eindeutig der Inhalation oder dermalen Exposition zugeordnet werden können, beispielsweise weil die Variabilität von Biomonitoring-Daten untersucht wurde.

Entgegen der bisherigen Auswertungen wurden hier keine Arbeitsbereiche unterschieden, da es nicht um einen konkreten Vergleich von Arbeitsplätzen geht. Stattdessen soll ein

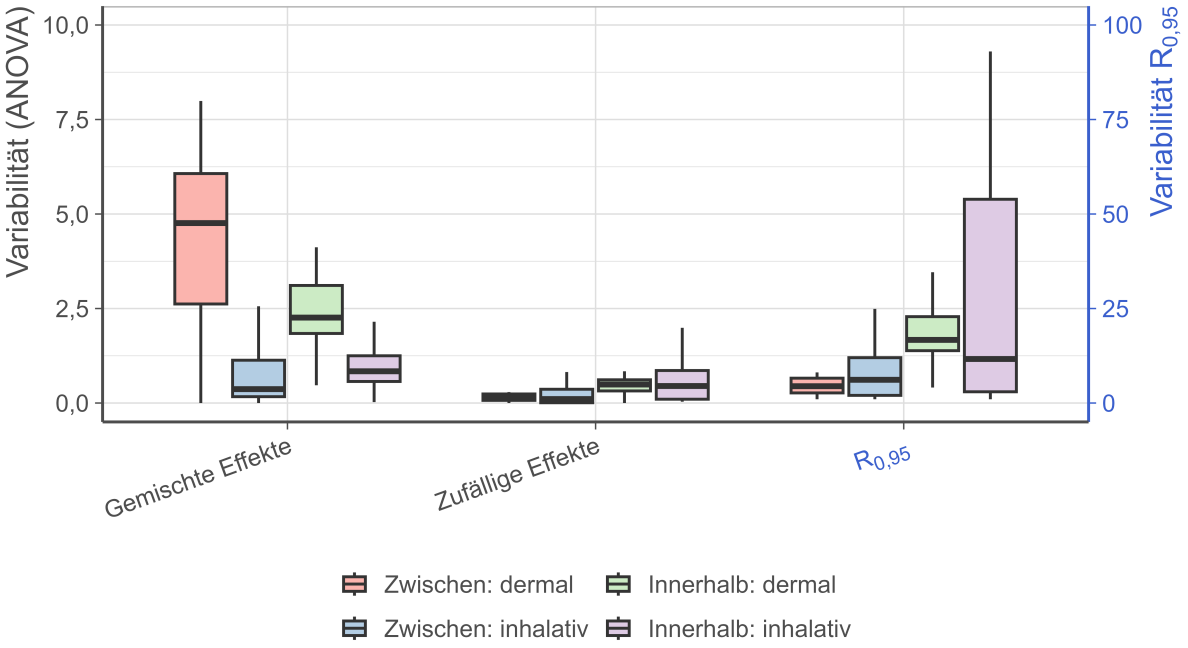


Abbildung 2.14: Boxplot der Variabilität für inhalative und dermale Exposition. Unterschieden werden ANOVA-Auswertungen (links), sowie Berechnungen nach Rappaport (rechts). Für gemischte und zufällige Effekte sowie $R_{0,95}$ wird jeweils die Variabilität zwischen und innerhalb von Beschäftigten aufgezeigt.

Vergleich von Größenordnungen der Variabilität zwischen und innerhalb von Beschäftigten für verschiedene Expositionswege ermöglicht werden.

Eine weitere Auswertung setzt voraus, dass entsprechende Daten zur Variabilität der oralen Exposition am Arbeitsplatz vorliegen.

2.3.3 Diskussion

Im Folgenden werden die Ergebnisse der fünf Suchstrategien zu Arbeitshygiene und Verhaltensweisen diskutiert.

Verhalten

Die anhand der ersten Suchstrategie identifizierten Studien ermöglichen die Berechnung von kumulativen Häufigkeitsverteilungen für einige Kontaktarten und demnach die Perzentil-basierte Berücksichtigung dieser Kontakte in einem späteren Modell. Dennoch ist die Datenlage für einige Kontakte sowie für Erwachsene und insbesondere Beschäftigte nach wie vor eingeschränkt, weshalb weitere Daten für eine zuverlässige Beschreibung benötigt werden.

Dies spielt auch hinsichtlich des Bias eine Rolle, denn unzureichend quantitativ beschriebene Kontakthäufigkeiten können über- oder unterschätzt werden. Im Zusammenhang mit oraler Exposition würden ein verzerrtes Bild hinsichtlich der Entstehung von oraler Exposition und eine erhöhte Ungenauigkeit bei darauf basierenden Modellabschätzungen resultieren.

Schutzmaßnahmen und arbeitshygienische Praxis

Aus den eingeschlossenen Studien der zweiten Suchstrategie zu Schutzmaßnahmen und Arbeitshygiene konnten Häufigkeiten für das Händewaschen und die Handdesinfektion aggregiert werden, die in der Krankenpflege bei 3,6-mal bzw. 4,6-mal pro acht-stündiger Schicht liegen. Die neunte Empfehlung der HEAdhoc (BPC Ad hoc Working Group on Human Exposure of the European Chemicals Agency) beschreibt die Häufigkeit von Händewaschen bzw. Handdesinfektion in Krankenhäusern mit 10-mal bzw. 25-mal pro Schicht [31]. Diese Angaben beruhen auf einer Abschätzung des Arbeitsablaufs, der Anzahl von behandelten Personen pro Krankenpflegenden und der daraus folgenden Anzahl von Desinfektionen zwischen behandelten Personen. Diese theoretische Abschätzung resultiert in höheren Häufigkeiten als die auf Beobachtungsdaten basierenden Werte für Händewaschen und Handdesinfektion.

Weiterhin können die verfügbaren Daten nicht zwangsläufig uneingeschränkt auf verschiedene Tätigkeitsbereiche verallgemeinert werden, da die Datenbasis verstärkt die Krankenpflege widerspiegelt, in welcher erhöhte Hygieneanforderungen vorliegen. Um diesen Bias zukünftig zu reduzieren, werden weitere quantitative Informationen zu Schutzmaßnahmen und arbeitshygienischer Praxis aus anderen Tätigkeitsbereichen benötigt. Eine Aufschlüsselung nach Tätigkeiten in Ergänzung zu den bisher meist dokumentierten Arbeitsbereichen würde zukünftige Auswertungen präzisieren.

Schulungen

Gemäß der Auswertungen zur dritten Suchstrategie liegt die Wirksamkeit der Schulungen in einem Bereich von 16 % - 31 %, wobei konkrete Erfolgsfaktoren nicht identifiziert wurden. Dennoch konnten anhand der Studienbeschreibungen starke Unterschiede hinsichtlich des Vorwissens der Teilnehmenden festgestellt werden. Da die Beschreibungen keinen fundierten Vergleich erlauben, kann ein Bias basierend auf gutem oder eingeschränktem Vorwissen nicht untersucht werden. Weiterhin wurden Beobachtungen in vielen Studien eingesetzt, wobei diese zu abweichenden Verhaltensweisen der Teilnehmenden führen können. Dieser sogenannte Hawthorne-Effekt [32, 33] könnte ebenfalls eine Quelle für Bias in den vorliegenden Studien darstellen.

Kontrollierbarkeit

Die identifizierten Publikationen aus der vierten Suchstrategie zu unterbewussten oder unkontrollierten Verhaltensweisen deuten darauf hin, dass Verhaltensweisen wie Hand-Gesicht Kontakte nicht vollständig vermieden werden können. Daraus folgt, dass über eine gute Arbeitshygiene hinaus weitere Schutzmaßnahmen im Zusammenhang von oraler Exposition notwendig sein können. Zukünftige Forschung könnte dazu speziell beim Umgang mit emotional oder kognitiv herausfordernden Situationen ansetzen. Weiterhin wären insbesondere für die Beschreibung der oralen Exposition mögliche Zusammenhänge mit weiteren qualitativen Faktoren wie dem Beschäftigungsgrad der Hände von Interesse. Je nach Zusammenhang wäre auch hier Bias möglich, wenn Effekte systematisch unberücksichtigt blieben.

Variabilität

In der Auswertung der fünften Suchstrategie zur Variabilität wurde eine Vielzahl an Studien berücksichtigt, welche anhand verschiedener Berechnungsmethoden die Variabilität von Inhalation und dermaler Exposition analysieren. Dennoch könnten Studien nicht identifiziert worden sein, wenn die in den Studien verwendeten Begrifflichkeiten von den in Suchstrings genutzten Synonymen abweichen. Ggf. resultiert das in einem Bias durch Nicht-Berücksichtigung. Jedoch ist dies unwahrscheinlich, da die Studien ein breites Spektrum widerspiegeln. Weitere Unsicherheiten beim späteren Vergleich entstehen durch die unterschiedlichen Berechnungsmethoden. Eine zu entwickelnde Vergleichsmethode mit oraler Expositionsvariabilität sollte daher insbesondere diese Unsicherheit adressieren.

2.3.4 Zwischenfazit: Relevante Verhaltensweisen und Arbeitshygiene

Abschließend konnten trotz der teils eingeschränkten Datenlage für Erwachsene und insbesondere Beschäftigte kumulative Häufigkeitsverteilungen für relevante Kontaktarten erstellt werden, die eine Perzentil-basierte Berücksichtigung individueller Verhaltensweisen in einem Modell erlauben. Darüber hinaus wurden qualitative und quantitative Informationen zu Schutzmaßnahmen aufbereitet sowie Datenlücken hinsichtlich der zugrundeliegenden Arbeitsbereiche identifiziert. Die Informationen zur Kontrollierbarkeit von relevanten Verhaltensweisen unterstützen die sinnvolle Berücksichtigung entsprechender Verhaltensweisen im Zusammenhang mit oraler Exposition. Weiterhin unterfüttern Informationen zu Schulungen sowie zur Variabilität die weiteren Entwicklungen.

2.4 Mechanismen oraler Exposition

In der dritten systematischen Literaturrecherche wurden Mechanismen der oralen Exposition identifiziert. Der Transfer von Chemikalien sowie ein Beitrag durch Aerosole wurde dabei besonders in den Fokus gestellt.

2.4.1 Spezifikation der Methodik & Durchführung

Für die Durchführung der systematischen Literaturrecherche wurde folgendes spezifiziert:

Informationsquellen & Suchstrategien

Als Informationsquellen wurden alle fachübergreifenden Datenbanken und Websites aus Tabelle 2.1 sowie COCHRANE verwendet.

Für die Suchen wurden drei Strategien entwickelt:

1. Mechanismen: Identifikation von Mechanismen, die zu oraler Exposition führen.
2. Transfer: Identifikation von qualitativen und quantitativen Informationen zum Transfer von Chemikalien.
3. Aerosole: Erhebung des Kenntnisstands zum Beitrag durch Aerosole.

Die zu diesen drei Aspekten entwickelten Suchstrategien können Tabelle I.9 entnommen werden. Evaluiert wurden die drei Suchen analog zu den anderen Literaturrecherchen anhand von fünf, sechs, bzw. zwei Testpublikationen. Die genutzten Publikationen sowie Datenbank-spezifischen Ergebnisse sind in Tabelle I.10 aufgeführt. Die für Websites vereinfachten Suchstrings können Tabelle I.11 entnommen werden.

Auswahl von Studien

Für die drei Suchstrategien wurden die in Tabelle 2.4 aufgeführten Population- und Outcome-Kriterien für die Titel- / Abstract- sowie für die Volltext-Ebene festgelegt. Eine Besonderheit ist dabei, dass für die Suche zu Mechanismen explizit auch Studien über Kinder aufgenommen wurden. Der Hintergrund ist die bessere Forschungslage zu oraler Exposition von Kindern, sodass ggf. qualitative Informationen zu Kindern auf Erwachsene und Beschäftigte übertragbar sind. Für den Transfer lag der Fokus auf chemischen Stoffen, da Einflussparameter von Biostoffen nicht uneingeschränkt übertragbar sind [34]. Für Aerosole hingegen ist die Datenlage zum Zusammenhang mit oraler Exposition besonders eingeschränkt, sodass hier keine Limitierung hinsichtlich chemischer Stoffe oder Biostoffe vorgenommen wurde.

Tabelle 2.4: Population- und Outcome-Kriterien für beide Screening-Schritte der Literaturrecherche zu Mechanismen von oraler Exposition am Arbeitsplatz.

Suchstrategie	Population	Outcome
Titel- und Abstract-Ebene		
1. Mechanismen	Kinder / Erwachsene / Beschäftigte	Untersuchungen / Erläuterungen zum Zustandekommen von oraler Exposition
2. Transfer	Chemische Stoffe	Untersuchungen des Transfers für mindestens eine Kontaktart
3. Aerosole	Erwachsene / Beschäftigte; Chemische Stoffe / Biostoffe	Nennung von luftgetragenen Partikeln / Aerosolen im Zusammenhang mit oraler Exposition / Clearance der Lunge / dem Magen-Darm-Trakt
Volltext-Ebene		
1. Mechanismen	Kinder / Erwachsene / Beschäftigte	Konkrete Benennung von Mechanismen, die zu oraler Exposition führen oder beitragen können; Ausgeschlossen: Nahrungsaufnahme; Trinken; Medikamente; Nennung einzelner Stoffe / Trägerstoffe – bspw. Staub ohne weitere Erklärung des Mechanismus
2. Transfer	Chemische Stoffe	Quantitative Beschreibung des Transfers für mindestens eine Kontaktart
3. Aerosole	Erwachsene / Beschäftigte; Chemische Stoffe / Biostoffe	Qualitative oder quantitative Beschreibung eines Beitrags durch luftgetragene Partikel / Aerosole zum Zustandekommen von oraler Exposition

Datenextraktion und Datenanalyse

Für die Extraktion der Daten aus den ausgewählten Studien wurde analog zu den vorherige Extraktionen eine Übersicht erstellt, in der Publikationen den einzelnen Suchstrategien zugeordnet wurden. Darüber hinaus wurde für jede der drei Suchstrategien eine Konzeptmatrix erstellt.

2.4.2 Auswertung & Ergebnisse

Aus der Anwendung der beschriebenen Methodik resultieren folgende Ergebnisse:

Auswahl von Studien & eingeschlossene Publikationen

Die Konsistenzprüfungen für die Titel- / Abstract- und Volltext-Ebene der Population- und Outcome-Kriterien ergaben Cohen's kappa Werte von 0,43 und 0,05. Nach Landis und Koch [18] entsprechen diese einer moderaten bzw. leichten Übereinstimmung. In einer Diskussion zur Titel- / Abstract-Ebene wurden als Gründe für diese Abweichungen die individuellen Population-Kriterien der drei Suchstrategien identifiziert. Die Gutachtenden hatten hier das Population-Kriterium unterschiedlich bewertet, wenn eine der drei Studien-Populationen (Tabelle 2.4) erfüllt war, aber der Inhalt der Studie gemäß Outcome-Kriterium nicht dazu passte. Neben diesem formalen Unterschied in den Bewertungen wurden einige Kriterien, beispielsweise durch das explizite Ausschließen von Essen und Trinken, geschärft.

Auch auf der Volltext-Ebene ist der große Unterschied in den Bewertungen auf einen unterschiedlichen Umgang mit dem Population-Kriterium bei nicht erfülltem Outcome-Kriterium zurückzuführen. Dies wurde in den weiteren Bewertungen konsistent gehandhabt.

Basierend auf diesen angepassten Kriterien wurden die identifizierten Studien, wie in Abb. 2.15 dargestellt, evaluiert, wobei analog zur Relevanz-Literaturrecherche die identifizierten Veröffentlichungen gemäß dem Vorkommen einiger Schlüsselbegriffe sortiert wurden. Dazu wurden die Begriffe „worker", „adult", „child", „chemical" und „biological" (Population) sowie „mechanism", „ingestion", „oral", „transfer", „efficienc", „aerosol", „gastrointestinal" und „clearance" (Outcome) verwendet und anschließend die demnach relevantesten 50 % der Publikationen auf Titel- / Abstract-Ebene geprüft. Insgesamt wurden 175 Veröffentlichungen eingeschlossen (Tabelle I.12).

Datenextraktion

Die für die ausgewählten Studien erstellten erweiterten Konzeptmatrizen enthalten die extrahierten Informationen aus den 175 Publikationen. Die detaillierten Kategorien der Matrizen können Abb. 2.16 entnommen werden.

Studienpopulation und -kontext

140 der 175 Publikationen beschreiben im Allgemeinen Mechanismen oraler Exposition. 62 Veröffentlichungen behandeln explizit den Transfer von Chemikalien und 25 beschreiben den Zusammenhang zwischen einer Aerosolaufnahme und oraler Exposition. Da für die

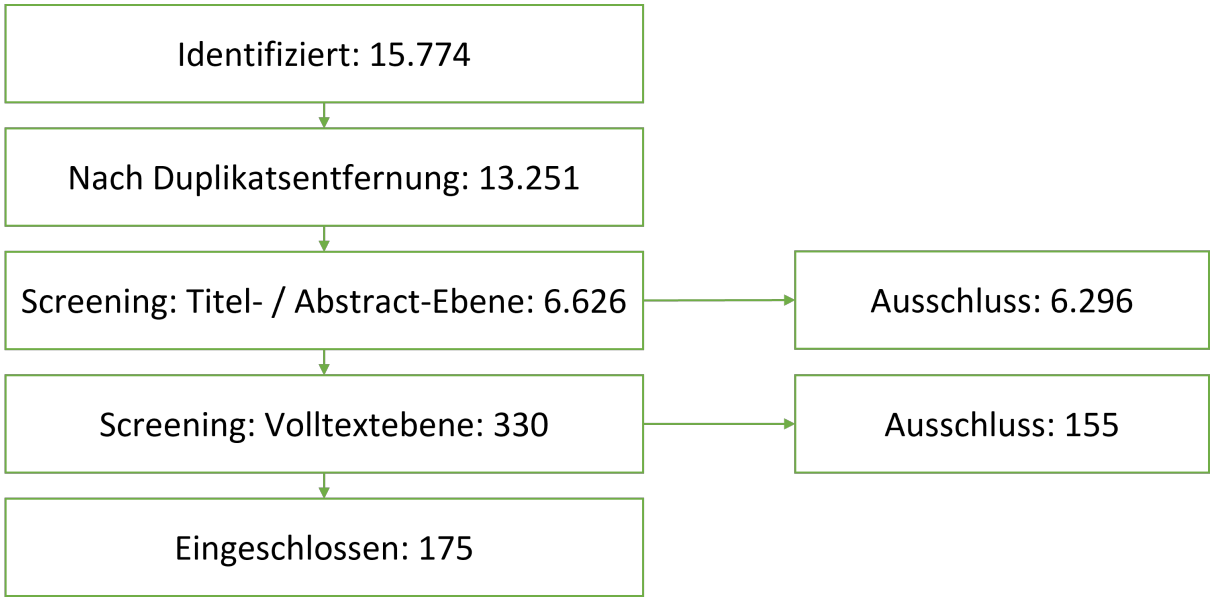


Abbildung 2.15: Anzahl der betrachteten Veröffentlichungen je Screening-Schritt für die Literaturrecherche zu Mechanismen oraler Exposition. Im Titel- und Abstract-Screening wurden die ersten 6.626 Publikationen basierend auf der Sortierung nach Schlüsselbegriffen geprüft.

Suche nach Mechanismen auch Kinder zugelassen wurden, beschreiben 88 der Veröffentlichungen diese Studienpopulation. 68 Studien betrachten Erwachsene (ohne Beschäftigte), 42 Veröffentlichungen beschreiben explizit Beschäftigte.

Diese verschiedenen Studienpopulationen spiegeln sich auch in den Kontexten der Veröffentlichungen wider (Abb. 2.17). Beispielsweise werden dort Untersuchungen in Kindergärten, Schulen oder auf Spielplätzen beschrieben, die typische Aufenthaltsorte von Kindern darstellen. Andererseits sind auch verschiedene Arbeitsbereiche wie Klärwerke vertreten. Gewerbliche und industrielle Arbeitsplätze fassen hier einzelne Studien im beruflichen Kontext, beispielsweise zum Gerüstbau oder Schweißen, zusammen.

Eine Aufstellung der betrachteten Stoffgruppen stimmt mit den identifizierten bisherigen Forschungsschwerpunkten überein, da insbesondere Metalle und Stäube repräsentiert sind (Abb. I.4).

Mechanismen oraler Exposition

Aus den identifizierten Studien lassen sich verschiedene Mechanismen der oralen Exposition ableiten. Die Aufteilung der Studien auf Kinder (n=87) und Erwachsene inklusive Beschäftigten (n=56) muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. In der Literatur werden insbesondere Hand-Mund Kontakte identifiziert (n=122), welche für die orale Exposition von Kindern eine große Rolle spielen. Weiterhin unterscheidet die Literatur Objekt-Mund Kontakte (n=16) und Mouthing (n=26). Letzteres beschreibt ebenfalls

Mechanismen

- Hand-Mund Transfer
- Objekt-Mund Transfer
- Mouthing
- Fäkal-oral

- Ablagerung um Mund / perioral
- Verschlucken von Nicht-essbarem
- Eintrag von Staub
- Eintrag durch Aerosole

- Eintrag durch Lebensmittel
- Rauchen
- Nägel kauen
- Andere

Transfer

- Start / Ziel Transfer
- Aktivität

Haut

- Allg. Hautzustand
- Sättigung
- Hautfeuchtigkeit

Oberfläche

- Allgemein
- Polarität
- Rauigkeit
- Adhäsion
- Feuchtigkeit
- Beladung

Stoffeigenschaften

- Konzentration
- Partikelgröße
- Staubigkeit
- Fugazität / Flüchtigkeit
- Grenzschicht
- Löslichkeit
- Viskosität
- Polarität (Stoff)
- Diffusion, Stofftransport, Molekulare Wechselwirkungen
- Unspezifizierte Stoffeigenschaften
- Andere

Kontakt

- Zeit seit Kontamination
- Pressen ↔ Wischen
- Kontaktdauer
- Kontaktdruck
- Kontakthäufigkeit
- Kontaktfläche

Umgebungsbedingungen

- Feuchtigkeit
- Temperatur

Aerosole

- Partikelgröße
- Modellierung

Quelle

- Ablagerung auf Atemwegsoberflächen

Senke

- Lymphknoten, Blut
- Ausatmen

Mechanismen

- Mukoziliäre Clearance
- Makrophagen / Phagozyten
- Verschlucken ausgehend von Pharynx

Abbildung 2.16: Detailkategorien der Konzeptmatrizen zur Literaturrecherche über die Mechanismen von oraler Exposition.

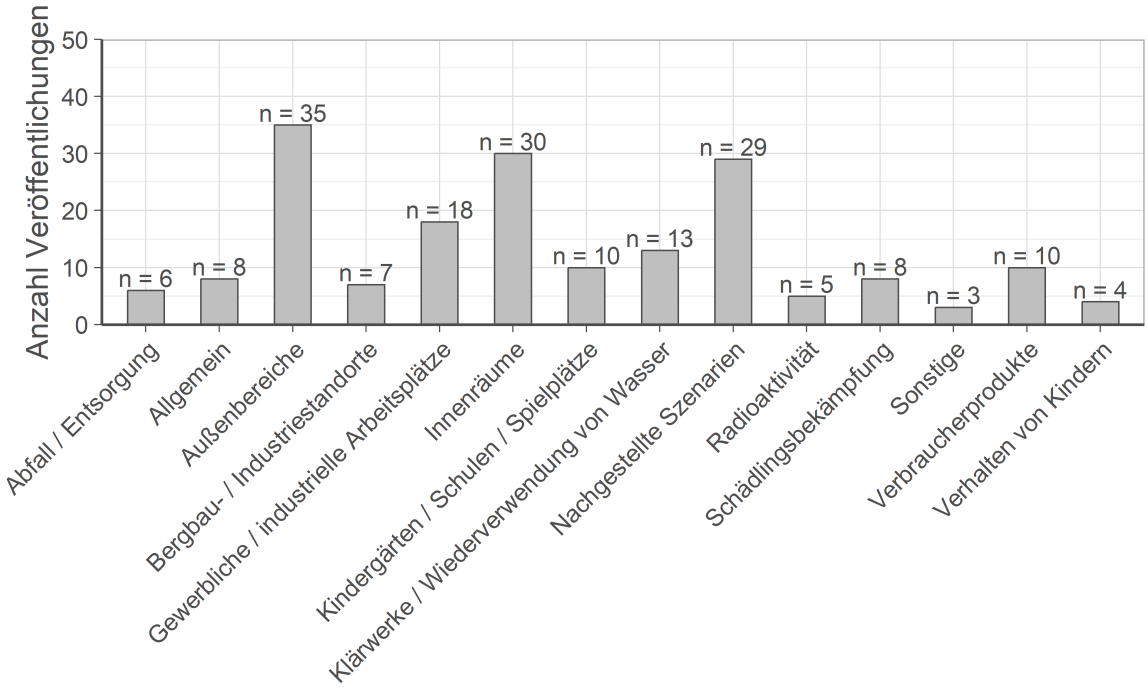


Abbildung 2.17: Zusammenhang, in dem die Studien zu den Mechanismen oraler Exposition durchgeführt wurden.

Kontakte zwischen Objekten und Mund, betitelt dabei aber das Verhalten während der entsprechenden Entwicklungsphase von Kleinkindern. Als weitere Transfer-basierte Mechanismen werden die fäkal-orale Expositionsroute (n=8) und die Aufnahme von Mund-nahen Ablagerungen bzw. der perioral-orale Transfer (n=10) genannt. Explizit identifizieren Studien insbesondere das Rauchen (n=3) und Nägel kauen (n=8) als Verhaltensweisen, die einen Transfer verursachen können. Weiterhin wird auch der Eintrag durch Aerosole (n=19) genannt.

Somit lassen sich die identifizierten Mechanismen grundsätzlich in Einträge durch Transfer und Aerosole unterteilen, welche im Folgenden vertiefend betrachtet werden.

Transfer von Chemikalien

Die in den Veröffentlichungen beschriebenen Parameter, die den Transfer von Chemikalien beeinflussen, lassen sich in sechs Konzepte kategorisieren:

1. Umgebungsparameter: vorherrschende Temperatur, Luftfeuchtigkeit (10 Studien)
2. Stoffeigenschaften: beispielsweise Partikelgröße, Konzentration, Löslichkeit (37 Studien)
3. Start / Ziel: Abhängigkeit des Transfers vom Start- und Endpunkt (6 Studien)
4. Oberfläche: beispielsweise Rauigkeit, Beladung oder Feuchtigkeit der kontaminierten Oberfläche (29 Studien)

5. Kontakt: beispielsweise Kontaktdauer, Kontaktdruck, Kontakthäufigkeit (36 Studien)

6. Haut: Feuchtigkeit, allgemeiner Hautzustand, Sättigung (22 Studien)

Eine Quantifizierung des Transfers kann über Transfereffizienzen erfolgen, die den pro Kontakt übertragenen Anteil einer Substanz („Massen-normiert“) beschreiben. Alternativ erfolgt die Quantifizierung durch den pro Kontakt und pro Kontaktfläche übertragenen Anteil einer Substanz („Flächen-normiert“). Die Massen- oder Flächen-normierte Transfereffizienz *TE* ist gemäß der Gleichungen (2.4) oder (2.5) definiert [8, 35]. Beide Definitionen lassen sich ohne weitere Angaben nicht ineinander umrechnen.

$$TE\,[\%] = \frac{\textit{transferierte Masse}}{\textit{bereitstehende Masse}} \cdot 100 \tag{2.4}$$

$$TE\,[\%] = \frac{\textit{transferierte Masse pro Fläche}}{\textit{bereitstehende Masse pro Fläche}} \cdot 100 \tag{2.5}$$

Auch mehrschrittige Transferpfade, beispielsweise von der Hand in die periorale Region in den Mund, lassen sich über ein Produkt von Transfereffizienzen beschreiben.

Die Definition der Transfereffizienzen unterscheidet sich von Transferkoeffizienten. Dieser gibt das Verhältnis aus dermaler Exposition pro Zeit sowie Umgebungskontamination an und wird in $\mathrm{cm}^2\,\mathrm{h}^{-1}$ angegeben [36]. Damit beinhalten Transferkoeffizienten implizit beispielsweise die Kontakthäufigkeit und werden demnach für verschiedene Altersgruppen einzeln ausgewiesen, da das zugrundeliegende Verhalten variiert. In der Literatur werden die Begriffe häufig durchmischt verwendet.

Für die identifizierten Einflussparameter des Transfers enthält die erstellte Konzeptmatrix Informationen, ob eine positive, negative, unklare oder keine Korrelation zur Transfereffizienz / zum Transferkoeffizienten besteht. „Unklare“ Korrelationen bedeuten, dass zwar ein Einfluss angenommen wird, dieser aber in der zugrundeliegenden Publikation nicht weitergehend spezifiziert wird. Die Korrelationen für die Konzepte „Stoffeigenschaften“ und „Kontakt“ werden im Folgenden erläutert. Weitere verfügbare Korrelationen können Abb. I.5 entnommen werden.

Hinsichtlich der Stoffeigenschaften geben 12 Publikationen eine Abhängigkeit des Transfers von spezifischen Stoffen an, ohne die zugrundeliegenden Eigenschaften weitergehend zu spezifizieren. Weitere identifizierte Einflussparameter und Korrelationen im Zusammenhang der Stoffeigenschaften sind in Abb. 2.18 aufgetragen. Dabei beschreibt die Kategorie „Grenzschicht“ den Einfluss einer laminaren Schicht an Phasengrenzen, in welcher Stofftransport nur diffusionsgetrieben erfolgt. Die Kategorie „Stofftransport“ bezeichnet Prozesse wie beispielsweise die Diffusion. Für die Konzentration, Löslichkeit und Viskosität geben

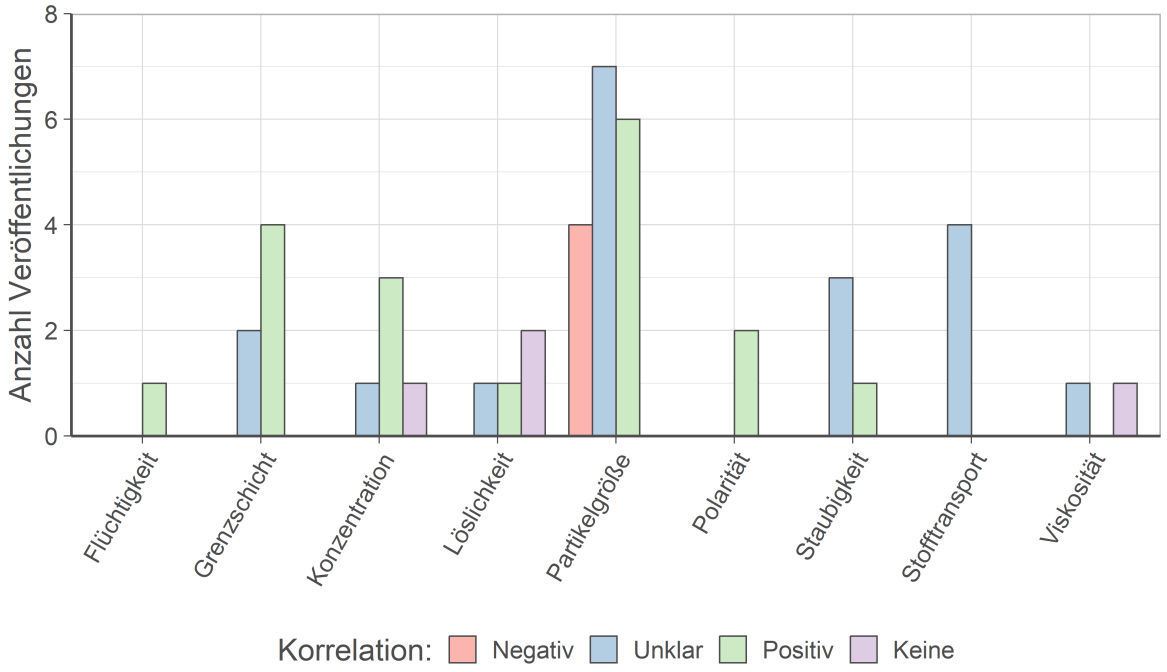


Abbildung 2.18: Korrelationen der Einflussparameter, die gemäß der identifizierten Veröffentlichungen stoffspezifisch sind.

die Studien teilweise keine Korrelation an. Weitere Rubriken enthalten positive sowie unklare Korrelationen. Negative Korrelationen wurden nur für die Partikelgröße identifiziert, für die auch unklare sowie positive Korrelationen vorliegen.

Zur Analyse des Einflusses der unterschiedlichen Definitionen von Transfereffizienz und -koeffizient wurde eine analoge Auswertung von Korrelationen, die sich explizit auf Transfereffizienzen beziehen, durchgeführt. Dadurch liegt eine reduzierte Datenmenge vor, auf deren Basis sich keine grundlegende Änderung der Tendenzen für Stoffeigenschaften beobachten lassen (Abb. I.6).

Für die kontaktspezifischen Parameter ergeben sich die in Abb. 2.19 dargestellten Korrelationen. Bis auf die Zeit seit der Kontamination der Oberfläche liegen für alle Parameter positive Korrelationen vor. Auch unklare sowie keine Korrelationen treten verbreitet auf. Sowohl positive als auch (einzelne) negative Korrelationen wurden für den Kontaktdruck sowie die Kontakthäufigkeit identifiziert. Die Kontakthäufigkeit beeinflusst die Transfereffizienz zu Beginn der Kontakte nicht-linear, da sich zunächst ein Gleichgewichtszustand einstellt [37–39]. Ggf. tritt dabei zusätzlich eine Periodizität auf, durch die es bei steigender Beladung der kontaktierenden Oberfläche zu Rücktransfers kommt [40]. Zudem können negative Korrelationen auf uneinheitlichen Bezugsgrößen beruhen. Wenn die Transfereffizienz auf alle erfolgten Kontakte bezogen wird, erhöht sich diese mit steigender Kontakthäufigkeit. Wird die Transfereffizienz jedoch pro aufeinanderfolgenden Kontakt berechnet, nimmt diese mit steigender Kontakthäufigkeit aufgrund der bereits beladenen kontaktierenden Oberfläche ab [41].

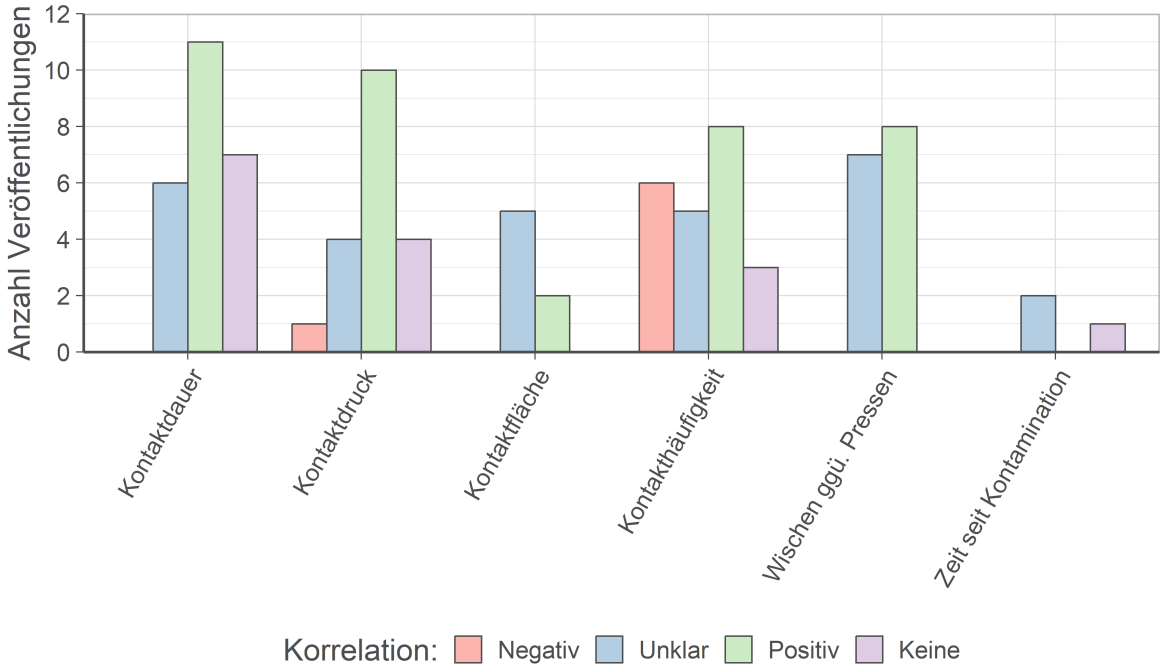


Abbildung 2.19: Korrelationen der Einflussparameter, die gemäß der identifizierten Veröffentlichungen kontaktspezifisch sind.

Werden für die Betrachtungen der Kontakte Informationen zu Transferkoeffizienten ausgeschlossen, lassen sich basierend auf der verringerten Datenbasis ebenfalls keine Umkehrungen von Tendenzen beobachten (Abb. I.6).

Über diese Kategorisierung hinaus beschreiben Gorman Ng *et al.*, dass die Transfereffizienz von perioraler zu oraler Region für Flüssigkeiten höher ist als für Feststoffe [42]. Demgegenüber werden keine Unterschiede für die Hand-orale Transfereffizienz beschrieben. Stefaniak *et al.* benennen die Zieloberfläche als größten Einflussparameter, gefolgt vom Kontaktdruck, der Beladung und den Eigenschaften der Startoberfläche [43]. Wu *et al.* benennen nicht die Rauigkeit einer Oberfläche, sondern deren Struktur als Einfluss. Dabei ist der Transfer von Oberflächen mit Mikro-Netz-Strukturen größer als der von Oberflächen mit einer U-förmigen Mikrostruktur [44].

Neben den Korrelationen enthalten viele Publikationen auch quantitative Informationen, die in einer Datenbank zu Transfereffizienzen gesammelt wurden (Kapitel 4).

Aerosole

Zusätzlich zur Aufnahme durch Transfer beschreiben die Studien auch ein Verschlucken von Aerosolen. Beschriebene Pfade von Aerosolen durch den Atemtrakt sowie in das Verdauungssystem sind in Abb. 2.20 für Partikel, die in der Lunge biopersistent sind, skizziert. Veröffentlichungen, welche den Zusammenhang zwischen Aerosolen und der Aufnahme in

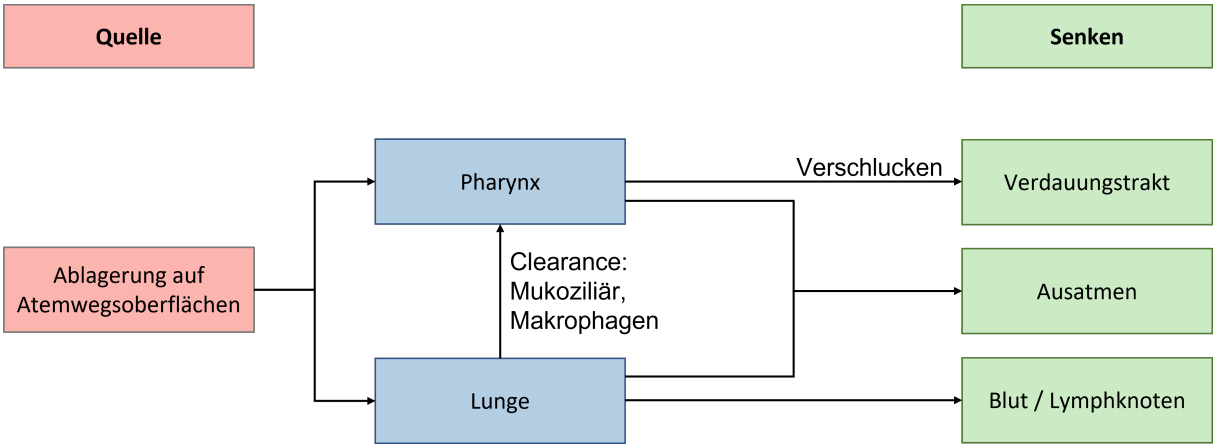


Abbildung 2.20: Pfade von in der Lunge biopersistenten Aerosol-Partikeln durch den Atemtrakt sowie in das Verdauungssystem.

den Magen-Darm-Trakt beschreiben, betrachten bereits erfolgte Ablagerungen von Partikeln auf den Oberflächen der Atemwege als Partikelquelle (n=19). 15 Publikationen beschreiben die Partikelgröße als Einflussparameter. Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von mindestens 10 µm, die zur extrathorakalen Fraktion zählen, werden aus dem Rachenraum (Pharynx) heraus primär unmittelbar verschluckt (n=6). Partikel unter 10 µm gelangen meist in die Lunge. Partikel von circa 2,5-10 µm bzw. 5-10 µm Größe werden hauptsächlich mittels mukoziliärer Clearance aus der Lunge transportiert und im Anschluss ebenfalls verschluckt (n=17). Kleinere Partikel werden über Makrophagen aus der Lunge entfernt oder gelangen in das Blut oder die Lymphknoten (n=9). Neben dem Magen-Darm-Trakt sowie Blut und Lymphknoten stellt das Ausatmen eine weitere beschriebene Partikelsenke dar (n=4).

2.4.3 Diskussion

Die Ergebnisse zu den Mechanismen von oraler Exposition am Arbeitsplatz werden nachfolgend diskutiert.

Mechanismen

Eine große Anzahl der einbezogenen Studien betrachten Mechanismen oraler Exposition für Kinder. Da relevante Verhaltensweisen von Kindern (quantitativ) von denen Erwachsener abweichen, muss bei der Interpretation dieser Ergebnisse Bias vermieden werden. Dies gilt insbesondere für die Beiträge von Hand-Mund und Objekt-Mund Kontakten, da entsprechende Kontakte für (Klein-)Kinder abhängig von ihrer Entwicklungsstufe besonders häufig sind. Jedoch haben vorherige Auswertungen zum Verhalten Erwachsener sowie zur Kontrollierbarkeit relevanter Verhaltensweisen gezeigt, dass auch Erwachsene entsprechende

Kontakte herbeiführen und sich diese nicht vollständig vermeiden lassen. Demnach sind diese Mechanismen grundsätzlich von Kindern auf Erwachsene und Beschäftigte zu übertragen.

Transfer von Chemikalien

Hinsichtlich des Transfers chemischer Stoffe als Mechanismus von oraler Exposition wurde eine Vielzahl beeinflussender Parameter identifiziert und anhand der sechs Gruppen „Umgebungsparameter“, „Stoffeigenschaften“, „Start / Ziel“, „Oberfläche“, „Kontakt“ sowie „Haut“ kategorisiert. Dabei wurden viele Einflüsse als „unklar“ eingestuft, da die zugrundeliegenden Publikationen dies schlussfolgern. Alternativ nennen Studien einen Einflussparameter, ohne ihn als erhöhend / verringernd / unklar einzustufen.

Das Auftreten von sowohl positiven als auch negativen Korrelationen zwischen Partikelgröße und Transfereffizienz / -koeffizient kann unter Betrachtung der Porosität der Oberfläche, von welcher der Transfer erfolgt, erklärt werden [43, 45]. Zunächst haften kleine Partikel wegen der Adhäsion besser an beispielsweise einer Hand [46] und werden entsprechend besser transferiert. Ist die vorliegende Oberfläche allerdings porös, gelangen kleine Partikel in die Poren und stehen – auch wenn sie inertial in einem Experiment auf die Oberfläche aufgetragen wurden – nicht mehr zum Transfer zur Verfügung. In Folge steigt oder sinkt die entsprechende Transfereffizienz abhängig von der Porosität und der Partikelgröße.

Aus entsprechenden komplexen Abhängigkeiten zwischen einigen Einflussparametern folgt, dass die Korrelationen zwischen Transfereffizienz und Einflussparametern weiteren Untersuchungsbedarf aufweisen. Beispielsweise wäre es auch hilfreich, fundierte Informationen zur Relevanz einzelner Parameter, wie sie in Grundsätzen von Stefaniak *et al.* für die Zieloberfläche beschrieben werden [43], für weitere Entwicklungen zu kennen.

Eine weitere Herausforderung bei der Auswertung bisheriger Literatur zum Transfer chemischer Stoffe stellen die genutzten Begrifflichkeiten und Definitionen dar, da insbesondere die absolut transferierte Menge, die Transfereffizienz oder der Transferkoeffizient unsauber getrennt werden. Dies hat Bias-Potenzial, da die Größen bei quantitativen Auswertungen unterschieden werden müssen. Inwiefern auch für die betrachteten Korrelationen Abhängigkeiten von den Definitionen auszumachen sind, ist auf der bisherigen Datenbasis nicht zu beantworten. Zu vermuten wären jedoch Abweichungen zwischen den Korrelationen der verschiedenen Definitionen, da beim Transferkoeffizienten die (altersspezifische) Kontakthäufigkeit bereits implizit berücksichtigt wird. Bei Transfereffizienzen hingegen kann diese als unabhängiger Einflussparameter untersucht werden.

Aerosole

Der Eintrag durch Aerosolpartikel als weiterer Mechanismus von beruflicher oraler Exposition wird durch die eingeschlossenen Publikationen implizit adressiert. Diese betrachten Aerosolpartikel im Körper, ohne dabei gezielt orale Exposition zu adressieren. Dennoch beschreiben sie den Pfad dieser Partikel, für die der Magen-Darm-Trakt eine mögliche Senke darstellt. Dies stellt die Verbindung zu oraler Exposition und Verschlucken her. Darüber hinaus wird die Partikelgröße als Diskriminante abgeleitet, die beispielsweise auch in Expositionsabschätzungen von Sprühanwendungen eine wichtige Rolle spielt. Ggf. könnten weitere Einflussparameter durch Recherchen in medizinischen Journalen identifiziert werden, um potenziellen Bias durch die bislang spezifische Suche zu reduzieren. Andererseits dienen die Informationen einer Modellentwicklung zur Expositionsabschätzung, in der detaillierte Clearance-Prozesse nicht individuell und differenziert abgebildet werden können.

2.4.4 Zwischenfazit: Mechanismen oraler Exposition

Zusammenfassend lassen sich die identifizierten Mechanismen von oraler Exposition in Beiträge durch Transfer und Aerosole gruppieren, zu denen je in eigenständigen Recherchen vertiefende Informationen aufbereitet wurden. Der Transfer wird von verschiedensten Parametern beeinflusst, wobei insbesondere zu Einflüssen des Kontakts und des vorliegenden Stoffes Studien mit teils gegensätzlichen Ergebnissen vorliegen. Diese beruhen beispielsweise auf Wechselwirkungen mehrerer beeinflussender Parameter. Für den Einfluss von Aerosolen auf die orale Exposition konnten wichtige Pfade von Partikeln im Atemtrakt sowie in den Magen-Darm-Trakt identifiziert werden. Darauf basierend lassen sich Aerosole grundlegend in einem Modell für berufliche orale Exposition berücksichtigen.

2.5 Messdaten zur Modellerprobung

Im Rahmen der vierten systematischen Literaturrecherche wurden verfügbare Messdaten identifiziert, die ggf. für eine spätere Erprobung des zu entwickelnden Modells geeignet sind.

2.5.1 Spezifikation der Methodik & Durchführung

Die Methodik für die vierte Recherche wurde wie folgt spezifiziert:

Informationsquellen & Suchstrategien

Als Informationsquellen wurden die fachübergreifenden Datenbanken, COCHRANE, sowie alle in Tabelle 2.1 aufgeführten Websites durchsucht.

Um möglichst umfassend verfügbare Messdaten zu oraler Exposition zu identifizieren, umfasst die Suchstrategie Synonyme für „orale Exposition“, „Arbeit“ und „Messung“ sowie konkrete vorab bekannte Probenahmemethoden für orale Exposition (Tabelle I.13). Getestet wurde die Suchstrategie anhand von vier Publikationen (Tabelle I.14), welche erfolgreich sowohl in Web of Science als auch PubMed identifiziert wurden. Tabelle I.15 enthält die vereinfachten Suchstrings für Websites.

Auswahl von Studien

Für die Auswahl der so identifizierten Studien wurden sowohl auf der Titel- / Abstract-Ebene als auch auf der Volltext-Ebene Beschäftigte als Population-Kriterium festgelegt, da Arbeitsplatzmessungen gesucht wurden. Das Outcome-Kriterium auf Titel- / Abstract-Ebene erforderte Hinweise auf Messdaten, welche Rückschlüsse auf eine berufliche orale Exposition erlauben. Auf Volltext-Ebene mussten zudem konkrete Messdaten vorliegen. Die Anwendbarkeit dieser Kriterien wurde anhand von Konsistenzprüfungen für beide Screening-Ebenen evaluiert.

Datenextraktion und Datenanalyse

Aus den somit ausgewählten Studien wurden die quantitativen Messdaten und qualitativen kontextualen Informationen in eine erweiterte Konzeptmatrix eingetragen.

2.5.2 Auswertung & Ergebnisse

Für die Recherche zu Messdaten zur Modellerprobung ergeben sich folgende Ergebnisse:

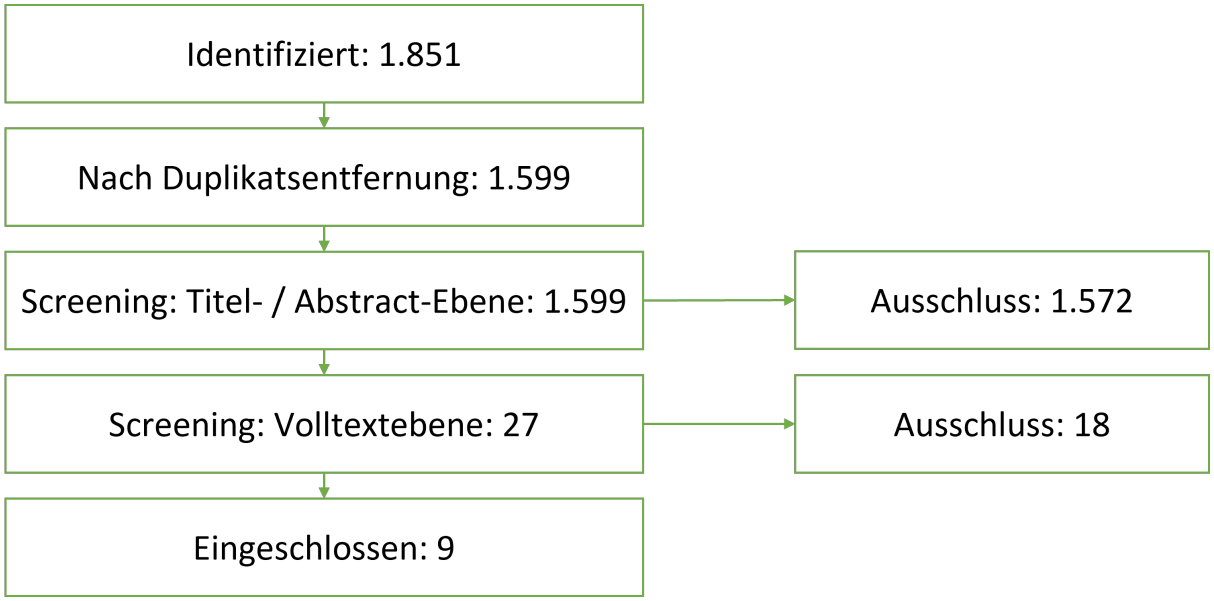


Abbildung 2.21: Anzahl der betrachteten Veröffentlichungen je Screening-Schritt für die Literaturrecherche zu Messdaten beruflicher oraler Exposition.

Auswahl von Studien & eingeschlossene Publikationen

Die Konsistenzprüfungen für Titel- / Abstract- bzw. Volltext-Ebene ergaben Cohen's kappa-Werte von 0,60 und 0,63. Gemäß Landis und Koch entspricht dies einer moderaten bzw. wesentlichen Übereinstimmung [18]. Daher wurden zwischen den beiden beteiligten Gutachtenden die Unterschiede diskutiert und leicht unscharfe Kriterien als Ursache identifiziert. Die geschärften Kriterien wurden obenstehend dargelegt.

Wie in Abb. 2.21 dargestellt, wurden neun Publikationen eingeschlossen, die Messdaten zu oraler Exposition am Arbeitsplatz enthalten. Die Publikationen sind in Tabelle I.16 aufbereitet.

Datenextraktion

Die auf Basis der ausgewählten Studien entwickelte erweiterte Konzeptmatrix enthält Kategorien zum Kontext, zur Messung sowie der Analytik. Die detaillierten Kategorien können Abb. 2.22 entnommen werden.

Probenahmemethoden, Stoffsysteme & Messdaten

Die meisten dieser Messungen beruhen wie in Tabelle 2.5 aufgeschlüsselt auf perioralen Wischproben. Weitere Methoden sind die Probenahme unter Fingernägeln, Speichelproben bzw. Mundspülungen, Wischproben der Lippen sowie Biomonitoring (Urin). Metalle sind die am meisten untersuchte Stoffgruppe. Weitere Stoffgruppen, zu denen Messdaten vorliegen, sind Pestizide, Pharmaka und Wasser basierend auf einem Tracer.



Abbildung 2.22: Detailkategorien der Konzeptmatrizen zur Literaturrecherche über die Messdaten oraler Exposition.

Tabelle 2.5: Aufschlüsselung der identifizierten Messdaten gemäß Stoffgruppen und Probenahmemethoden. Unterschieden wird die Anzahl der Studien (St.) sowie der beschriebenen Szenarien (Sz.).

	Metalle		**Pestizide**		**Pharmaka**		**Wasser**		**Gesamt**	
	St.	Sz.	St.	Sz.	St.	Sz.	St.	Sz.	St.	Sz.
Speichelprobe, Mundspülung	1	5	1	8	1	6	0	0	1	19
Perioral (Wischen)	4	304	1	16	1	6	0	0	6	326
Lippen (Wischen)	2	8	0	0	0	0	0	0	2	8
Probenahme unter Fingernagel	1	64	0	0	0	0	0	0	1	64
Biomonitoring (Urin)	0	0	0	0	0	0	1	2	1	2

Die Höhe der einzelnen Datenpunkte für periorale Wischproben und Speichelproben / Mundspülungen sind in Abb. 2.23 in Form von Boxplots visualisiert, um die Streuung der einzelnen Datenpunkte abzubilden. Ausreißer wurden nicht eingetragen. Neben Stoffgruppen wurden auch die in den Publikationen verfügbaren statistischen Größen unterschieden. Die Messergebnisse können aufgrund der unterschiedlichen Einheit, welche aus der jeweiligen Probenahmemethode resultiert, nicht unmittelbar miteinander verglichen werden. Zudem liegen die Messdaten der einzelnen Stoffgruppen in unterschiedlichen Größenordnungen, sodass hier die Skalierung der y-Achse beachtet werden muss. In Bezug auf periorale Wischproben und Speichelproben / Mundspülungen werden für die Stoffgruppe der Metalle die höchsten Messwerte erreicht. Messdaten weiterer Probenahmemethoden sind in Abb. I.7 abgebildet.

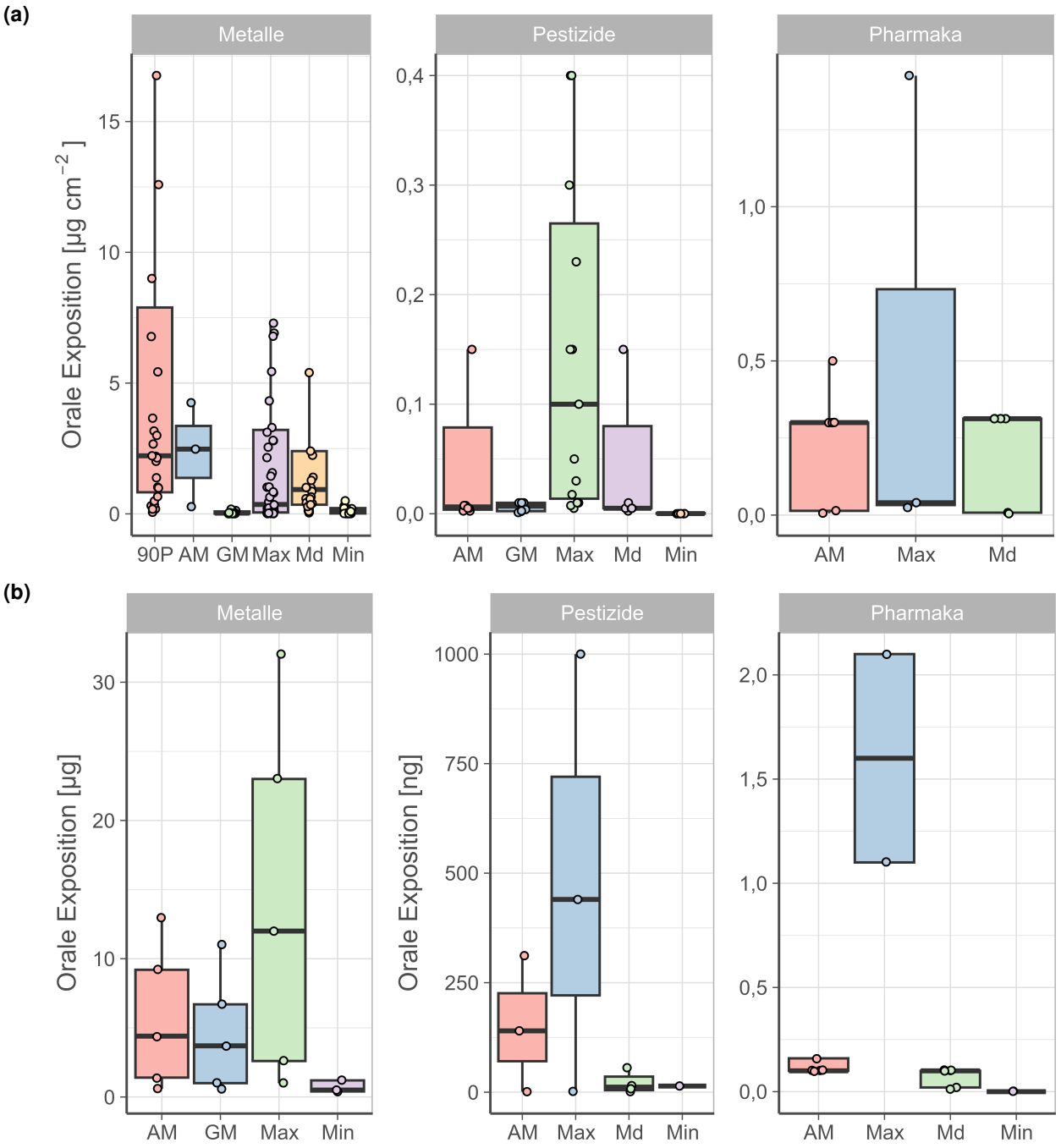


Abbildung 2.23: Boxplot der Messdaten zu oraler Exposition für (a) periorale Wischproben und (b) Speichelproben / Mundspülungen. Ausreißer sind nicht visualisiert. Farben dienen der besseren Lesbarkeit.
90. P: 90. Perzentil, AM: Arithmetisches Mittel, GM: Geometrisches Mittel, Max: Maximum, Md: Median, Min: Minimum.

2.5.3 Diskussion

Sieben der neun identifizierten Studien beinhalten Messdaten zur Stoffgruppe der Metalle. Dies deckt sich mit dem bisherigen Forschungsschwerpunkt auf die berufliche orale Exposition gegenüber Metallen. Bei der zukünftigen Interpretation dieser Messdaten muss Bias vermieden werden: Aus dem bisherigen Fokus auf Metalle folgt nicht, dass andere Stoffgruppen irrelevant sind.

Inwiefern die identifizierten Messdaten geeignet sind, um ein Modell zur Abschätzung der beruflichen oralen Exposition zu erproben, hängt insbesondere von den benötigten Modelleingabeparametern und deren Verfügbarkeit in den hier identifizierten Studien ab. Dabei müssen die im Modell und den Studien abgedeckten Stoffgruppen sowie die modellierten bzw. gemessenen Tätigkeiten berücksichtigt werden.

2.5.4 Zwischenfazit: Messdaten zur Modellerprobung

Schließlich wurden neun Studien identifiziert, die zu verschiedenen Stoffgruppen und damit verbundenen Anwendungsbereichen Messdaten enthalten. Inwiefern diese für die Modellerprobung dieser Arbeit nutzbar sind, hängt von der Verfügbarkeit benötigter Modelleingabeparameter, den modellierbaren Stoffen und den repräsentierten Tätigkeitsbereichen ab.

2.6 Stärken und Schwächen der systematischen Literaturrecherchen

Im Folgenden werden zusammenfassend für die vier systematischen Literaturrecherchen die Stärken und Schwächen des PRISMA-Studiendesigns diskutiert.

Aus Praktikabilitätsgründen wurde die Suche hinsichtlich des eingeschlossenen Veröffentlichungszeitraums und der Sprache der Publikationen eingeschränkt. Wie jedoch die große Anzahl der in den einzelnen Literaturrecherchen betrachteten Veröffentlichungen widerspiegelt, wurde dennoch eine umfangreiche Anzahl an Studien identifiziert.

Darüber hinaus sichern die umfassenden Suchstrings sowie die Verwendung sowohl von Datenbanken als auch von Websites, dass relevante Publikationen aus unterschiedlichsten Kontexten sowie Forschungsprojekten identifiziert und in die Auswertung einbezogen werden konnten.

Durch das zweistufige Screening können Publikationen basierend auf Titel und Abstract ausgeschlossen werden, auch wenn im Volltext relevante Informationen verfügbar gewesen wären. Obwohl diese Vorgehensweise in Einzelfällen relevante Veröffentlichungen nicht identifizieren kann, sichert es die Betrachtung großer Anzahlen an Veröffentlichungen. Insgesamt werden somit die meisten relevanten Studien eingeschlossen.

Weiterhin war es in der Literaturrecherche zur Relevanz von oraler Exposition am Arbeitsplatz sowie zu den Mechanismen nicht möglich, alle identifizierten Veröffentlichungen auf Titel- / Abstract-Ebene zu evaluieren. Um dennoch eine Identifikation der relevanten Veröffentlichung sicherzustellen, wurde anhand des Auftretens spezifizierter Schlüsselbegriffe geordnet. Im Verlaufe des Screenings wurden immer weniger weitere relevante Veröffentlichungen identifiziert. Bei Abschluss des Screenings konnte deshalb angenommen werden, dass ein Großteil der verfügbaren relevanten Publikationen eingeschlossen wurde.

Viele PRISMA-Studien stellen die Qualität von Studienauswahl sowie Datenextraktion sicher, indem mehrere Gutachtende diese Schritte parallel und unabhängig durchführen. Aus dieser Methodik resultieren Herausforderungen für die Umsetzung, da die entsprechenden Arbeitsschritte pro Person extrem zeitaufwändig sind. Deshalb konnte diese Herangehensweise in dieser Arbeit nicht umgesetzt werden. Stattdessen erfolgte eine Qualitätssicherung anhand der Konsistenzprüfungen für die Studienauswahl sowie einer sorgfältigen Diskussion und Optimierung der Population- und Outcome-Kriterien. Weiterhin erfolgte die Extraktion der Daten in die Konzeptmatrizen kleinschrittig, um die Fehleranfälligkeit zu minimieren. Durch die Verwendung von Konzeptmatrizen wurden zudem die identifizierten Informationen in einem strukturiert auswertbaren Format aufbereitet und nutzbar gemacht.

Als Methode aus dem medizinischen Kontext sieht PRISMA eine Biasbewertung anhand von vorregistrierten Studienprotokollen vor. Da diese für die hier betrachteten Studien nicht vorliegen, wurde ersatzweise eine qualitative Betrachtung des Bias durchgeführt.

2.7 Ableitung einer Definition von oraler Exposition am Arbeitsplatz

Weiterhin bilden diese Informationen die Basis für die Ableitung einer Definition dessen, was im Rahmen dieser Arbeit unter „oraler Exposition am Arbeitsplatz“ verstanden wird:

Orale Exposition am Arbeitsplatz bezeichnet demnach die Aufnahme von Gefahrstoffen, welche

- in Folge eines unbeabsichtigten Transfers durch relevante Verhaltensweisen, die teils unterbewusst oder unkontrolliert sind, oder
- als Aerosole in Abhängigkeit von der Partikelgröße

in den Mund bzw. in den Verdauungstrakt gelangen.

Im Gegensatz dazu wird die Aufnahme über Nahrung oder Trinken nicht betrachtet, da sich deren Kontamination durch die Einhaltung geeigneter Hygienemaßnahmen grundsätzlich vermeiden lässt. Bei diesen Maßnahmen handelt es sich beispielsweise um räumliche Trennungen von Arbeits- und Pausenbereichen oder die Verwendung von geeigneten Seifen zur Entfernung von Kontaminationen.

2.8 Fazit zu systematischen Literaturrecherchen

Die vier systematischen Literaturrecherchen zur Relevanz, zu Verhaltensweisen und arbeitshygienischen Praktiken, zu Mechanismen sowie zu Messdaten von beruflicher oraler Exposition bilden umfassend den aktuellen Wissensstand hinsichtlich dieses Expositionswegs am Arbeitsplatz ab. Mit der umfangreichen Aufbereitung qualitativer und quantitativer Daten werden die identifizierten Informationen als Basis für die weitere Entwicklung eines Modells zur Abschätzung von beruflicher oraler Exposition nutzbar. Damit adressieren diese Recherchen die Ziele ***Z1***, ***Z2***, ***Z3*** und ***Z5*** dieser Arbeit. Folgende Aspekte zählen zu den Ergebnissen:

- Relevanz: Gemäß der entsprechenden Publikationen ist orale Exposition am Arbeitsplatz insbesondere für Arbeiten in Innenräumen, im industriellen Umfeld sowie beim Recycling von Bedeutung (Ziel ***Z1***).
- Verhaltensweisen und arbeitshygienische Praxis: Verhaltensweisen, die potenziell zu oraler Exposition führen können, sind teils unterbewusst oder unkontrolliert. Einige Häufigkeiten entsprechender Verhaltensweisen und arbeitshygienischer Praktiken liegen für die weitere Verwendung vor (Ziele ***Z2***, ***Z3***).
- Mechanismen: Die Entstehung oraler Exposition lässt sich nach bisherigen Erkenntnissen auf Einträge durch Transfer und Aerosole zurückführen (Ziele ***Z2***, ***Z3***).
- Messdaten: Es liegen neun Studien vor, aus denen potenziell Messdaten zur Modellerprobung herangezogen werden können (Ziel ***Z5***).

Kapitel 3

Verhaltensweisen und arbeitshygienische Praxis

Aus den Literaturrecherchen konnten qualitative und quantitative Informationen zu Verhaltensweisen und arbeitshygienischen Praktiken extrahiert werden, welche für die Entstehung von oraler Exposition am Arbeitsplatz relevant sind. Für die Entwicklung eines Modells für orale Exposition werden weitergehende Informationen benötigt. Dazu zählt die Einordnung von Verhaltensweisen und arbeitshygienischen Praktiken in einen größeren praktischen Kontext, die Bewertung hinsichtlich ihrer Relevanz für die Entstehung oder Reduktion von oraler Exposition und die Erweiterung quantitativer Daten. Diesbezüglich wurde eine zweigeteilte Methodik verfolgt, in der qualitative Informationen via Experteninterviews und quantitative Daten via Arbeitsplatzbeobachtungen getrennt erhoben wurden.

3.1 Experteninterviews

Relevante qualitative Erfahrungswerte wurden anhand von Interviews erhoben, da diese eine individuelle Informationserhebung unter Berücksichtigung der jeweiligen Expertise erlauben. Da bislang orale Exposition an Arbeitsplätzen in der Praxis nicht vertieft betrachtet wird, erschienen beispielsweise Sicherheitsfachkräfte nicht als geeignete Zielgruppe. Stattdessen wurden Experten für Arbeitsplatzmessungen interviewt. Diese kennen verschiedene Arbeitsbereiche, sodass sie umfassende Überblicke geben können. Darüber hinaus sind sie für Aspekte der Exposition sowie des Arbeitsschutzes sensibilisiert und können darauf basierend entsprechende Erfahrungen teilen.

3.1.1 Experteninterviews: Methodik

Grundsätzlich werden drei Arten von Experteninterviews unterschieden [47]:

- Strukturiert: Gemäß eines strikten Interview-Leitfadens
- Semistrukturiert: Flexibel anhand eines Interview-Leitfadens

- Unstrukturiert: Hauptsächlich basierend auf Gesprächsimpulsen.

Für die Erhebung wurde ein semistrukturiertes Format gewählt. Dieses erlaubt eine Moderation des Interviews, sodass auch ein Informationsgewinn erfolgt, wenn ein Experte zunächst an das Thema der oralen Exposition herangeführt werden muss. Dabei bleibt die Interviewführung im semistrukturierten Format flexibel, sodass individuell auf einzelne Experten reagiert und deren persönliche Themenschwerpunkte adressiert werden können. Semistrukturierte Interviews fördern den Gesprächsfluss zur umfassenden Erhebung von Informationen und legen den Fokus auf qualitative Angaben, um möglichst viele Informationen zu erzielen.

Leitfadenentwicklung

Die Entwicklung eines semistrukturierten Interview-Leitfadens wird in einem systematischen Review von Kallio *et al.* in fünf Schritten beschrieben [48], die im folgenden für die Erhebung im Kontext oraler Exposition betrachtet werden.

1. Für die methodische Eignung semistrukturierter Interviews müssen Voraussetzungen hinsichtlich des Vorwissens, der zu erhebenden Zielgrößen sowie des Bewusstseins für das Thema erfüllt sein:

   (a) Das Themenfeld lässt sich basierend auf Vorwissen identifizieren: Das Vorwissen basiert auf der systematischen Literaturrecherche zu Arbeitshygiene und Verhalten, in der relevante dokumentierte Verhaltensweisen und arbeitshygienische Praktiken identifiziert wurden. Es war Ziel der Experteninterviews, dieses Vorwissen ggf. zu ergänzen sowie hinsichtlich der Relevanz im praktischen Betriebsalltag einzuordnen. Ein weiteres Themenfeld waren Einflussfaktoren seitens Tätigkeit, Arbeitsplatz oder Arbeitsumfeld, welche entsprechende Verhaltensweisen oder Arbeitshygiene beeinflussen.

   (b) Um erhebbar zu sein, müssen die Zielgrößen Erwartungen oder Meinungen von Personen darstellen: Im Rahmen der Erhebung wurden individuelle Erfahrungen und Perspektiven der Experten erhoben.

   (c) Semistrukturierte Interviews sind insbesondere geeignet, wenn Personen nur wenig Bewusstsein für das betrachtete Themenfeld aufweisen: Experten für Arbeitsplatzmessungen haben ein umfassendes Bewusstsein für Arbeitsschutz und Exposition gegenüber Chemikalien, jedoch meist nur wenig direkte Berührungspunkte mit oraler Exposition.

2. Einbezug bereits vorliegender Informationen: In die Entwicklung des semistrukturierten Interview-Leitfadens gingen insbesondere die Informationen ein, die aus den zugehörigen Literaturrecherchen extrahiert wurden. Somit konnten die entwickelten Fragen beispielsweise spezifisch auf vertiefende Informationen zu Verhaltensweisen wie Hand-Mund Kontakten abzielen.

3. Formulierung des vorläufigen Interview-Leitfadens: Basierend auf der Literaturrecherche wurden verschiedene Themenbereiche abgeleitet.

   (a) Allgemeine Einschätzung zu Verhaltensweisen, die orale Exposition erhöhen oder reduzieren können.

   (b) Allgemeine Einschätzung zu Schutzmaßnahmen, die orale Exposition erhöhen oder reduzieren können.

   (c) Einflüsse des Arbeitsumfelds auf 3a und 3b.

   (d) Arbeitsplatzspezifische Erfahrungen des Experten zu 3a und 3b.

   (e) Erfahrung mit Schulungen, als beeinflussende Parameter von 3a und 3b.

   Für einen nachvollziehbaren Fokus während der Durchführung wurde das Interview in die Phasen Einführung, Verhaltensweisen, Arbeitshygiene und Abschluss unterteilt. Ein erster Leitfadenentwurf wurde iterativ entworfen, indem Fragen zu den Themenfeldern entwickelt, sortiert oder zusammengeführt wurden. Die Fragen sind:

   (i) Möglichst offen [49]: Relevante Informationen lassen sich besonders aus einem natürlichen Gesprächsfluss extrahieren.

   (ii) Ohne Suggestion [50]: Meinungen der interviewenden Person beeinflussen die Antworten des Experten möglichst nicht.

   (iii) Fokussiert auf ein Thema [50]: Mehr als ein Thema pro Frage führt zu unvollständigen Antworten und fehlendem Fokus.

   (iv) Qualitativ [51]: Quantitative Fragen mit Antwortoptionen hemmen den Gesprächsfluss. Falls in Einzelfällen dennoch Antwortoptionen für vergleichbare Aussagen benötigt werden, wurden diese anhand des Vorwissens aus der Literaturrecherche abgeleitet, um eine sinnvolle Unterteilung des Antwortspektrums anzubieten.

4. Pilot-Tests: Der Entwurf des Interview-Leitfadens wurde anhand von fünf Pilot-Interviews getestet, in denen Expositionsexperten befragt wurden. Diese Testgruppe verfügt einerseits über die Expertise, den Fragebogen sinnvoll zu beantworten, sodass der Leitfaden optimiert und Interviewerfahrung gesammelt werden kann. Andererseits ist diese Gruppe nicht mit einer großen Anzahl realer Arbeitsplätze vertraut, sodass

keine Experten für die eigentliche Studie entfallen. Darauf basierend wurde der Leitfaden iterativ verbessert.

Zur weiteren Qualitätssicherung im Rahmen der Interviews wurde der Leitfaden mit einer Expertin für die Führung von Interviews diskutiert [52]. Dabei wurde die Gestaltung der Fragen verbessert, die im Rahmen qualitativer Forschung insbesondere das „Warum“ explizit oder implizit adressieren können. Praktische Hinweise zu erzählgenerierenden Impulsen wurden erarbeitet. Dazu zählen insbesondere eine Selbstvorstellung des Experten und eine Icebreaker-Frage zu Beginn des Interviews. Weiterhin wurde die Entwicklung von Standardbeispielen oder Erklärungen für potenzielle Rückfragen empfohlen, welche eine spontane und einheitliche Reaktion in den Interviews erlauben.

Weitere praktische Erfahrung und Feedback zum Führen von Experteninterviews wurde im Rahmen eines Workshops des GESIS (Gesellschaft Sozialwissenschaftlicher Infrastruktureinrichtungen) Leibniz-Instituts für Sozialwissenschaften erworben. Bestandteile waren die Leitfadenentwicklung, Interviewführung und Auswertung von Experteninterviews [50].

5. Finalisierung des Interview-Leitfadens: Für die Finalisierung des semistrukturierten Interview-Leitfadens wurden die gesammelten Erfahrungswerte aus den Pilot-Tests, der Beratung sowie des Workshops iterativ umgesetzt. Dabei ergibt sich die in Tabelle 3.1 dargestellte Struktur des Interviews. Der vollständige Interview-Leitfaden kann Anhang II.2.1 entnommen werden.

Tabelle 3.1: Zusammenfassung der Module des semistrukturierten Interview-Leitfadens.

Modul	**Inhalt**
Einleitung	Thematische Vorstellung. Vorstellung interviewende Person. Aufklärung.
Vorstellung Experte	Erfahrung. Perspektive & Definition orale Exposition.
Verhaltensweisen	Relevante Verhaltensweisen. Relevanz basierend auf deren Häufigkeit. Einflüsse durch Arbeit, Arbeitsplatz, Arbeitsumfeld. Arbeitsplatzspezifische Einschätzung. Reduzierende Verhaltensweisen. Häufigkeiten.
Schutzmaßnahmen	Relevante Schutzmaßnahmen. Wirkprinzip. Qualitative Wirksamkeit. Arbeitsplatzspezifische Einschätzung. Erhöhende Schutzmaßnahmen.
Schulung	Erfahrungen mit Zielsetzung, Format, Material.
	Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle 3.1 – Fortführung

Modul	Inhalt
Fazit & Abschluss	Forschungsschwerpunkte. Zukünftige Betrachtung. Sonstige Hinweise.
One-Shot Question	Orale Exposition am wirkungsvollsten unterbinden.

Zu Beginn eines Interviews erfolgt die vollständige Aufklärung des Experten sowie die Vorstellung der interviewenden Person. In einem darauf folgenden Modul zur inhaltlichen Einleitung wird der Gesprächsfluss anhand einer Selbstvorstellung des Experten und Fragen zu seiner Berufserfahrung angeregt. Dabei werden zudem Hintergrundinformationen zu Arbeitsplätzen, die ggf. im weiteren Verlauf des Interviews diskutiert werden, erhoben. Um eine anonymisierte aber vergleichbare Beschreibung der Arbeitsbereiche zu gewährleisten, werden diese in Anlehnung an die Verwendungssektoren in REACH, Guidance R.12 [53] erhoben. Eine Icebreaker-Frage zur Relevanz von oraler Exposition („...Wie sehen Sie die Relevanz von oraler Exposition am Arbeitsplatz?“) bietet den Einstieg in dieses für viele Experten neue Themengebiet, wobei das Verständnis des Begriffs „orale Exposition“ für das weitere Interview geklärt wird.

In einer zweiten Phase werden Verhaltensweisen adressiert, welche für orale Exposition am Arbeitsplatz eine Rolle spielen. Dabei werden Verhaltensweisen, ihre Relevanz basierend auf ihrer Häufigkeit sowie Gründe für diese Einschätzung erfragt. Es werden Charakteristika von Arbeit, Arbeitsplatz oder Arbeitsumfeld erhoben, welche Einfluss auf Verhaltensweisen ausüben können. Ergänzend werden Verhaltensweisen im Kontext verschiedener betrieblicher Umfelder diskutiert, um potenzielle Unterschiede und deren Ursachen zu identifizieren. Das Themenfeld der Verhaltensweisen wird mit einer Frage nach positiven Verhaltensweisen, welche die orale Exposition reduzieren können, sowie einer groben Einschätzung der Häufigkeiten der diskutierten Verhaltensweisen abgeschlossen.

Die dritte Interviewphase zum Thema Schutzmaßnahmen wird mit einer Frage nach konkreten Maßnahmen zur Vermeidung oder Reduktion von oraler Exposition eröffnet. Vertiefend wird erfragt, was durch eine spezifische Schutzmaßnahme verhindert oder reduziert würde. Die Wirksamkeit wird im qualitativen Vergleich der Maßnahmen erhoben. Analog zu den Verhaltensweisen wird anschließend das Thema der Schutzmaßnahmen in einen betrieblichen Kontext gesetzt und die Umsetzung der Maßnahmen, betriebliche Unterschiede und die Erreichbarkeit von Hygieneeinrichtungen erfragt. Abschließend wird diskutiert, inwiefern einzelne Schutzmaßnahmen zwar eine inhalative oder dermale Exposition reduzieren, die orale Aufnahme jedoch potenziell erhöhen können.

Ergänzend folgen einige Fragen zur Erfahrung mit Schulungsformaten und -materialien, welche Anlass zu einem Gespräch über persönliche Erfahrungen mit Schulungen bieten.

Den Interviewabschluss stellt eine Frage nach besonders relevanten Forschungsaspekten dar, falls ein Experte anfangs orale Exposition als relevant eingestuft hat. Wurde zu Beginn hingegen von keiner Relevanz ausgegangen, wird stattdessen erfragt, inwiefern orale Exposition am Arbeitsplatz zukünftig betrachtet werden sollte. Beide Fragen erlauben abhängig von der Perspektive eine erneute Reflexion zum Thema, welches den Experten über den Interviewverlauf nähergekommen ist. Abschließend wird Experten die Möglichkeit gegeben, weitere Aspekte außerhalb der vorherigen Fragen einzubringen.

Zu verschiedenen Gesichtspunkten enthält der Fragebogen sogenannte Probe-Fragen. Diese werden nur bei Bedarf gestellt und erlauben es, die Frage konkreter, dafür aber weniger offen neu zu stellen oder aber Bezug auf einzelne gemäß der Literatur besonders relevante Aspekte zu nehmen.

Für den Fall, dass ein Experte spontan nur kurz Zeit hätte, beinhaltet der Interview-Leitfaden zudem eine One-Shot Question, die dazu dient in möglichst kurzer Zeit möglichst viele Informationen von einem Experten zu erhalten.

Vor Studienbeginn wurde ein Datenschutzkonzept zur Handhabung der personenbezogenen Daten erstellt sowie ein Ethikvotum eingeholt (Anhang II.1).

Datenextraktion und Auswertung

Für alle anhand des Interviewleitfadens durchgeführten Gespräche stehen Audio-Aufnahmen zur Verfügung, die zur weiteren Auswertung herangezogen wurden. In der qualitativen Forschung werden entsprechende Aufnahmen meist vollständig und wörtlich transkribiert. Anhand dessen werden die Aussagen der Interviews beispielsweise gemäß Grounded Theory Method oder qualitativer Inhaltsanalyse ausgewertet [54, 55]. Die Methode der Inhaltsanalyse arbeitet teils zusammenfassend und paraphrasierend [50]. Im Rahmen dieser Arbeit ist aufgrund des Forschungsthemas der genaue Wortlaut weniger relevant als eine zielgenaue Extraktion von Sachinformationen und Experteneinschätzungen. Aus diesem Grund wurde statt einer Wortlaut-basierten Analyse eines Volltranskripts eine paraphrasierende Auswertung anhand von zwei Methodiken durchgeführt.

Zunächst wurde anhand der allen Interviews zugrundeliegenden Struktur basierend auf dem semistrukturierten Interview-Leitfaden ein Formular zur Datenextraktion entwickelt. Dieses enthält Antwortoptionen für besonders häufige Antworten, welche angekreuzt werden können sowie zielgenaue Freitextfelder. Durch das Befüllen eines solchen Formulars pro Interview entstanden Expertensteckbriefe, welche Erfahrungen, Perspektiven und Einschätzungen eines Experten in vorstrukturierter Weise aufbereiten. Um aus den einzelnen Expertensteckbriefen zusammenfassende Einordnungen zu den Themenbereichen der Interviews zu aggregieren, wurden zu jedem der Themen die Expertenantworten zusammengeführt, sodass daraus ein Gesamtsteckbrief in tabellarischer Form entstand (Abb. 3.1).

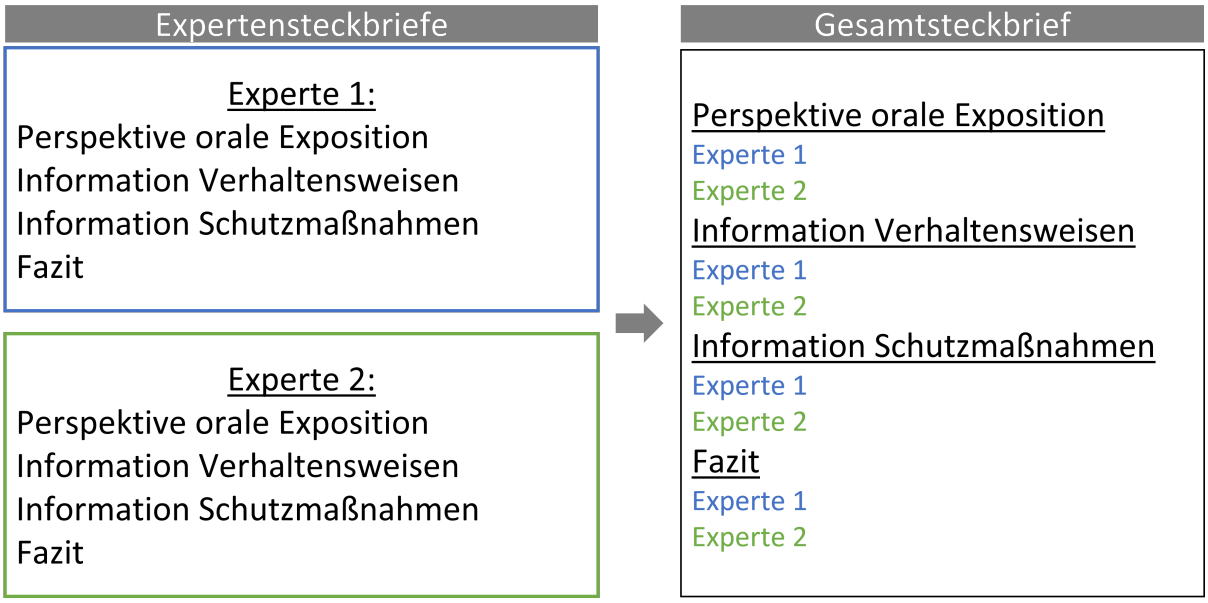


Abbildung 3.1: Zusammenstellung eines Gesamtsteckbriefs aus Expertensteckbriefen.

Von den Experten verwendete Synonyme oder positive und negative Formulierungen des gleichen Sachverhalts wurden aggregiert. Beispielsweise würden die Aussagen „Händewaschen reduziert orale Exposition“ und „Nicht-Händewaschen erhöht die orale Exposition“ zusammengeführt um Dopplungen zu vermeiden. Somit lässt sich der Gesamtsteckbrief hinsichtlich getroffener Aussagen und deren Häufigkeit analysieren.

Die Methodik anhand der Steckbriefe wurde evaluiert, indem für ein Interview sowohl eine Auswertung mit einem Volltranskript als auch anhand eines Expertensteckbriefs durchgeführt wurde. Da die gleichen relevanten Informationen extrahiert wurden, wurde für die weiteren Interviews die Auswertung anhand der Steckbriefe durchgeführt.

Zusätzlich zu diesen verallgemeinerbaren Informationen enthalten die Interviews individuelle Schilderungen, die sich nicht sinnvoll kategorisieren lassen. Dabei handelt es sich insbesondere um Berichte aus einzelnen Betrieben, anhand derer das Zustandekommen von oraler Exposition aufgezeigt und konkretisiert wurde. Um diese Informationen dennoch verfügbar zu machen, wurden sie als zweiter Bestandteil der Methodik als Erfahrungsberichte in thematisch geordneten Mindmaps aggregiert.

Die Herangehensweise anhand des Gesamtsteckbriefs sowie der Erfahrungsberichte wurde im Folgenden angewandt und hinsichtlich der einzelnen Module der Interviews ausgewertet.

3.1.2 Ergebnisse der Interviews

Insgesamt wurden anhand dieser Methodik 14 Experteninterviews geführt, wobei acht Experten aus Behörden, drei Experten aus Beratungsfirmen und drei Experten aus der Großindustrie stammen. Einzelne Experten beschrieben meist mehrere Branchen (Abb. II.1), die anhand der REACH-Verwendungssektoren aus Guidance R.12 erfasst wurden [53]. Am häufigsten handelt es sich dabei um Arbeitsplätze im Bereich Chemikalien und nichtmetallischer Produkte (n=15), gefolgt von Arbeiten in der Metallverarbeitung (n=10) und im Polymer-Sektor (n=8). Weitere Arbeitsbereiche umfassen die Herstellung von Geräten, Maschinen oder Einrichtung (n=7), Landwirtschaft und Lebensmittel (n=3), Textilien, Holz, Papier und Druck (n=2) sowie andere Sektoren (n=2), beispielsweise Biogasanlagen. Sonstige Arbeitsbereiche (n=8) umfassen beispielsweise Recycling-Arbeitsplätze.

Die Experten beschrieben die Arbeitsbereiche, wie in Tabelle 3.2 dargestellt (Abb. II.2). Fallzahlen beziehen sich auf die Gesamthäufigkeit in allen Interviews, wobei ein Interview mehrere Arbeitsplätze oder Tätigkeiten umfassen kann. Es wurde jedoch nicht jede Interviewfrage für jeden Arbeitsplatz beantwortet.

Tabelle 3.2: Beschreibung der Arbeitsbereiche durch die Experten. Fallzahlen beziehen sich auf die Gesamthäufigkeit in allen Interviews.

Kontext	**Häufigkeit**
Umfeld	Gewerblich: n=34 Industriell: n=15
Berücksichtigung von oraler Exposition	Nein: n=28 Ja: n=12, häufig in Form eines Verbots von Essen und Trinken bei der Arbeit
Sauberkeit	Eher schmutzig: n=20 Eher sauber: n=19
Beschäftigung der Hände	Hoch: n=24 Mittel: n=11 Gering: n=5

Perspektive & Definition beruflicher oraler Exposition

Die Perspektive der Experten auf berufliche orale Exposition lässt sich in Aussagen über deren Relevanz oder Irrelevanz gliedern (Abb. II.3). Als Grund für Irrelevanz wurde angegeben, dass orale Exposition durch Hygiene lösbar sei (n=3). Für die Relevanz wurden

insbesondere Kontaminationen und Verschleppungen (n=9) benannt sowie eine fehlende Sensibilisierung der Beschäftigten (n=6). Eine stoffabhängige Relevanz wurde vierfach beschrieben, jedoch nicht näher spezifiziert. Außerdem wurden als Ursachen Hygiene (n=2) und Kontakthäufigkeiten (n=2) genannt. Biomonitoring (n=1) liefert zusätzlich Hinweise auf eine Relevanz.

Insbesondere im Rahmen der Definition von oraler Exposition gaben Experten verschiedene Ursachen oder Mechanismen an, welche sie diesem oder einem anderen Expositionsweg zuordnen (Abb. II.4). Für orale Exposition wurden am häufigsten Kontakte, beispielsweise zwischen Hand und Mundregion genannt (n=12). Kontaminationen und Verschleppungen, beispielsweise durch kontaminierte Arbeitskleidung oder an den Gürtel geclippte Arbeitshandschuhe, die in andere Bereiche wie zum Beispiel in die Kantine gebracht werden, wurden als weitere Ursache identifiziert (n=10). Essen und Trinken am Arbeitsplatz (n=8), mangelnde Hygiene (n=4), Rauchen (n=4) und Spritzer (n=3) wurden ergänzend als Ursache beschrieben. Das Verschlucken von Aerosolen wurde sowohl explizit als Mechanismus von oraler Exposition beschrieben (n=6) als auch davon ausgenommen und ausschließlich der Inhalation zugeordnet (n=1).

Ursachen oraler Exposition & Verhaltensweisen

Als wichtigste Ursachen identifizierten Experten Kontakte, gefolgt von Rauchen, Kontamination von Essen und Trinken sowie Verschleppung und Aerosole.

Verhaltensweisen, welche die Experten als relevant identifizierten, bewerteten diese als die orale Exposition erhöhende oder verringernde Faktoren (Abb. 3.2). Als kaum beeinflussend wurden grundsätzlich relevante Faktoren benannt, die jedoch zu selten auftreten, um einen maßgeblichen Einfluss zu nehmen. Bei neun der Verhaltensweisen handelt es sich um verschiedene Kontaktarten, beispielsweise zwischen Hand und Gesicht oder zur perioralen Region. Meist kategorisierten die Experten diese als erhöhende Einflüsse.

Aspekte der Arbeitshygiene stellen eine zweite Gruppe von Verhaltensweisen dar. Eine fehlerhafte Anwendung oder Pflege von persönlicher Schutzausrüstung (PSA) sowie eine mangelnde Hygiene, insbesondere Handhygiene, werden häufig als Ursachen beschrieben. Als reduzierende Verhaltensweise wurde das Waschen des Gesichts genannt. Rauchen und Essen bzw. Trinken am Arbeitsplatz wurden aufgrund resultierender Kontaminationen und Verschleppungen als erhöhende Faktoren benannt. Essen und Trinken wurden teils auch als zu selten beschrieben, um einen relevanten Beitrag zu oraler Exposition zu leisten.

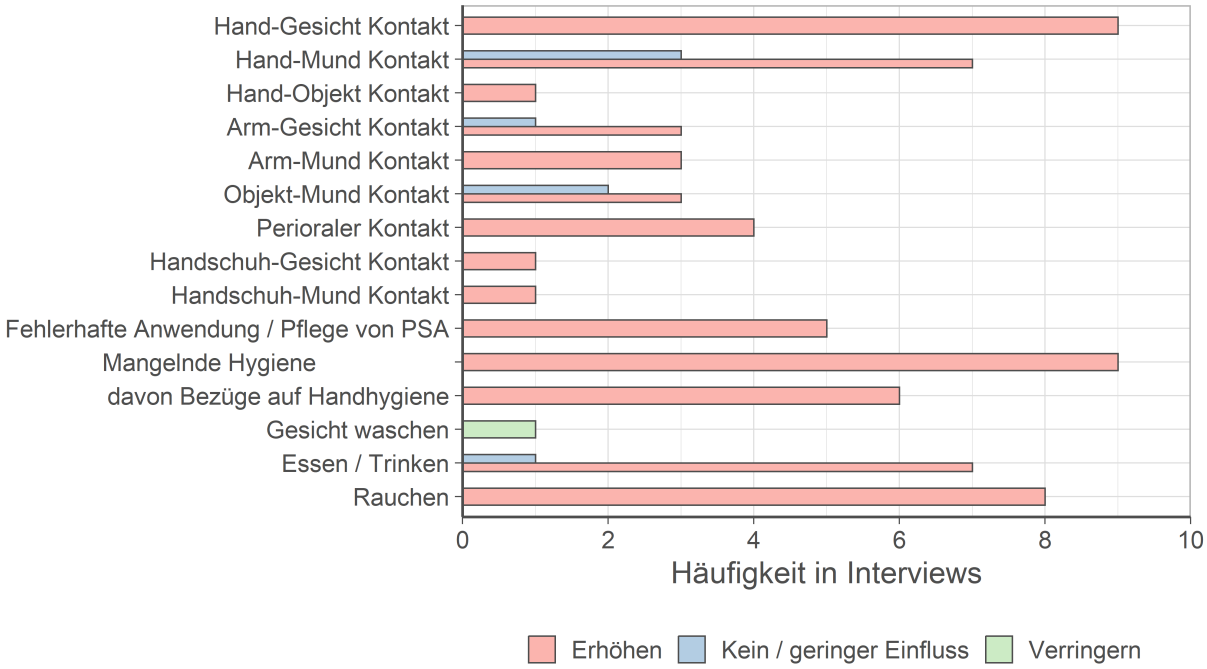


Abbildung 3.2: Von den Experten benannte Verhaltensweisen, welche die Entstehung von oraler Exposition beeinflussen. Unterschieden werden erhöhende und verringernde Einflüsse sowie Verhaltensweisen mit keinem / geringen Einfluss.

Arbeitsumfeld

Zum Arbeitsumfeld nannten die Experten drei Einflussbereiche (Abb. 3.3):

Die betriebliche Umsetzung umfasst als erhöhenden Faktor eine schlechte Organisation, beispielsweise eine fehlende Kennzeichnung. Routine oder Langeweile, Leiharbeit und vorhandene Kontaminationen sowie Spritzer sind ebenfalls betriebliche Faktoren, die als erhöhende Einflussgrößen genannt wurden. Als verringernde betriebliche Faktoren wurden saubere Arbeitsplätze, die Nutzung von PSA, keine Mitnahme von Chemikalien in den Pausenraum sowie die Kontrolle der Beschäftigten genannt. Die Kontrolle von Beschäftigten wurde in anderen Interviews als ohne Einfluss beschrieben.

Weitere Einflüsse mit erhöhendem Charakter beschreiben die Arbeitsplatzgestaltung und umfassen eine fehlende räumliche Trennung von Pausen- und Arbeitsbereichen sowie schlecht verfügbare Hygieneeinrichtungen und Pausenräume.

Tätigkeitsbezogene Aspekte umfassen kontaktintensive oder freisetzungsintensive Arbeiten. An warmen Arbeitsplätzen oder bei körperlich anstrengenden Tätigkeiten können durch Schweiß Kontaminationen in den Mund gelangen. Kitzeln, ausgelöst durch Schwitzen, kann zusätzliche Hand-Mund oder Hand-Gesicht Kontakte auslösen, welche die orale Exposition erhöhen. Fachgerechte Arbeitstechniken wurden als verringernder Einfluss benannt.

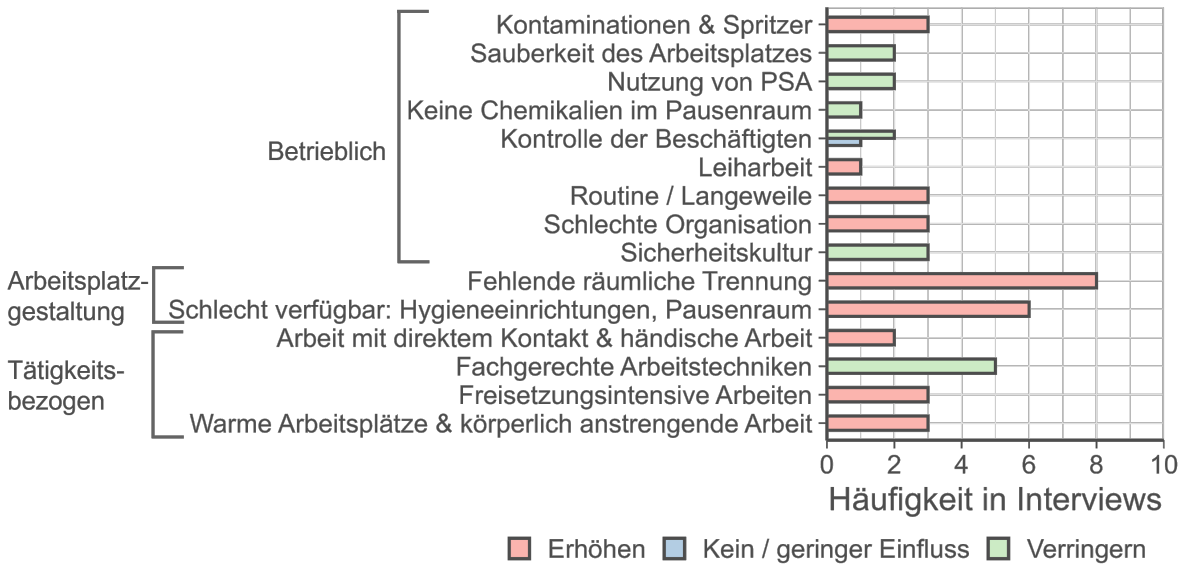


Abbildung 3.3: Eigenschaften des Arbeitsumfelds, die Experten als Einflussgrößen von relevanten Verhaltensweisen beschreiben.

Schutzmaßnahmen

Als mögliche Schutzmaßnahme gegenüber beruflicher oraler Exposition wurde am häufigsten die Nutzung persönlicher Schutzmaßnahmen genannt, die sowohl reduzierend als auch erhöhend wirken kann (Abb. 3.4). Erhöhende Einflüsse beschreiben Experten insbesondere, wenn PSA nicht gepflegt und sauber gehalten oder nicht korrekt getragen wird. Eine gute Hygiene, die beispielsweise das Händewaschen vor Pausen umfasst, wird als reduzierender Aspekt beschrieben. Auch die Sensibilisierung der Beschäftigten, welche Ausgangspunkt für eine angepasste individuelle Verhaltensweise und die Einhaltung der arbeitshygienischen Vorgaben ist, wurde umfassend diskutiert. Eine weitere reduzierende Option ist die Umsetzung technischer Maßnahmen zur Vermeidung der Kontaminationen, aus denen orale Exposition folgt. Weitere Experten benannten einen guten betrieblichen Arbeitsschutz im Allgemeinen oder empfehlen Kündigungen, falls keine gute Arbeitshygiene eingehalten wird.

Weiterhin wurden zwei konkrete Maßnahmen benannt die allgemein oder im Einzelfall zu einer Reduktion von dermaler oder inhalativer Exposition führen, jedoch die orale Exposition erhöhen (könnten). Beschrieben wurde ein Arbeitsplatz, an dem eine staubige Substanz aus Säcken umgefüllt wurde. Dieses Verfahren wurde durch die Verwendung einer gelösten Form der Substanz ersetzt. In diesem Fall erforderte dies jedoch das manuelle Umstecken von Schlauchverbindungen, die Restvolumina enthielten. Dieser Prozess rief erhebliche Kontaminationen hervor, sodass insbesondere Oberflächen wie Treppengeländer kontaminiert wurden, was eine indirekte orale Exposition zur Folge haben könnte. Eine weitere Hypothese wurde im Kontext von Hautschutz beschrieben: Wird zu Beginn

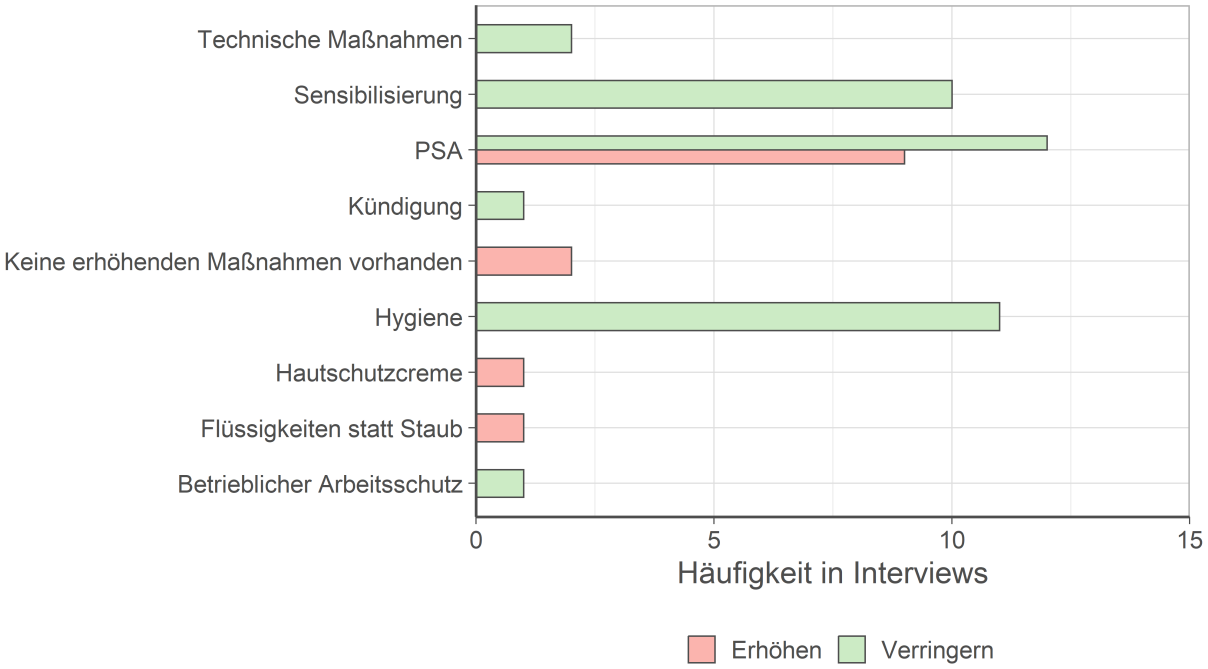


Abbildung 3.4: Von den Experten benannte Schutzmaßnahmen, welche die Entstehung von oraler Exposition beeinflussen.

der Arbeit eine Hautschutzcreme als Schutzbarriere aufgetragen, entsteht dabei eine klebrige Schicht auf der Haut, auf der insbesondere Stäube verbessert haften können. Werden dann vor der Pause die Hände nicht, oder nicht gründlich genug gewaschen, erfolgt eine erhöhte orale Exposition.

Als wichtigste Schutzmaßnahme wurden das Händewaschen, gefolgt von Sensibilisierung, der Verwendung von Masken sowie einer räumlichen Trennung von Arbeits- und Pausenbereichen, der Kontrolle von Mitarbeitern und dem Vermeiden von Essen und Trinken am Arbeitsplatz benannt.

Schulungen

Hinsichtlich der Schulungserfahrung haben etwas weniger Experten eine Schulung bereits selbst durchgeführt, als daran teilgenommen haben (Abb. II.5). Inhaltlich handelte es sich meist um Sicherheitsunterweisungen, wobei auch Schulungen zu Fachwissen oder Verhaltensänderungen häufig vertreten waren. Die meisten Schulungen fanden in einem Präsenzformat statt, wobei auch praktische Übungen oder Onlineformate beschrieben wurden. Am häufigsten wurden Präsentationen oder illustrierende Videos eingesetzt. Als besonders wirksam beschrieben die Experten vor-Ort-Schulungen und praktische Übungen sowie die Verwendung von Anschauungsobjekten und das Einbinden haptischer Erfahrungen. Weiterhin erhöhten Videos die Anschaulichkeit. Quiz-Spiele seien gut geeignet, um Beschäftigte abzuholen und aktiv einzubinden. Demgegenüber würden Poster schnell ignoriert.

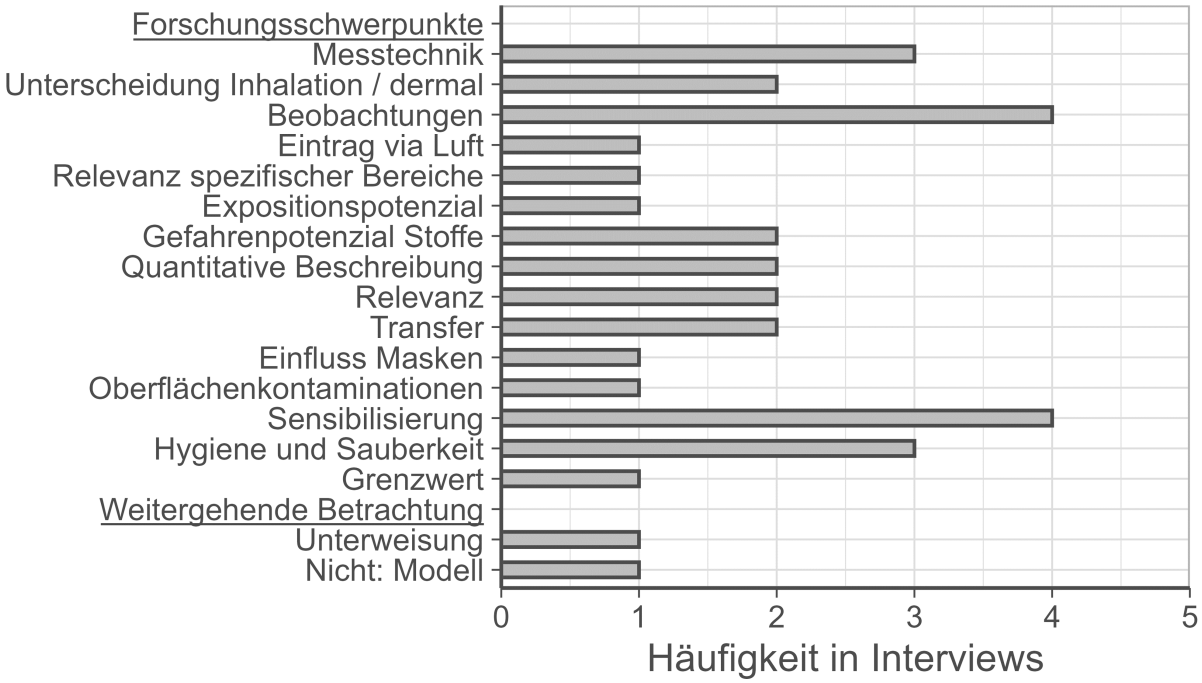


Abbildung 3.5: Expertenempfehlungen zur weiteren Betrachtung oder zu Forschungsschwerpunkten hinsichtlich oraler Exposition.

Im Rahmen der Schulungen sollte Theorie gut aufbereitet werden, um diese wirksam zu vermitteln. Schulungen müssten die Realität abbilden, praxistaugliche Maßnahmen vorgeben und Beschäftigte sowie deren Gesundheit merklich in den Fokus stellen. Das Schulungsthema müsse ernst genommen werden und die schulende Person überzeugend und engagiert auftreten. Gruppen sollten dabei klein sein und Schulungen so oft durchgeführt werden, dass vermitteltes Wissen unmittelbar abrufbar sei.

Abschluss des Interviews

Zum Abschluss des Interviews empfahl ein Experte die Berücksichtigung von oraler Exposition im Rahmen von Unterweisungen, nicht aber in Form eines Modellansatzes (Abb. 3.5). Die verbleibenden 13 Experten empfahlen konkrete Forschungsschwerpunkte. Insbesondere fallen darunter die:

- Erhebung von Verhaltensweisen anhand von Beobachtungen
- Sensibilisierung von Beschäftigten
- Untersuchungen zu Hygiene und Sauberkeit oder
- Entwicklung von Messtechnik zur Erhebung von oraler Exposition an konkreten Arbeitsplätzen.

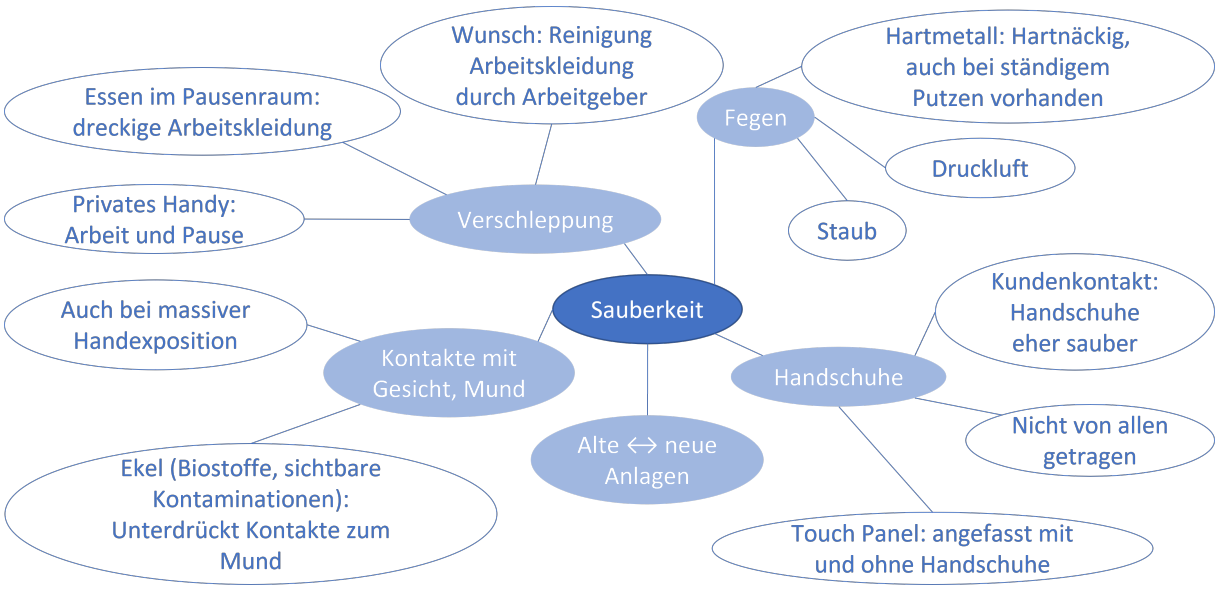


Abbildung 3.6: Erfahrungsberichte der Experten: Sauberkeit.

Erfahrungsberichte

Neben diesen formalisierbaren Informationen teilten die Experten umfangreiche Erfahrungsberichte, die sich den Themenfeldern Sauberkeit, Schutzmaßnahmen, Sicherheitskultur, Essen und Trinken sowie arbeitsplatzspezifischer Erfahrungen zuordnen lassen.

Erfahrungsbericht Sauberkeit: Erfahrungsberichte in Bezug auf die Sauberkeit sind in Abb. 3.6 als Mindmap aufbereitet. Beispielsweise wurde das Sauberhalten des Arbeitsplatzes in einem Betrieb als unliebsame zusätzliche Aufgabe betrachtet. Im Folgenden wurde eine Aufsitz-Scheuersaugmaschine angeschafft, die von je einer Person pro Tag während der letzten Minuten der Schicht gefahren werden durfte. Dadurch entstand ein positiver Wettbewerb unter den Beschäftigten, wer insbesondere die Ecken am besten reinigen könne. Durch diese Anschaffung gelang es in diesem Betrieb, die Sauberkeit nachhaltig zu verbessern. Andere Erfahrungsberichte befassen sich damit, dass Beschäftigte Oberflächen wie Touch Panels sowohl mit als auch ohne Handschuhe anfassen. Dadurch werden entsprechende Oberflächen durch kontaminierte Handschuhe verschmutzt und wiederum weitere Beschäftigte zunächst dermal und in Folge ggf. auch oral exponiert.

Erfahrungsbericht Schutzmaßnahmen (Abb. II.6): Zur Verringerung der Rückenbelastung wurden große Säcke gegen kleinere Säcke, die besser zu handhaben sind, ausgetauscht. Dadurch müssen im beschriebenen Betrieb jedoch häufiger Säcke geöffnet werden, was eine expositionsintensive Tätigkeit darstellt, aus der potenziell auch orale Exposition entstehen kann. Über die Masken und Atemschutz wurde berichtet, dass dieser teils ohne erforderliche Reinigung oder Eignung langfristig genutzt und daher extrem verschmutzt sei. Durch die unmittelbare Nähe zum Mund kann es dadurch zu oraler Exposition kommen.

Erfahrungsbericht Sicherheitskultur (Abb. II.7): Im Kontext der Sicherheitskultur wurde gefordert, orale Exposition gleichwertig zur inhalativen oder dermalen Exposition in der Gefährdungsbeurteilung abzubilden. Weiterhin wurde beschrieben, dass individuelle Überzeugungen der Beschäftigten hinsichtlich krankmachender Gefahrstoffe die Sicherheitskultur und damit den Umgang mit Gefahrstoffen maßgeblich beeinflussen.

Erfahrungsbericht Essen und Trinken (Abb. II.8): Im Umgang mit Blei wurde beobachtet, dass Essen über einem Bleibad erwärmt wurde, was zu stark erhöhten Expositionswerten führte. Zudem wurde beobachtet, dass Fruchtsäure aus Obstverzehr während der Mittagspause die Hände von Blei reinigt, was einen unmittelbaren Hinweis auf orale Exposition in Folge von verschmutzten Händen darstellt. Verbote von Essen und Trinken am Arbeitsplatz wurden nicht konsequent eingehalten.

Arbeitsplatzspezifische Erfahrungsberichte (Abb. II.9): In einem metallverarbeitenden Betrieb lagen die Biomonitoring-Werte einer weiblichen Beschäftigten deutlich über denen der männlichen Kollegen, obwohl dies im Widerspruch zu den durchgeführten Tätigkeiten stand. Als Ursache konnten selten gewaschene Stoffhandtücher sowie kaltes Wasser im Frauenduschraum im Vergleich zu warmen Wasser in der Herrenkabine identifiziert werden. Arbeitsplatzspezifisch entwickelten sich zudem Gewohnheitseffekte, wodurch beispielsweise stark verrußte Gesichter beim Abfüllen von Aktivkohle ignoriert wurden. Durch weiteren Transfer kann dadurch orale Exposition entstehen.

Branchenspezifische Erfahrungen

Die Experten wurden im Rahmen der Interviews immer wieder auch hinsichtlich branchenspezifischer Beobachtungen und Erfahrungen befragt. In diesem Zusammenhang wurden neben allgemeinen Einschätzungen hinsichtlich der Rolle von Branchen für Verhalten und Schutzmaßnahmen Labor-spezifische Informationen erhoben. Weitere Arbeitsbereiche waren sehr divers oder nicht spezifisch genug, sodass sie hier zu industriell oder gewerblich geprägten Arbeitsplätzen aggregiert wurden.

Allgemein wurde beschrieben, dass das Essen am Arbeitsplatz weniger branchenspezifisch als abhängig von der Betriebsgröße sei. Die Umsetzung von Schutzmaßnahmen sei nicht nur vom Arbeitsbereich sondern insbesondere auch vom Arbeitgebenden abhängig.

Spezifisch für Labore wurde eine gute Sensibilisierung der Beschäftigten beschrieben. Weiterhin wurden das Trinken aus Tassen im Labor genannt und Kontaminationen durch die gemeinsame Nutzung von Waschbecken sowohl zum Händewaschen als auch als Spülbecken für Gerätschaften vermutet.

Im industriellen Kontext beobachteten die Experten vermehrt das Rauchen und die Mitnahme von Handschuhen in Kantinen. In speziellen Betrieben würde Zähneputzen vor

der Pause empfohlen, jedoch nicht von den Beschäftigten umgesetzt. Zum Erreichen von Waschbecken seien im industriellen Umfeld teils Umwege nötig.

An gewerblichen Arbeitsplätzen wurden Kontakte wie beispielsweise zwischen Hand und Mund als stark umgebungsabhängig beschrieben. Ein Beispiel wäre, wie in den Erfahrungsberichten dargelegt, der Einfluss von Ekel in Biogasanlagen. Gerade an Baustellen oder anderen mobilen Arbeitsplätzen seien Waschbecken schlecht verfügbar. Masken als Bestandteil der PSA seien teils extrem verschmutzt.

3.1.3 Diskussion der Interviewergebnisse

Die Aussagekraft dieser Ergebnisse steht in direktem Bezug zur Herangehensweise der Datenerhebung. Aus methodischer Sicht konnten die Experten zu Beginn der Interviews an das für sie zunächst neue Thema der oralen Exposition herangeführt werden, sodass diese im weiteren Verlauf relevante und wertvolle Informationen teilen konnten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Antworten in Interviews einer sozialen Erwünschtheit unterliegen [56], also seitens der Experten bewusst oder unbewusst an die angenommene Position der interviewenden Person angeglichen werden. Weiterhin lernen Experten während des Interviews, welche Aspekte möglicherweise seitens der interviewenden Person für besonders relevant gehalten werden. Dies geschieht auch ohne suggestive Fragen, da beispielsweise ein Nicken, Rückfragen oder Notieren einzelner Informationen bereits ein Feedback darstellt [57]. Dennoch beschreiben die insgesamt gewonnenen Daten verschiedenen Perspektiven und unterschiedliche Schwerpunkte, sodass eine differenzierte Beschreibung der relevanten Verhaltensweisen und arbeitshygienischen Praktiken anhand der Interviews angenommen werden kann. Die 14 Experten (Vertreter von Behörden, Großindustrie, Beratungsfirmen) repräsentieren eine heterogene Stichprobe, woraus verschiedene Perspektiven und teils geringe Häufigkeiten der Antworten resultieren.

Perspektive auf berufliche orale Exposition

Berufliche orale Exposition schätzen die meisten Experten aufgrund verschiedener Ursachen als relevant ein, wohingegen nur drei Aussagen eine Irrelevanz benennen. Auch in der systematischen Literaturrecherche wurden nur wenige Einschätzungen zur Irrelevanz oraler Exposition identifiziert, wobei in der Literatur hierzu ein Publikationsbias angenommen wurde. Die Experten, welche explizit zu ihrer Einschätzung von oraler Exposition am Arbeitsplatz befragt wurden, differenzieren hier verschiedene Ursachen wie Kontaminationen oder fehlende Sensibilisierungen. Damit spezifizieren sie umgekehrt bereits Bedingungen unter denen orale Exposition irrelevant oder aber stark reduziert wäre. Weiterhin beschreiben die Experten eine mangelnde Hygiene als Ursache und andersherum die Einhaltung

einer guten Arbeitshygiene als Lösungsansatz für orale Exposition. Dabei muss differenziert werden, ob orale Exposition aufgrund guter Hygiene bereits irrelevant ist, oder aber durch verbesserte Hygiene maßgeblich verringert werden könnte.

Ursachen oraler Exposition & Verhaltensweisen

Neben den Perspektiven wurden in den Interviews Ursachen von beruflicher oraler Exposition identifiziert. Sowohl die Experten als auch die systematische Literaturrecherche benennen Transfer-Ereignisse basierend auf Kontakten wie Rauchen und Nägel kauen, sowie den Eintrag durch Aerosole. Zusätzlich spezifizieren die Experten Kontaminationen und Verschleppungen, Essen und Trinken am Arbeitsplatz, mangelnde Hygiene und Spritzer. Da laut Literatur einige der relevanten Kontakte unterbewusst oder unkontrolliert sind, könnten Essen und Trinken sowie Kontaminationen und Verschleppungen einen bewusst kontrollierbaren Ansatzpunkt darstellen, um die Entstehung von oraler Exposition (in Pausenbereichen) zu minimieren. Da sich die Kontamination von Essen und Trinken grundsätzlich vermeiden lässt, wird Essen und Trinken gemäß der abgeleiteten Definition von beruflicher oraler Exposition in dieser Arbeit nicht quantitativ beschrieben.

Die von den Experten benannten Verhaltensweisen umfassen konkrete Kontakte, spezifische Aspekte der Arbeitshygiene, Rauchen sowie Essen und Trinken. Damit stellen die Verhaltensweisen konkretere und stimmige Ausführungen der von den Experten identifizierten Ursachen von oraler Exposition am Arbeitsplatz dar. Der Interview-Leitfaden beinhaltet zu Verhaltensweisen eine einzelne Frage zu Kontakthäufigkeiten während der Arbeit. Aus den Gesprächen ging bereits vorab hervor, dass diese Frage nicht beantwortet werden kann, sodass diese in zwölf von 14 Fällen nicht gestellt bzw. beantwortet wurde. Eine Auswertung wurde daher nicht durchgeführt.

Arbeitsumfeld

Die Ergebnisse zu Arbeit, Arbeitsplatz und Arbeitsumfeld decken sich in Teilen mit den Ergebnissen der systematischen Literaturrecherchen. So empfehlen beispielsweise Blanco *et al.* und Hasylin *et al.* das Lesen von Gefahrstoffkennzeichnungen, das Abdecken von Behältern zur Vermeidung von Spritzern und die Verwendung geeigneter Seifen als Hygienemaßnahme [26, 27]. Darüber hinaus spezifizierten die Experten jedoch negative Aspekte der betrieblichen Umsetzung, der Arbeitsplatzgestaltung und tätigkeitsbezogene Aspekte wie kontaktintensive, freisetzungsintensive oder schweißtreibende Arbeiten. Insbesondere tätigkeitsbezogene Aspekte lassen sich anhand der Literatur kaum identifizieren, da in den wenigsten Veröffentlichungen konkrete Arbeitsbedingungen und Tätigkeiten beschrieben werden.

Schutzmaßnahmen

Die von den Experten beschriebenen Maßnahmen umfassen neben betrieblichem Arbeitsschutz auch technische und persönliche Maßnahmen. Dabei werden PSA, Sensibilisierung sowie Hygiene als persönlich umzusetzende Maßnahmen deutlich häufiger genannt als technische Maßnahmen. Implizit gehen die Experten also davon aus, dass technische Maßnahmen speziell für orale Exposition schwer umzusetzen sind. Um das STOP-Prinzip (Substitution, Technische Schutzmaßnahmen, Organisatorische Schutzmaßnahmen, Persönliche Schutzmaßnahmen) umzusetzen, sollten demnach zukünftig zielgerichtet geeignete technische Schutzmaßnahmen entwickelt werden [1].

Gemäß Arbeitsschutzgesetz müssen Beschäftigte basierend auf Unterweisung und Weisung durch Arbeitgebende für Sicherheit und Gesundheit Sorge tragen [58]. Demnach muss die von einem Experten vorgeschlagene Maßnahme der Kündigung bei Fehlverhalten kritisch im Rahmen des Arbeitsschutzgesetzes geprüft und die Hauptverantwortung des Arbeitgebenden berücksichtigt werden.

Die von Experten beschriebenen potenziell hinsichtlich oraler Exposition hinderlichen Schutzmaßnahmen (Hautschutzcreme, Substitution von Staub durch Flüssigkeit) müssen als Hypothesen sowie hinsichtlich ihrer Verallgemeinerbarkeit geprüft werden. Bis dahin stellen sie jedoch relevante Fragestellungen dar, die im Kontext der beruflichen oralen Exposition kritisch berücksichtigt werden sollten.

Schulungen

Anknüpfend an die Interviewfragen wurden Positiv- und Negativbeispiele zu Schulungen beschrieben. Schulungen und Unterweisungen wurden in den verschiedenen Interviews eine große Bedeutung beigemessen, da die fehlende Sensibilisierung der Beschäftigten häufig als Ursache bzw. eine gute Sensibilisierung als Schutzmaßnahme identifiziert wurden. Daher besteht in Zukunft Bedarf an Unterweisungen, die speziell auf eine Sensibilisierung hinsichtlich oraler Exposition gegenüber Chemikalien abgestimmt sind. Dazu können Beispiele aus den Erfahrungsberichten herangezogen werden, um die betriebliche Relevanz der Schulung zu erhöhen und einen praktischen Kontext zu erzeugen.

Abschluss des Interviews

Die Antworten auf die Abschlussfrage zur weitergehenden Betrachtung oder zu Forschungsschwerpunkten spiegeln den vorangegangenen Interviewverlauf wider. Experten knüpfen beispielsweise an die diskutierte Sensibilisierung, die Analyse des Transfers basierend auf Kontakten oder Beobachtungen zu Kontakthäufigkeiten an und zeigen damit einen gewissen Lerneffekt über das Zeitfenster des Interviews. Andererseits brachten sie erneut ihre

vielseitigen Perspektiven ein, wenn beispielsweise der Eintrag über die Luft, die Unterscheidung von anderen Expositionspfaden oder die Entwicklung messtechnischer Methoden vorgeschlagen wurden. Im Kontext der vorliegenden Arbeit wurden einige der vorgeschlagenen Schwerpunkte bereits verfolgt. So wurde die Relevanz oraler Exposition in einer systematischen Literaturrecherche analysiert. Kontakthäufigkeiten werden an ausgewählten Arbeitsplätzen beobachtet und der Eintrag über die Luft beschrieben. Einträge verschiedener Mechanismen der oralen Exposition werden exemplarisch verglichen. Die orale Exposition wird für konkrete Szenarien der Inhalation und dermalen Exposition gegenübergestellt.

Für die Sensibilisierung in Unterweisungen können Informationen aus den systematischen Literaturrecherchen oder den Erfahrungsberichten der Experten herangezogen werden. Die quantitative Beschreibung in Form eines Gesamtmodells ist das Ziel der Arbeit.

Erfahrungsberichte

Ergänzend zu den generellen Einschätzungen zu oraler Exposition am Arbeitsplatz gaben die Experten konkrete Beispiele. Deren Aufbereitung in Erfahrungsberichten zu den Themen Sauberkeit, Schutzmaßnahmen, Sicherheitskultur, Essen und Trinken sowie arbeitsplatzspezifische Erfahrungen können in Zukunft für die Sensibilisierung von Beschäftigten aufbereitet werden. Sie bieten den Vorteil auf betrieblicher Praxis zu basieren und damit gute Anknüpfungspunkte für relevante und praxisnahe Szenarien zu bieten. Darüber hinaus können sie für die Analyse von Gefahrenpotenzialen in Betrieben herangezogen werden und damit Anhaltspunkte bei der Ursachensuche bieten. Zudem können Folgearbeiten Lösungsansätze für die in den Erfahrungsberichten beschriebenen Probleme entwickeln, welche konkrete Anhaltspunkte für Betriebe darstellen.

Branchenspezifische Erfahrungen

Spezifisch für Labore beschreiben die Experten einerseits eine gute Sensibilisierung der Beschäftigten. Andererseits wurden Tassen im Labor vermehrt von den Experten beobachtet, was im Widerspruch zu einer guten Sensibilisierung zu stehen scheint. Mögliche Ursachen könnten in der Sicherheitskultur liegen. Gemäß der Erfahrungsberichte wurden Maßnahmen nicht eingehalten, weil „das schon immer so gemacht wurde“ oder, weil Gefahren nicht auf die eigene Person bezogen werden („Mir passiert schon nichts“). Weitere Gründe könnten in der räumlichen Aufteilung durch nicht-vorhandene oder weit entfernte Pausenräume liegen.

3.1.4 Fazit aus den Experteninterviews

Zusammenfassend identifizierten die Experten Ursachen und Mechanismen oraler Exposition am Arbeitsplatz und beschrieben diese qualitativ (Ziel ***Z2***). Die orale Exposition an den von Experten beschriebenen Arbeitsplätzen wird demnach bisher überwiegend nicht betrachtet. Dennoch sehen die meisten Experten orale Exposition am Arbeitsplatz als relevant an. Identifizierte Ursachen decken sich gut mit den Mechanismen, welche die Literatur beschreibt. Unter den von Experten beschriebenen relevanten Verhaltensweisen überwiegen Kontakte, die gemäß Literaturrecherche auch unterbewusst oder unkontrolliert erfolgen. Im Gegensatz zu unterbewussten Kontakten können weitere Faktoren wie Verschleppungen zur Reduktion von oraler Exposition möglicherweise bewusst verhindert werden. Von den Experten vorgeschlagene Schutzmaßnahmen setzen am häufigsten auf der personenbezogenen Ebene an und können bei unsachgemäßer Pflege oder Verwendung von PSA orale Exposition erhöhen. Forschungsbedarf besteht abhängig vom Hintergrund der Experten beispielsweise zu messtechnischen Methoden, Kontakthäufigkeiten oder zur Quantifizierung von oraler Exposition.

3.2 Beobachtungen in Werkstätten und Laboren

Für die quantitative Beschreibung von oraler Exposition mit einem Modell sind Daten zu Häufigkeiten relevanter Verhaltensweisen und arbeitshygienischer Praktiken grundlegend. Daher wurden im Rahmen von Beobachtungen an realen Arbeitsplätzen Daten erhoben, welche die limitierten Informationen aus der Literatur ergänzen. Der Fokus lag dabei auf Laboren und Werkstätten als typische Arbeitsplätze, an denen mit Chemikalien umgegangen wird.

3.2.1 Beobachtungen: Methodik

Die relevanten Aspekte und Schritte zur Ausgestaltung der quantitativen Erhebung sind im Folgenden anhand von sieben Punkten beschrieben:

1. Eignung einer Beobachtungsstudie: Die Beobachtungen dienen als Ergänzung und Erweiterung der aus der Literatur und den Experteninterviews gewonnenen Informationen. Eine Zielgröße war natürlich auftretendes Verhalten, für das Beobachtungen besonders geeignet sind [59–61]. Weiterhin handelt es sich gemäß der Literaturrecherche um regelmäßig auftretendes Verhalten, welches sich demnach beobachten lässt [59].

2. Festlegung des Beobachtungsfokus: Im nächsten Schritt wurde der Fokus der Beobachtungen festgelegt [59–62]. Dieser liegt auf Häufigkeiten von Verhaltensweisen und arbeitshygienischen Praktiken, welche orale Exposition am Arbeitsplatz beeinflussen können. Grundsätzlich kann nur Verhalten beobachtet werden, welches über die Beobachtungsdauer auftritt. Durch das Zählen von Häufigkeiten kann implizit aber auch nicht-auftretendes Verhalten mit einer entsprechenden Häufigkeit von Null berücksichtigt werden. Ergänzend wurden kontextuale Informationen beispielsweise zur Tätigkeit, dem Beschäftigungsgrad der Hände oder dem Arbeitsumfeld aufgenommen.

3. Auswahl und Entwicklung des Beobachtungstools: Für den Beobachtungsbogen wurde ein überwiegend strukturiertes Format gewählt, welches zwischen den einzelnen Beobachtungen eine hohe Standardisierung sicherstellt [60]. Ergänzende Informationen konnten anhand von Freitextfeldern dokumentiert werden. Dieser Checklisten-artige Beobachtungsbogen erlaubte zudem eine Dokumentation während der Beobachtungen, was die Genauigkeit erhöht. Für einige Aspekte des Beobachtungsbogens, beispielsweise den Beschäftigungsgrad der Hände, wurden Beispiele ergänzt, um eine objektive Einordnung der beobachteten Situation zu gewährleisten.

   Dabei ergibt sich die in Abb. 3.7 dargestellte Struktur des Beobachtungsbogens. Für

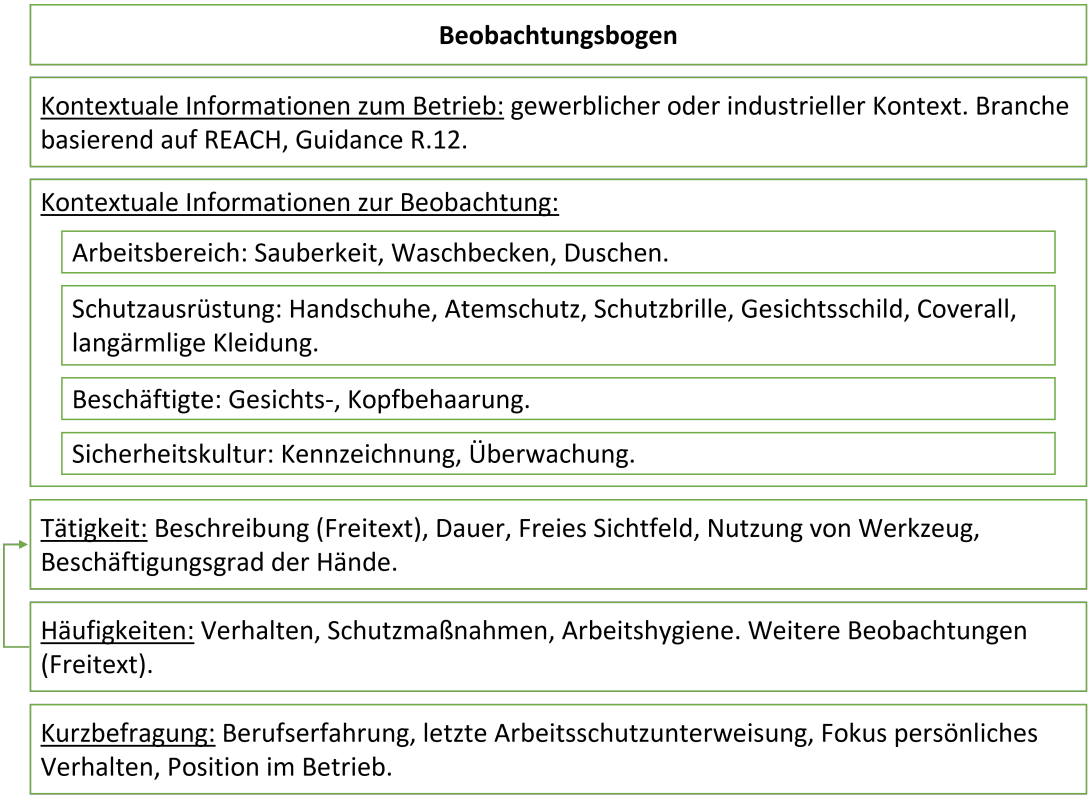


Abbildung 3.7: Schematische Darstellung des Beobachtungsbogens.

jede Beobachtung wurde beschrieben, ob es sich um einen gewerblichen oder industriellen Kontext handelt. Die Branche wurde in Anlehnung an REACH, Guidance R.12 erhoben [53]. Der Arbeitsbereich wurde anhand der Sauberkeit und der Verfügbarkeit von Waschbecken oder Duschen beschrieben. Die Gesichts- und Kopfbehaarung von Beschäftigten sowie die Verwendung von Schutzausrüstung wurde dokumentiert. Die Sicherheitskultur wurde hinsichtlich vorhandener Kennzeichnungen und der Überwachung von Beschäftigten erhoben. Für jede während der Beobachtungsdauer durchgeführte Tätigkeit wurde je eine kurze Beschreibung und die Dauer aufgenommen. Zudem wurde dokumentiert, ob ein freies Sichtfeld bestand, ob Werkzeug genutzt wurde und wie der Beschäftigungsgrad der Hände war. Für die so beschriebene Tätigkeit wurden die Häufigkeiten von relevanten Verhaltensweisen und Schutzmaßnahmen bzw. arbeitshygienischen Praktiken anhand von Strichlisten erhoben. Weitere relevante Beobachtungen wurden in Freitextfeldern dokumentiert. Als Abschluss wurden Fragen mit Antwortoptionen gestellt, anhand derer die Berufserfahrung, der Zeitpunkt der letzten Arbeitsschutzunterweisung, ein möglicher Fokus dieser Unterweisung auf persönliches Verhalten sowie die eigene Stellung im Betrieb erfragt wurden. Der Beobachtungsbogen ist in Anhang II.3 hinterlegt.

4. Hawthorne-Effekt: Beobachtete Personen passen ihr Verhalten gemäß sozialer Erwünschtheit an [63]. Forschungsergebnisse weisen darauf hin, dass eine Gewöhnung

an Beobachtungssituationen erfolgt [33]. Diese Gewöhnungsdauer wird je nach Studie unterschiedlich angegeben und liegt demnach zwischen 15 min und 1 h [33, 64]. Demgegenüber stehen Studien, die keinen Hawthorne-Effekt beobachten konnten, da dieser durch das Studiendesign minimiert wurde [65]. Um im Rahmen der limitierten Beobachtungsdauer eine Gewöhnung an die Beobachtung zu ermöglichen, wurde in dieser Arbeit eine separate Erhebung der ersten 15 min angestrebt, um diese anschließend gesondert auswerten zu können. Die Sinnhaftigkeit und Anwendbarkeit dieser separaten Erhebung wurde während der Feldstudie evaluiert. Weiterhin erfolgte während der Beobachtung möglichst keine Einflussnahme. Die beobachtende Person hielt sich im Hintergrund auf. Wurde während einer Beobachtung beispielsweise durch wiederholte Gesprächsversuche seitens der beobachteten Person deutlich, dass sich diese unwohl fühlt, wurden Gesprächsversuche jedoch nicht unterbunden, um die Situation zu entspannen und damit natürlicheres Verhalten zu gewährleisten.

5. Pilotphase: Der Beobachtungsbogen sollte vor Beginn der Datenerhebung mindestens einmal in einer vergleichbaren Situation getestet werden [59]. Der im Rahmen dieser Studie entsprechend durchgeführte Test resultierte in redaktionellen Änderungen, welche das Ausfüllen während einer Beobachtung erleichtern. Ein Training der zwei beobachtenden Personen erfolgte anhand ausführlicher Diskussionen im Vorfeld sowie durch zwei parallele Beobachtungen, deren Ergebnisse wiederum verglichen und zur Harmonisierung diskutiert wurden. Somit können beide beobachtenden Personen in der Feldstudie parallel vorgehen, um so die Gesamtzahl der möglichen Beobachtungen zu erhöhen.

6. Vorbereitung der Datenerhebung: Zur Vorbereitung der Datenerhebung wurden Ort und Zeit der Beobachtungen festgelegt [61, 62]. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Labore und Werkstätten akquiriert, mit denen je individuelle Beobachtungstermine vereinbart wurden.

7. Datenerhebung: Die Daten wurden soweit möglich simultan zur Beobachtung eingetragen. Potenzielle Ergänzungen wurden unmittelbar im Anschluss an die jeweilige Beobachtung dokumentiert. Für diese Studie wurde die Gesamtbeobachtungsdauer pro Person auf maximal 2 h limitiert, um die potenzielle Belastung der Teilnehmenden zu begrenzen. Eine minimale Beobachtungsdauer wurde nicht festgelegt, um auf lokale Gegebenheiten und tätigkeitsspezifische Anforderungen reagieren zu können. Aus ethischen Gründen wurden die beobachteten Personen zu Beginn vollständig über die Erhebung aufgeklärt und nicht während Pausen beobachtet.

Ein Datenschutzkonzept zur Handhabung der personenbezogenen Daten wurde erarbeitet sowie ein Ethikvotum vor Studienbeginn eingeholt (Anhang II.1).

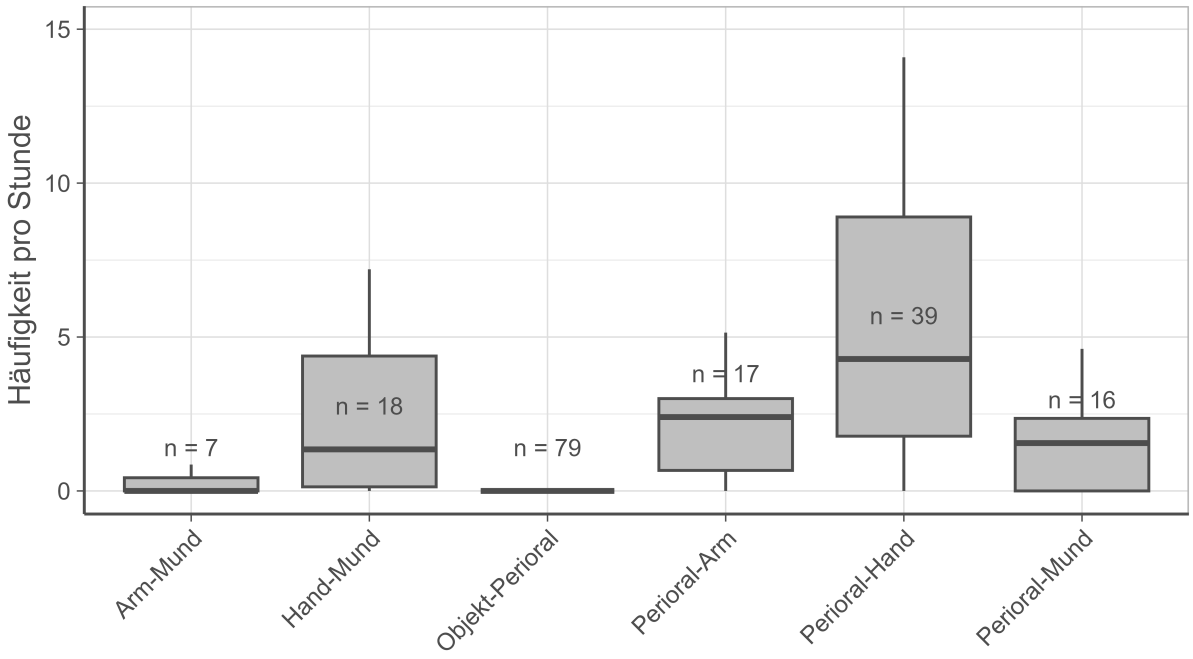


Abbildung 3.8: Boxplot der Kontakthäufigkeiten aus den Beobachtungen. n gibt die Anzahl der Tätigkeiten an, für die entsprechende Kontakte beobachtet wurden.

3.2.2 Auswertung und Ergebnisse der Beobachtungen

Während der wie in Abschnitt 3.2.1 beschrieben durchgeführten Beobachtungen wurden neun Personen in drei Laboren und 18 Personen in sieben Werkstätten beobachtet. Dabei arbeiteten zehn Personen im Bereich Chemikalien und nicht-metallischer Produkte (Gesamtbeobachtungsdauer 18 h). Eine Person war in der Herstellung von Geräten, Maschinen oder Einrichtung tätig (Gesamtbeobachtungsdauer 20 min) und drei Personen arbeiteten in der Metallverarbeitung (Gesamtbeobachtungsdauer 4,1 h). Im Bereich Textilien, Holz, Papier und Druck wurden acht Personen beobachtet (Gesamtbeobachtungsdauer 14,7 h) und in den Bereich Sonstiges fallen fünf Personen (Gesamtbeobachtungsdauer 9,5 h).

In den Beobachtungen wurden verschiedene Tätigkeiten getrennt erhoben, da diese sich beispielsweise hinsichtlich der Kontakthäufigkeiten oder getroffener Schutzmaßnahmen unterscheiden können. In der weiteren Auswertung wurden folglich die entsprechenden Tätigkeiten getrennt betrachtet, weshalb deren Gesamtzahl die der Beobachtungen überschreitet. Aggregiert über alle Beobachtungen stellt Abb. 3.8 die Kontakthäufigkeiten als Boxplot dar, um deren Verteilung zu visualisieren. Zusätzlich liegen für drei Tätigkeiten Objekt-Mund Kontakte vor. Da diese durch Rauchen entstanden, liegen die Werte zwischen 9,5 und 90 Kontakten/h und sind daher für eine bessere Lesbarkeit nicht im Diagramm enthalten.

Analyse von Einflussfaktoren

Im Rahmen der weiteren Auswertung wurde analysiert, inwiefern Faktoren wie beispielsweise die Sauberkeit des Arbeitsplatzes oder die Verwendung von Schutzausrüstung die verschiedenen Kontakthäufigkeiten signifikant beeinflussen. Für eine statistisch fundierte Untersuchung wurden zunächst spezifische Kontaktarten zusammengeführt, um die Anzahl der Werte je betrachteter Datengruppe zu erhöhen. Hand-Mund Kontakte beinhalten daher die als direkte Hand-Mund Kontakt aufgenommenen Häufigkeiten sowie die Kontakte Hand-perioral und perioral-Mund. Arm-Mund Kontakte beinhalten zusätzlich die Rubrik Arm-perioral. Objekt-Mund Kontakte enthalten zudem Objekt-periorale Kontakte. Dadurch wurde die Gruppierung der Destination des Kontakts an die Definition in der Literaturrecherche angepasst, nach welcher Mund und periorale Region nicht unterschieden werden und unmittelbar mit der Entstehung von oraler Exposition verbunden sind.

Da die Kontakthäufigkeiten keine Normalverteilung aufweisen, wurde der Scheirer-Ray-Hare Test zur Berechnung der Signifikanzwerte (p-Werte) verwendet [66, 67]. Dieser ist für nicht-parametrische Daten geeignet und ein zweifaktorieller Test. Somit können zwei Faktoren gemeinsam evaluiert werden, was die Anzahl der erforderlichen Tests reduziert und Wechselwirkungen der zwei Faktoren berücksichtigt. Weiterhin dürfen ungleiche Gruppengrößen vorliegen, solange mindestens fünf Werte je Datengruppe verfügbar sind. Da in der Literatur der Beschäftigungsgrad der Hände wiederholt als wichtiger Faktor beschrieben wird [7, 8, 22], wurden die im Rahmen dieser Arbeit analysierten Faktoren im Vergleich zum Beschäftigungsgrad betrachtet. Dieser wurde demnach fix als einer der zwei Faktoren im Scheirer-Ray-Hare Test gesetzt.

Damit die Analysen auf aussagekräftigen Datensätzen beruhen, wurden diejenigen Ausprägungen (beispielsweise eher sauber / eher schmutzig) der erhobenen Faktoren berücksichtigt, welche mindestens $1/3$ der Datenpunkte zu diesem Faktor ausmachen.

Basierend auf den daraus resultierenden Anforderungen ließen sich folgende Faktoren aus der Beobachtung analysieren:

- Bart: Ja / Nein,
- Beschäftigungsgrad der Hände: Stark / Wenig oder nicht,
- Handschuhe: Ja / Nein,
- Langärmlig: Ja / Nein,
- Sauberkeit: Eher schmutzig / Eher sauber,
- Waschbecken: Mindestens $1\,\mathrm{min}$ vom Arbeitsplatz entfernt / Am Arbeitsplatz.

Der Scheirer-Ray-Hare Test musste mehrfach berechnet werden, um alle verbleibenden Faktoren zu überprüfen. Zur Berücksichtigung der Alphafehler-Kumulierung wurde die Bonferroni-Holm Korrektur genutzt, welche die multiple Fehlerwahrscheinlichkeit erster Art („family-wise error rate“) berücksichtigt und dabei als weniger konservativ gilt als beispielsweise die Bonferroni-Korrektur [68–70]. Als betrachtete Gruppen („family“) wurden dabei alle Hypothesen zu einer abhängigen Variable [71], also einer spezifischen Kontakthäufigkeit, definiert.

Um bei vorliegender Signifikanz zu evaluieren, ob ein schwacher, mittlerer oder großer Effekt vorliegt, wurde die Effektstärke η^2 berechnet, die gemäß Steyn interpretiert werden kann und für nicht-parametrische Untersuchungen geeignet ist [72, 73]. Ergänzend wurden Konfidenzintervalle betrachtet, um den Bereich abzuschätzen, in dem der wahre Mittelwert zu $95\,\%$ liegt. Dazu wurde die „Bias corrected and accelerated method“ (BCa) genutzt, welche auch für kleine Stichproben geeignet ist [74].

Bei dieser Auswertung wurde nicht zwischen Eingewöhnungszeit und Hauptbeobachtungsphase unterschieden, da es in der Praxis nicht konsistent umsetzbar war, nach circa $15\,\mathrm{min}$ eine neue Dokumentation der Beobachtung zu beginnen. Gemäß der Einschätzung der beobachtenden Personen gab es keinen merklichen Unterschied zwischen den ersten Beobachtungsminuten und dem weiteren Verlauf. Weiterhin wurden spezifische Kontakte nur dann statistisch ausgewertet, wenn mindestens fünf Beobachtungen mit einer Häufigkeit größer Null vorlagen, um eine sinnvolle Aussage über diese Kontakthäufigkeit treffen zu können.

Basierend auf dieser Auswertungsmethodik ergeben sich für die Häufigkeit der Wechsel von Handschuhen die in Abb. 3.9. dargestellten p-Werte. Für ein Signifikanzniveau von $0,05$ sind die Faktoren, ob Handschuhe oder eine Schutzbrille getragen werden, signifikante Einflüsse der Wechselhäufigkeit von Handschuhen. Für diese liegen die Effektstärken nach Steyn im starken bzw. mittleren Bereich (Abb. 3.10) [73]. Die Konfidenzintervalle für die Ausprägungen der Beschäftigung der Hände überlappen nur gering und deuten damit auf einen real existierenden Unterschied hin (Abb. 3.10). Da Handschuhe nur dann gewechselt werden können, wenn auch Handschuhe getragen werden, stellt dieses Ergebnis eine Plausibilitätsprüfung der verwendeten Methodik dar.

Ein weiterer signifikanter Einfluss wurde bei Hand-Mund Kontakten beobachtet, welche gemäß der Berechnungen signifikant von der Verfügbarkeit von Waschbecken abhängen. Die Effektstärke liegt im mittleren Bereich. Für keine / wenig Beschäftigung der Hände überlappen die Konfidenzintervalle stark. Für starke Beschäftigung gibt es kaum Überlappe zwischen den Konfidenzintervallen für ein Waschbecken unmittelbar am bzw. mindestens $1\,\mathrm{min}$ entfernt vom Arbeitsplatz. Die Kontakte steigen, wenn das Waschbecken mindestens $1\,\mathrm{min}$ vom Arbeitsplatz entfernt ist (Abb. II.10).

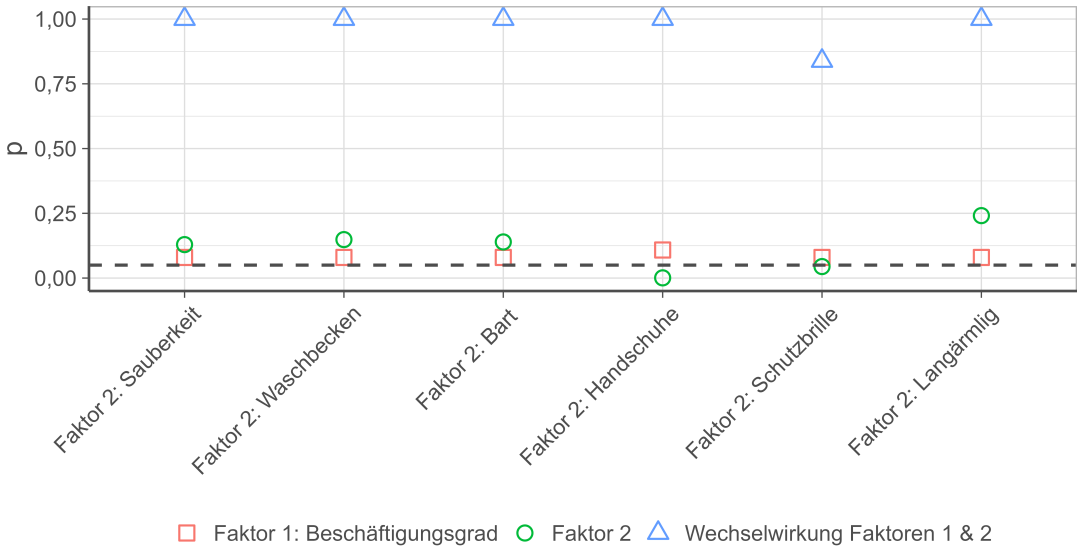


Abbildung 3.9: Ergebnisse des Scheirer-Ray-Hare Tests für die Häufigkeit der Wechsel von Handschuhen. Die Legende beschreibt den fixen Faktor des Beschäftigungsgrads (Faktor 1), den frei variierten zweiten Faktor, der im Test betrachtet wird (Faktor 2), sowie die Wechselwirkung beider Faktoren (1 & 2). Der frei variierte zweite Faktor wird auf der x-Achse für die einzelnen Berechnungen spezifiziert. Die gestrichelte Horizontale markiert das Signifikanzniveau von $0,05$.

Die weiteren untersuchten Häufigkeiten (Arm-Mund Kontakt, Objekt-Mund Kontakt, Objekt-Hand Kontakt, Händewaschen) ergaben keine signifikanten Faktoren (Abb. II.11 bis II.15).

Kumulative Häufigkeiten

Zur weiteren Verwendung der Häufigkeiten in der Modellentwicklung wurden diese als kumulative Häufigkeiten aufbereitet. Falls verfügbar wurden dabei die Daten aus der systematischen Literaturrecherche ergänzt (Abb. 3.11). Für die Kontakthäufigkeiten wurde unter „Trinken“ sowohl das Trinken aus einem Glas als auch aus einer Flasche zusammengefasst. Parameter der Poisson-Verteilungen für Kontakthäufigkeiten mit dem Mund sind für die spätere Verwendung in Tabelle II.1 dokumentiert. Die weiteren kumulativen Häufigkeitsverteilungen sind in Abb. II.16 dargestellt. Die Verteilungen erlauben es, die Häufigkeiten, welche insbesondere für Kontakte individuell geprägt sind, anhand von Perzentilen in der späteren Modellierung zu berücksichtigen.

Weiterhin wurden die Häufigkeitsverteilungen basierend auf den Beobachtungsdaten getrennt nach Labor- und Werkstatt-Kontext erzeugt. Kontakthäufigkeiten mit dem Mund

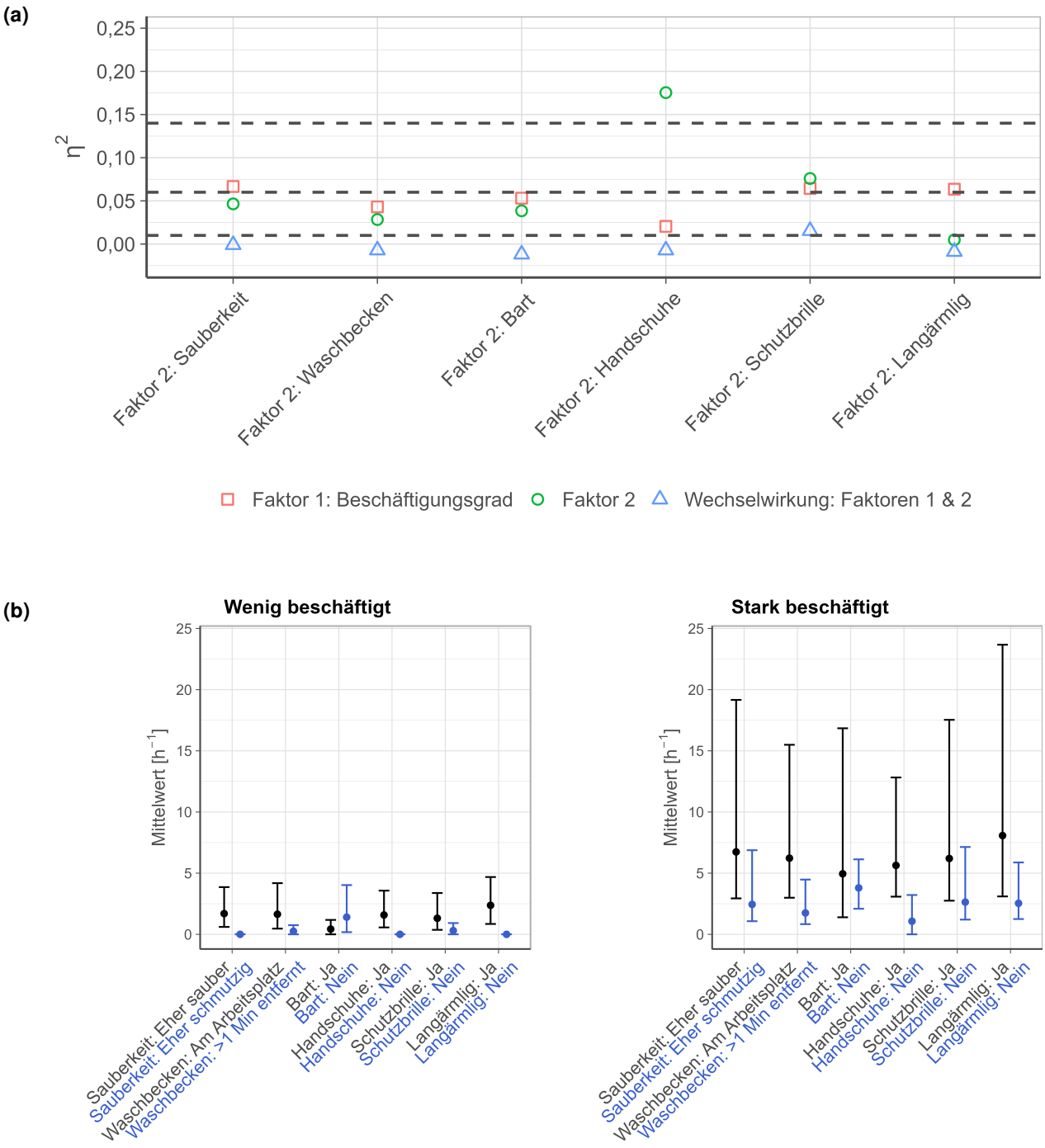


Abbildung 3.10: Für die Wechselhäufigkeit von Handschuhen gibt (a) die Effektstärke und (b) die Konfidenzintervalle an. Die Legende beschreibt den fixen Faktor des Beschäftigungsgrads (Faktor 1), den frei variierten zweiten Faktor, der im Test betrachtet wird (Faktor 2), sowie die Wechselwirkung beider Faktoren (1 & 2). Der frei variierte zweite Faktor wird auf der x-Achse für die einzelnen Berechnungen spezifiziert. Die gestichelten Horizontalen markieren die Übergänge zwischen niedriger, mittlerer und starker Effektstärke nach Steyn.

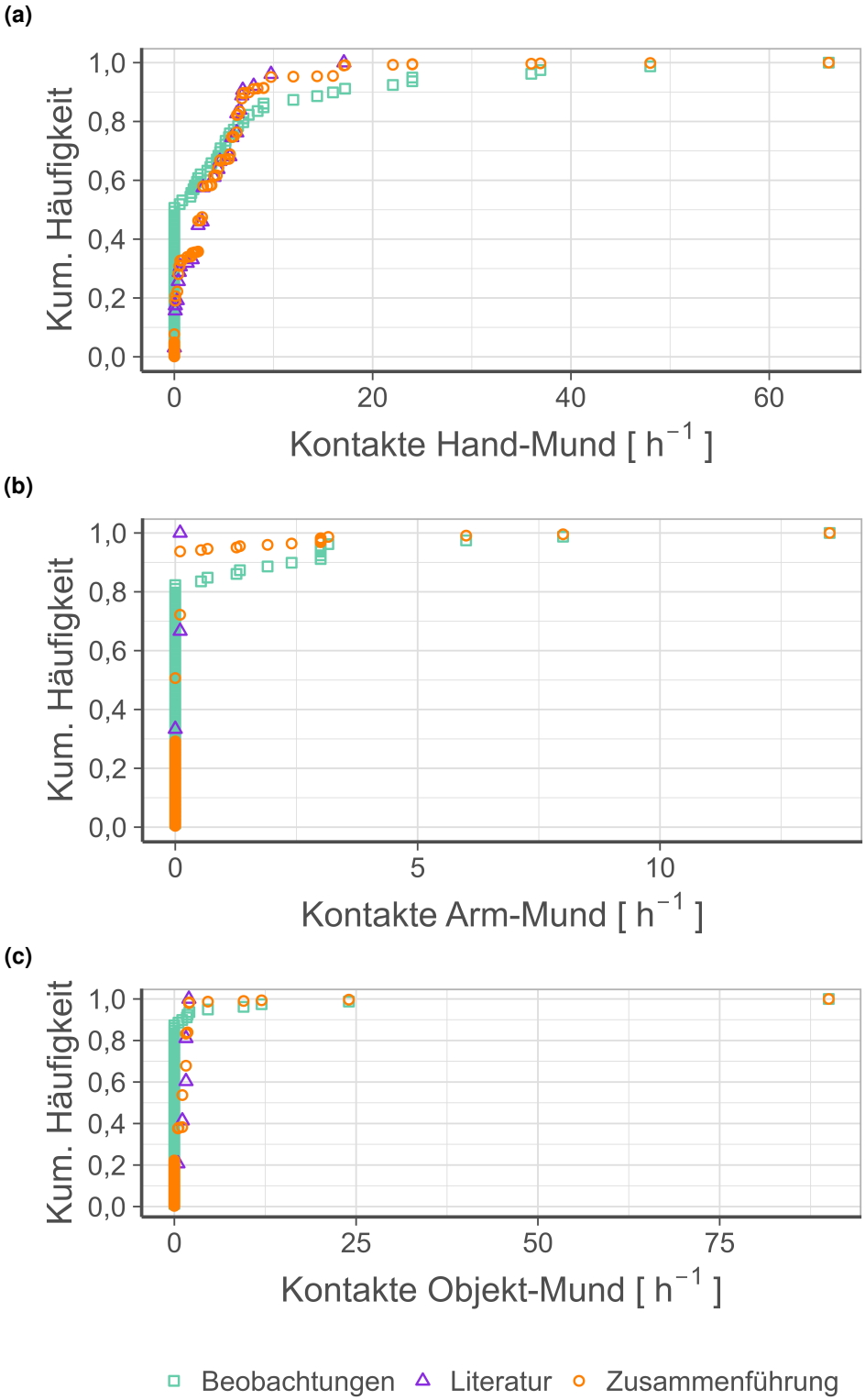


Abbildung 3.11: Kumulative (kum.) Häufigkeitsverteilung aus Beobachtungen, Literatur, sowie aggregiert zu einem zusammengeführten Gesamtdatensatz. (a) Hand-Mund Kontakte, (b) Arm-Mund Kontakte, (c) Objekt-Mund Kontakte.

fallen für die beobachteten Personen im Labor demnach geringer aus als für jene in Werkstätten. Im Labor-Kontext wurden während der Beobachtungen häufiger Handschuhe gewechselt als in Werkstätten. Alle nach Labor und Werkstatt getrennten Häufigkeitsverteilungen können Abb. II.17 entnommen werden.

3.2.3 Diskussion der Beobachtungsergebnisse

Die Häufigkeiten wurden in Beobachtungen erhoben, in denen die beobachtete Person vor Beginn aus ethischen Gründen vollständig über die Studie aufgeklärt wurde. Methodisch birgt dies den Nachteil, dass Personen ihr Verhalten darauf basierend anpassen können, um sozial erwünschtes Verhalten zu zeigen. Die Veränderung des natürlichen Verhaltens durch die Beobachtung, also der Einfluss des Hawthorne-Effekts, kann demnach verstärkt werden. Um dem entgegen zu wirken sollten die 15 ersten Beobachtungsminuten separat erhoben werden, um eine Eingewöhnung zu ermöglichen. Unter praktischen Bedingungen war dies jedoch nicht konsistent möglich, da die Beobachtungen auch tätigkeitsspezifisch erhoben wurden um akkurate kontextuale Informationen zu erzielen. Tätigkeiten wechseln allerdings in stark variablen Zeitrahmen je nach Beobachtung und erschweren demnach eine zusätzliche Neuerhebung nach 15 min. Darüber hinaus konnte während der Beobachtungen keine merkliche Änderung der Anpassung des Verhaltens über die Zeit beobachtet werden, die eine Trennung bei 15 min rechtfertigen würde. Stattdessen ließ sich der Hawthorne-Effekt reduzieren, indem je nach Gegebenheit und beobachteter Person eine natürlichere Situation erzeugt wurde. Wurde beispielsweise an Arbeitsplätzen ohnehin viel gesprochen, wurden Gesprächsversuche der beobachteten Person aufgenommen und so eine natürlichere „kollegialere“ Situation erzeugt, in der die Beobachtung für die beobachtete Person nicht länger im Fokus stand.

Werden die Daten aus allen Arbeitsbereichen gesammelt ausgewertet, stellen Kontakte zwischen Hand und perioraler Region die häufigste Kontaktart dar. Diese können durch einen Folgetransfer in den Mund zu oraler Exposition führen. Entsprechendes Verhalten, beispielsweise ein Befeuchten der Lippen mit der Zunge, wurde in 16 Beobachtungen erhoben. Diese spezifische Kontaktart wird durch die Beobachtungen jedoch wahrscheinlich unterschätzt, da es sich um extrem schnelles Verhalten handelt, welches aus der Beobachtungsperspektive heraus, also oft von schräg hinten, schlecht gesehen werden kann.

Wie häufig Handschuhe gewechselt werden, hängt nicht nur statistisch signifikant davon ab, ob Handschuhe getragen werden (methodischer Konsistenzcheck), sondern auch davon, ob eine Schutzbrille getragen wird. Da Schutzbrillen in Kombination mit Handschuhen insbesondere an Laborarbeitsplätzen getragen werden, wird ein Einfluss der Beobachtungen im Laborkontext vermutet.

Der signifikante Einfluss von der Verfügbarkeit von Waschbecken auf Hand-Mund Kontakte ist aus logischer Sicht schwer zu erklären. Einflüsse könnten unterbewusst wirken, jedoch scheint eine zufällige Erscheinung basierend auf der Stichprobe wahrscheinlicher.

Die Literatur identifiziert als Einflussfaktoren Stress, persönliche Gewohnheiten wie Nägel kauen, Angst oder Nervosität [7]. Außerdem gelten PSA wie Handschuhe oder Atemschutz als Einflussfaktoren des Verhaltens [22, 75] sowie das Bewusstsein gegenüber Gefahrenpotenzialen [23]. Inwiefern die Tätigkeiten manuell geprägt bzw. die Hände ausgelastet und damit nicht für Kontakte verfügbar sind [7, 8, 22] sowie Sitzen als Körperhaltung, in der Hände und Gesicht nah zueinander sind [25], wurden als Einflüsse beschrieben. Im Rahmen der Beobachtung wurden insbesondere PSA und die Beschäftigung der Hände als beobachtbare Faktoren erhoben. Die Auswertung in dieser Arbeit ergibt dazu jedoch keine signifikanten Einflüsse. Eine mögliche Ursache kann die Stichprobengröße darstellen, welche Einfluss auf die Signifikanz von Ergebnissen nimmt. Zudem unterliegen Beobachtungen im Allgemeinen dem Hawthorne-Effekt, wodurch eine Kontrolle des Verhaltens andere Einflüsse auf das Verhalten überlagern können. Auch die beobachteten Arbeitsplätze und durchgeführten Tätigkeiten beeinflussen die Ergebnisse: In dieser Arbeit wurden nur sehr wenige Personen beobachtet, bei denen eine sehr geringe Beschäftigung der Hände vorlag. Der Unterschied zwischen wenig und stark beschäftigten Händen ist jedoch geringer und erschwert es, eine mögliche Beeinflussung von Kontakten durch den Beschäftigungsgrad der Hände nachzuweisen.

Die kumulativen Verteilungen der Häufigkeiten der Hand-Mund, Arm- Mund und Objekt-Mund Kontakte stimmen gut mit den Häufigkeiten aus der Literatur überein (Abb. 3.11). Dabei fügen die Beobachtungen aus dieser Arbeit der Gesamtdatenbasis einige Datenpunkte mit höheren Kontakthäufigkeiten hinzu, wodurch Individuen mit entsprechenden Verhaltensweisen anhand der neuen Gesamtdaten besser berücksichtigt werden können. Rauchen dominiert in den Beobachtungsdaten die Objekt-Mund Kontakte und beeinflusst diese Verhaltensweise durch besonders hohe Häufigkeiten. Da kumulative Verteilungen jedoch die Betrachtung von Häufigkeiten basierend auf einem widerzuspiegelnden Perzentil der Beschäftigten erlauben, können diese Beobachtungen in die Datenbasis eingehen und berücksichtigt werden, ohne dass die Gesamtdaten extrem beeinflusst würden. In zukünftigen Datenerhebungen sollte ein Augenmerk auf die Berücksichtigung aller Geschlechter gelegt werden, um potenzielle geschlechtsspezifische Verhaltensweisen zu identifizieren und zu berücksichtigen.

Für die weiteren in dieser Arbeit erhobenen Häufigkeiten ist kein Vergleich mit Literaturdaten möglich. Im Umkehrschluss erlauben diese Daten es daher, entsprechende Verhaltensweisen oder arbeitshygienische Praktiken in Zukunft in einem Modell zu berücksichtigen.

Ein Vergleich der Labor- und Werkstatt-Arbeitsplätze zeigt, dass Arm-Mund und Hand-

Mund Kontakte im Labor seltener stattfinden als in Werkstätten, was auf Sensibilisierung und Gefahrenbewusstsein zurückzuführen sein könnte. Objekt-Mund Kontakte sind abgesehen vom Einfluss durch Rauchen, was in Laboren nicht beobachtet wurde, sehr ähnlich. Das Händewaschen erfolgt im Labor etwas seltener, jedoch werden Handschuhe meist häufiger gewechselt. Dass Hände im Labor seltener gewaschen werden, könnte daran liegen, dass häufig Handschuhe getragen und die Hände nur bei Verlassen des Labors gewaschen werden.

3.2.4 Fazit aus den Beobachtungen

Insgesamt liefern die Beobachtungen eine wertvolle Erweiterung und Ergänzung der Literaturdaten, anhand derer verschiedene Kontakte und arbeitshygienische Praktiken quantitativ beschrieben werden können (Ziel ***Z3***). Die entsprechenden kumulativen Verteilungen stellen die Basis für eine Berücksichtigung in einem Modellansatz dar. Zukünftig lassen sich die Einflussfaktoren auf entsprechende Verhaltensweisen und die Einhaltung der Arbeitshygiene anhand weiterer zu erhebender Beobachtungsdaten sowie unter Berücksichtigung verschiedener Arbeitsplätze und Tätigkeiten weitergehend analysieren.

3.3 Methodentriangulation: Interviews & Beobachtungen

Es liegen sowohl aus Experteninterviews als auch aus Beobachtungen Erkenntnisse zu relevanten Verhaltensweisen und arbeitshygienischer Praxis vor. Ziel der Methodentriangulation zwischen Interviews und Beobachtungen ist es, die Ergebnisse miteinander in Bezug zu setzen und damit für die Modellentwicklung aufzubereiten. Dazu stellt Tabelle 3.3 die Ergebnisse aus den Interviews dar, die sich auf Verhaltensweisen und Schutzmaßnahmen beziehen und somit im Fokus der Beobachtungen standen. Ergänzt sind die entsprechenden Rubriken der Beobachtungen sowie, falls verfügbar, das 75., 90. und 95. Perzentil der entsprechenden Häufigkeiten.

Tabelle 3.3: Nach absteigender Häufigkeit sortiert sind die Ergebnisse der Interviews zu Verhalten und Schutzmaßnahmen aufgeführt. Zugeordnet befinden sich die entsprechenden Rubriken der Beobachtungen. Falls verfügbar beziehen sich diese auf die Gesamtdaten (Literatur und Beobachtungen). Perzentile (P.) beziehen sich auf Häufigkeiten pro Stunde.

Interviews	**Beobachtungen**			
	Rubrik	75. P.	90. P.	95. P.
Verhalten				
Mangelnde Hygiene	Häuf. Händewaschen	0,52	1,93	2,86
Hand-Gesicht Kontakt	-			
Rauchen	Objekt-Mund Kontakt	1,6	1,90	1,96
Hand-Mund Kontakt	Hand-Mund Kontakt	6,03	7,56	9,73
Essen; Trinken	Essen; Trinken	0; 0	0; 1,61	0; 2,49
Fehlerhafte Anwendung, Pflege von PSA	-			
Perioraler Kontakt	Hand-Mund Kontakt	6,03	7,56	9,73
Arm-Gesicht Kontakt	-			
Arm-Mund Kontakt	Arm-Mund Kontakt	0,1	0,1	1,17
Objekt-Mund Kontakt	Objekt-Mund Kontakt	1,6	1,90	1,96
Hand-Objekt Kontakt	Hand-Objekt Kontakt	262,5	400,6	526,35
Handschuh-Gesicht Kontakt	-			
Handschuh-Mund Kontakt	Hand-Mund Kontakt	6,03	7,56	9,73
Gesicht waschen	-			
Schutzmaßnahmen				
Hygiene	Häuf. Händewaschen	0,52	1,93	2,87
PSA	Wechsel Handschuhe	2,51	6,89	13,56
Sensibilisierung	Unterweisungen			
Technische Maßnahmen	-			

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle 3.3 – Fortführung

Interviews	**Beobachtungen**			
Betrieblicher Arbeitsschutz	Kennzeichnungen, Kontrolle			
Kündigung	-			
Hautschutzcreme	-			
Flüssigkeit statt Staub	-			

Für die Verhaltensweisen konnten die meisten der in den Interviews genannten Aspekte in den Beobachtungen berücksichtigt werden. Dabei variieren die konkreten Rubriken zwischen Interviews und Beobachtungen. Beispielsweise wurden in Interviews sowohl Hand-Gesicht als auch Hand-Mund Kontakte genannt. In den Beobachtungen hingegen wurden nur Hand-Mund Kontakte beobachtet, da diese in unmittelbarem Bezug zur Entstehung von oraler Exposition gesehen werden.

Die Experten nannten von den ebenfalls beobachteten Rubriken eine mangelnde Hygiene am häufigsten, was sich mit einer je nach Tätigkeit geringen Häufigkeit des Händewaschens deckt. Als weiterer wichtiger Einfluss wurden von den Experten die Hand-Mund Kontakte sowie Kontakte zur perioralen Region genannt, die auch in den Beobachtungen, aggregiert als Hand-Mund Kontakte entsprechend häufig erfasst wurden. Essen und Trinken wurde von den Experten zudem häufig genannt, wobei nur das Trinken am Arbeitsplatz vereinzelt beobachtet werden konnte. Während der Pausen wurden die Beschäftigten nicht beobachtet. Kontakte wie Arm-Mund oder Objekt-Mund Kontakte, die in den Interviews seltener genannt wurden, wurden auch seltener beobachtet.

Die in den Interviews genannten Schutzmaßnahmen ließen sich nur hinsichtlich der Häufigkeit des Händewaschens und des Wechsels der Handschuhe in den Beobachtungen quantitativ erheben. Beim Wechsel der Handschuhe können durch Beobachtungen keine dadurch erfolgende Exposition der Hände oder Verschleppung von Kontaminationen quantifiziert werden. Auch Aspekte wie die Wirksamkeit potenziell erfolgter Sensibilisierungen oder technische Maßnahmen sind im Rahmen dieser Beobachtung nicht quantifizierbar bzw. nicht personenbezogen erhebbar.

3.3.1 Fazit der Methodentriangulation

Aus diesem Vergleich resultiert, dass Interviews und Beobachtungen grundsätzlich ähnliche Ergebnisse liefern. Verhaltensweisen bzw. Schutzmaßnahmen, welche häufig in den Interviews genannt wurden, sollten auch gemäß der beobachteten Häufigkeiten bei der Abschätzung von oraler Exposition berücksichtigt werden. Für die Modellentwicklung bedeutet dies, dass insbesondere Hand-Mund Kontakte berücksichtigt werden sollten. Die Häufigkeit des Händewaschens sollte als expositionsmindernde Maßnahme in der Modellentwicklung geprüft werden. Ergänzend können auch Objekt-Mund Kontakte und Arm-Mund Kontakte berücksichtigt werden.

Kapitel 4

Transfer von Chemikalien

Neben Verhaltensweisen und arbeitshygienischen Praktiken trägt der Transfer von Chemikalien zur Entstehung von oraler Exposition am Arbeitsplatz bei. Die Quantifizierung des Transfers erfolgt mithilfe von Transfereffizienzen, die Massen- oder Flächen-normiert angegeben und primär unter nachgestellten Bedingungen in Laboren erhoben werden. (Abschnitt 2.4.2)

Transfereffizienzen sind in der Literatur für einige Szenarien, aber nicht umfassend verfügbar (beispielsweise [37, 42, 43]). Neben den Transfereffizienzen selbst dokumentieren entsprechende Studien zahlreiche potenzielle Einflussparameter. Für die Beschreibung des Transfers in der Modellierung ist es zielführend, basierend auf der Literatur eine geringe Anzahl an Einflussparametern zu identifizieren, welche die Höhe der Transfereffizienzen maßgeblich beeinflussen. Für Kombinationen dieser Einflussparameter ist es das Ziel, aggregierte konservative Standard-Werte für Transfereffizienzen zu ermitteln, welche für eine möglichst genaue Beschreibung des Eintrags durch Transfer in einem oralen Expositionsmodell genutzt werden können. Dabei werden verschiedene Transferpfade berücksichtigt und dazu beispielsweise Kontakte zwischen Oberflächen, Haut oder Mundregion betrachtet.

4.1 Material & Methoden

Hierzu wurde in dieser Arbeit zunächst die verfügbare Datenbasis der Transfereffizienzen beschrieben und aufbereitet. Anschließend erfolgte die Identifikation von entsprechenden Einflussparametern, welche im späteren Modell zu oraler Exposition als Eingabeparameter dienen. Abschließend wurden Transfereffizienzen gemäß der identifizierten Variablen aggregiert, sodass geeignete Werte verfügbar sind.

4.1.1 Datenbasis zu Transfereffizienzen

Die Datenbasis zu Transfereffizienzen basiert auf systematischen Literaturrecherchen. Zum einen wurden Veröffentlichungen erhoben, die quantitative Informationen zum Transfer chemischer Stoffe enthalten (Abschnitt 2.4). Zum anderen identifizierte Schnieder in einer ähnlichen systematischen Literaturrecherche Veröffentlichungen, welche den Transfer von Biostoffen quantitativ beschreiben [34]. Innerhalb dieser Recherche wurde ein breites Spektrum an Biostoffen, beispielsweise Bakterien, Pilze und Viren, einbezogen. Der Kontext wurde auf einen Transfer von oder zu Menschen eingegrenzt.

Basierend auf beiden Arbeiten sowie unter Einbezug zitierter relevanter Studien wurden 28 Publikationen zu chemischen Stoffen in die Auswertung einbezogen. Zu Biostoffen gingen 16 Veröffentlichungen ein, welche den Transfer in die orale oder periorale Region sowie von Haut zu Haut charakterisieren. Einige weitere Publikationen zu Biostoffen sind enthalten, da diese zum Testen der im Folgenden beschriebenen Datenbank-Struktur verwendet wurden.

Die Transfereffizienzen dieser Studien sind in einer MS Access-Datenbank verfügbar, welche Angaben zur Studie, zur Substanz, zur Stoffkategorie (beispielsweise Biostoff), zum Transferpfad, zur Transfereffizienz, zum Kontakt (beispielsweise Kontaktdauer) und zur Kontaktart (beispielsweise Wischen) enthält (Abb. 4.1). Die Datenbank beinhaltet sowohl kategorische Daten, wie zum Beispiel die Stoffkategorie, als auch metrische Variablen wie zum Beispiel Transfereffizienzen oder die Häufigkeit der Kontakte. Die kategorischen Variablen wurden für die weitere Auswertung kodiert. Dabei wurden Stellvertreter-Variablen („Dummy-Variablen“) für jede Stufe einer kategorischen Variable angelegt (beispielsweise Stofftyp Biostoff: Ja - 1 / Nein - 0), sodass diese anschließend in der Auswertung analog zu metrischen Variablen behandelt werden können [76, S. 91].

Insgesamt wurden 692 Transfereffizienzen zu chemischen Stoffen und 441 Transfereffizienzen zu Biostoffen ausgewertet. 543 der Werte sind Massen-normiert angegeben, wohingegen 590 Transfereffizienzen Flächen-normiert verfügbar sind. In der weiteren Auswertung wurden diese getrennt betrachtet, da eine Umrechnung zwischen beiden Angaben insbesondere die Kenntnis der zugrundeliegenden Kontaktfläche erfordern würde.

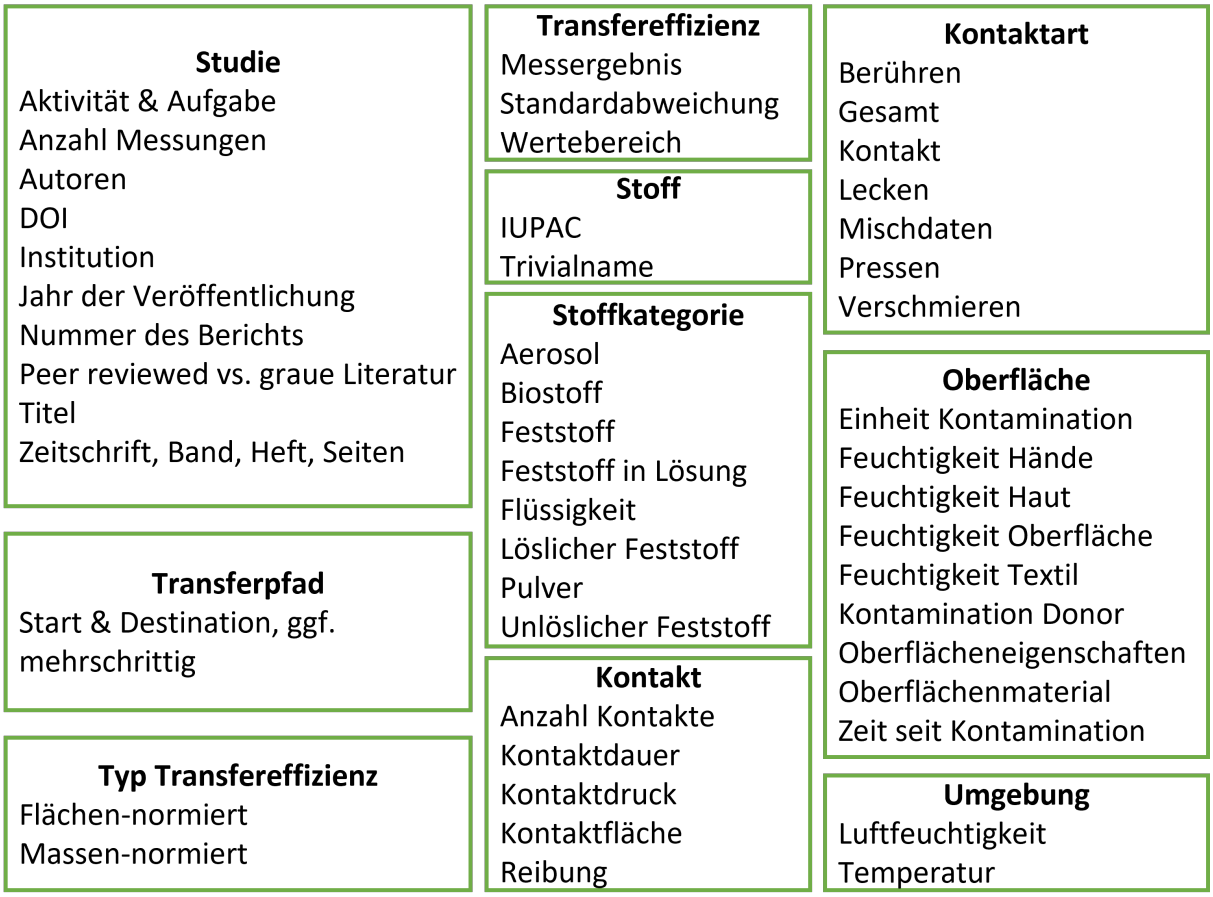


Abbildung 4.1: Parameter der Datenbank zu Transfereffizienzen. Die Boxen dienen der besseren Übersicht, stellen jedoch keine methodisch angewandte Gruppierung dar.

Für einen besseren Überblick vor der weiteren Datenaufbereitung sind die verfügbaren Transfereffizienzen als Boxplots aufgetragen. Unterschieden werden dabei neben beiden Definitionen der Transfereffizienzen Einzelmessungen, Mittelwerte und Mediane. Abb. 4.2 fasst die verfügbaren Daten für Mittelwerte zusammen. Die Boxplots weiterer statistischer Kenngrößen können Abb. III.1 bis III.2 entnommen werden. Einige der Werte übersteigen das theoretische Maximum von 100 %. Dies ist auf Messfehler wie beispielsweise eine ungenaue Bestimmung der Ausgangskontamination oder eine fehlerhafte Analytik zurückzuführen, da nicht mehr als 100 % der verfügbaren Kontamination transferiert werden können. Weiterhin streuen die Transfereffizienzen innerhalb der Stoffkategorien stark, was auf die Notwendigkeit weiterer Aufbereitungen hindeutet.

Zunächst wurden die in der Datenbank differenziert angegebenen Stoffkategorien für die weitere Auswertung zusammengefasst, sodass Flüssigkeiten, Feststoffe, Biostoffe und Aerosole unterschieden werden. Somit umfasst die Datenbasis chemischer Stoffe 447 Transfereffizienzen zu Flüssigkeiten inklusive Feststoffen in Lösung, 441 Transfereffizienzen zu Biostoffen, 219 Transfereffizienzen zu Feststoffen inklusive Pulvern und 26 Transfereffizienzen zu Aerosolen (Abb. III.3).

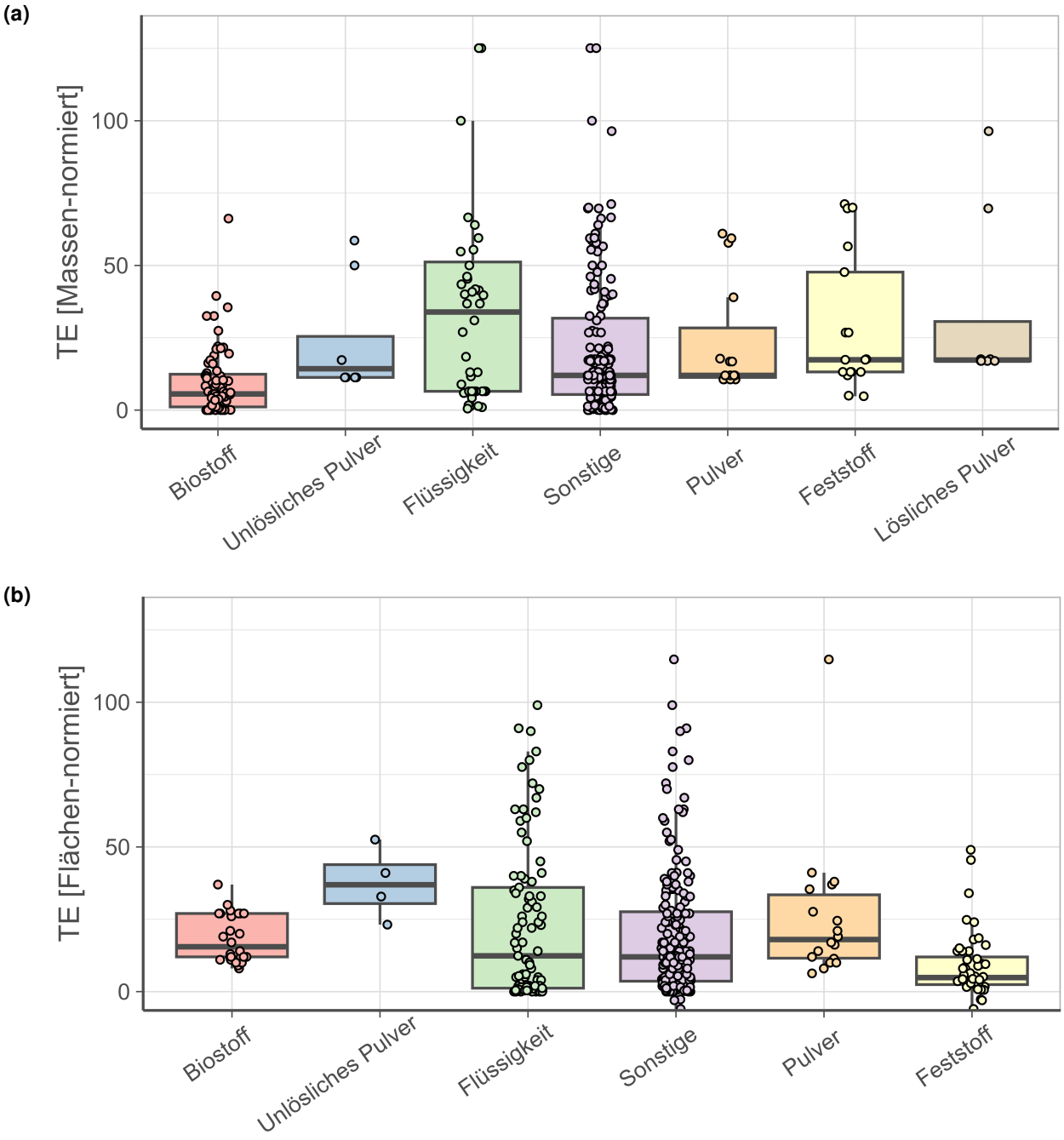


Abbildung 4.2: Boxplots der (a) Massen-normierten und (b) Flächen-normierten Transfereffizienzen, angegeben als Mittelwerte. Die Rubrik „Sonstige“ umfasst aggregierte Daten aus verschiedenen Substanzen.

(a)

A	B	C	D	E	F	TE [%]
X	X	NA	X	X	X	xx
X	X	NA	X	X	X	xx
NA	NA	X	X	NA	X	xx

(b)

A	B	D	E	F	TE [%]
X	X	X	X	X	xx
X	X	X	X	X	xx
NA	NA	X	NA	X	xx

Abbildung 4.3: Aufbereitung von Daten aus der Transfer-Datenbank. Dabei stellen A-F Parameter der Datenbank, beispielsweise die Luftfeuchtigkeit, dar. Jede Zeile dokumentiert den Wert einer Transfereffizienz aus der Literatur. (a) Im ersten Schritt werden Variablen mit vielen fehlenden Einträgen gelöscht (rot), um die Anzahl der vollständigen Datensätze zu erhöhen. (b) Dennoch unvollständige Datensätze (rot) werden in einem zweiten Schritt gelöscht.

Die am häufigsten genannte Kontaktart ist das Pressen (n=497), bei der zwei Kontaktflächen ohne weitere Bewegungen aufeinander gedrückt werden. Darauf folgen nicht näher spezifizierten Kontakten im Zuge von Arbeitsabläufen (n=449). Verschmieren umfasst feste Wischbewegungen (n=157), Greifen beschreibt gezielt Greifbewegungen (n=5) und Lecken bezeichnet das Ablecken mit der Zunge (n=1). Mischdaten beschreiben Zusammenfassungen mehrerer Kontaktarten (n=24).

Als Ziel des Transfers wurden am häufigsten Handschuhe untersucht (n=629), gefolgt von Händen (n=111). Seltener untersucht wurden beispielsweise der Transfer in die orale (n=80) oder periorale Region (n=31). Die beschriebene Kontaktdauer liegt bei bis zu 60 min. Kumulativ betrachtet liegen 25 % der Werte bei bis zu 1,5 s, 50 % bei bis zu 6 s und 75 % bei bis zu 60 s.

Um basierend auf statistischen Verfahren Einflussparameter zu identifizieren, anhand derer Transfereffizienzen aggregiert und damit für die Modellierung nutzbar gemacht werden können, erfolgte zunächst eine Aufbereitung der verfügbaren Daten. Unter der Annahme einer symmetrischen Verteilung der Transfereffizienzen innerhalb der Studien wurden Mittelwerte, Mediane und Einzelmesswerte gemeinsam ausgewertet. Liegen mehrere Werte für eine Studie vor, wurde der Median verwendet. Variablen, welche in verhältnismäßig wenigen Studien dokumentiert wurden und damit wenig Datenpunkte enthalten, wurden aus der Auswertung ausgeschlossen (Abb. 4.3 a). Dies betrifft Variablen mit unter 50 bzw. unter 100 Einträgen für Massen- bzw. Flächen-normierte Werte, wobei die Grenzen iterativ anhand einer Abwägung der Anzahl verbleibender Daten sowie der Güte des Modells abgeleitet wurden. In einem weiteren Schritt erfolgte der Ausschluss unvollständiger Datensätze, sodass jeder Eintrag hinsichtlich aller verbleibenden Variablen auswertbar ist (Abb. 4.3 b).

Zuletzt wurden Variablen, welche untereinander korrelieren, ausgeschlossen. So wird vermieden, dass zwei Variablen, die sich unmittelbar gegenseitig bedingen, beide zur Beschreibung der Transfereffizienz herangezogen werden. Technisch wurde dazu für alle

Kombinationen mit einem Korrelationskoeffizienten über 0,7 eine der beiden Variablen manuell ausgeschlossen [77]. Die Überprüfung erfolgte mithilfe der Spearman-Korrelation, da diese robust gegenüber Ausreißern und für gemischte kategoriale und metrische Daten geeignet ist [78]. Dabei wurde möglichst diejenige Variable ausgeschlossen, die einen konkreten Wert, beispielsweise eine Substanz, beschreibt und dafür eine allgemeingültige Variable, beispielsweise eine Stoffkategorie, beibehalten. Insgesamt wurden folgende Korrelationen identifiziert: Die Transfer-Startpunkte „Fingerkuppe“ mit und ohne Handschuh, „Haut“, „Hand“ und „Textilien“ wurden ausgeschlossen, da diese mit Destinationen korrelieren. Analog wurde der Startpunkt „perioral“ ausgeschlossen, da dieser mit der Kontaktart „Lecken“ korreliert. Die Destinationen „Objekt“ und „Textil“ wurden aufgrund einer Korrelation mit der Kontaktart „Verschmieren“ ausgeschlossen. Die Kontaktart „Pressen“ wurde ausgeschlossen, weil sie mit der Kontaktart „Tätigkeit“ korreliert. Die Stoffkategorie „Feststoff“ musste aufgrund einer in dieser Überprüfung festgestellten Korrelation mit der Stoffkategorie „Flüssigkeit“ ausgeschlossen werden.

Nach Abschluss der Datenaufbereitung stehen 446 bzw. 529 vollständige Datensätze für Massen- bzw. Flächen-normierte Transfereffizienzen zur Verfügung.

4.1.2 Identifikation von Einflussparametern

Anhand dieser Datenbasis wurden im Folgenden Einflussparameter identifiziert. Diese sind Variablen, welche starken Einfluss auf die Werte der Transfereffizienzen nehmen. Es handelt sich demnach um Parameter, die möglichst große Anteile der variierenden Transfereffizienzen erklären. Für Kombinationen von unterschiedlichen Werten dieser Parameter müssen deshalb Transfereffizienzen zur Modellierung von beruflicher oraler Exposition vorliegen.

Interaktionen zwischen potenziellen Einflussparametern wurden im Folgenden nicht betrachtet. Um vorbereitend dazu beispielsweise anhand von Kausalmodellen in Form gerichteter azyklischer Graphen a-priori Zusammenhänge der Parameter zu berücksichtigen, würde ein besseres Verständnis von Transfereffizienzen und deren Zustandekommen benötigt. Stattdessen ist es das Ziel dieser Auswertung, zweckdienliche Einflussparameter zur Aggregation von Transfereffizienzen zu identifizieren.

Folglich wurde eine multiple lineare Regression [79] mit allen nach der Datenaufbereitung verbleibenden Variablen durchgeführt und geprüft, welche davon signifikanten Einfluss auf die Transfereffizienzen nehmen. Dabei wurden aufgrund der fehlenden Vergleichbarkeit Massen- und Flächen-normierte Daten getrennt ausgewertet. Voraussetzungen für die lineare Regression werden in Abschnitt 4.2.1 nachgewiesen. Das resultierende multiple lineare Modell dient demnach zur Identifikation von Einflussparametern auf Transfereffizienzen und ist nicht identisch mit dem zu entwickelnden oralen Expositionsmodell.

Die aus diesem ersten Modellbildungsschritt resultierenden Modelle für Massen- und Flächen-normierte Daten enthalten viele Variablen, sodass die Möglichkeit eines Overfittings besteht. Dabei enthält ein Modell Variablen, die jeweils nur geringe Anteile der Zielgröße erklären [79, 80]. Um möglichst relevante Parameter zur Beschreibung der Transfereffizienzen zu identifizieren, erfolgte eine sogenannte Feature-Auswahl [81]. Diese ändert iterativ die einbezogenen Variablen und prüft, ob die Modellvorhersage durch die Änderung verbessert oder verschlechtert wird. Das Akaike Information Criterion (AIC) gewichtet dabei die Faktoren Goodness-of-fit und die Anzahl der benötigten Variablen, um daraus ein Optimum zu bilden [82]. Die iterative Auswahl der Variablen kann vorwärts (schrittweises Ergänzen von Variablen), rückwärts (schrittweises Entfernen von Variablen) oder beides / zufällig (Kombination aus vorwärts und rückwärts) erfolgen [79]. Bei der vorwärts-Methode werden jedoch nie alle Variablen und deren potenzielle Wechselwirkungen gleichzeitig analysiert.

Die aus der Feature-Auswahl resultierenden finalen Modelle beinhalten Kodierungen verschiedener kategorischer Parameter. Diese wurden im nächsten Schritt gemäß der ursprünglichen Variablen rückgruppiert. Beispielsweise würden die Kodierungen „flüssig“ und „Biostoff“ zu „Stoffkategorie“ zusammengefasst. Die damit identifizierten Kategorien entsprechen den gesuchten Einflussparametern.

Basierend auf den so erzeugten finalen Modellen wurden die Voraussetzungen für eine lineare Regression nachgewiesen [76, S. 183]. Eine Analyse einflussreicher Fälle wurde anhand einer grafischen Auswertung des Cook's Abstands [83] durchgeführt, welcher den Einfluss einzelner Werte auf das Regressionsergebnis analysiert.

4.1.3 Aggregation von Transfereffizienzen

Um sinnvoll handhabbare Modelleingabeparameter abzuleiten, wurden Stufen der identifizierten Einflussparameter zusammengefasst. Beispielsweise würde die Destination „Kleidung“ den „Textilien“ zugeordnet. Dadurch wird die Anzahl der zu betrachtenden Parameterkombinationen reduziert.

Für die daraus resultierenden Parameterkombinationen wurden aggregierte Transfereffizienzen anhand von Werten ermittelt, welche in der Datenbank hinterlegt sind. Dabei wurden Transfereffizienzen über $100\,\%$ ausgeschlossen, da diese physikalisch nicht sinnvoll sind. Wenn Transfereffizienzen für die entsprechende Parameterkombination verfügbar sind, wurde deren 75. Perzentil als konservativer aggregierter Wert berechnet und hinterlegt. Sind keine parameterspezifischen Transfereffizienzen verfügbar, wurde stattdessen das 75. Perzentil aller Massen- bzw. Flächen-normierten Transfereffizienzen als konservativer Standard-Wert ermittelt.

4.2 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse, welche aus der Anwendung der beschriebenen Herangehensweise auf die Datenbasis zu Transfereffizienzen resultieren, dargelegt.

4.2.1 Identifikation von Einflussparametern

Aus der multiplen linearen Regression resultiert für die Massen-normierten Daten vor der Reduktion von Overfitting ein vorläufiges Modell mit 27 Variablen. Davon sind 12 Variablen bei einem Signifikanzniveau von 0,05 signifikant. Für die Flächen-normierten Daten sind 18 Variablen enthalten, von denen elf signifikant sind.

Unter Einbezug der Feature-Auswahl ergaben sich für das auf Massen-normierten Daten basierende Modell anhand der vorwärts-Methode keine Unterschiede im Vergleich zum ersten Modell. Die rückwärts- und die zufällige-Methode ergaben 16 Variablen, von denen die gleichen 13 Variablen signifikant sind. Für das Flächen-normierte Modell ergab die vorwärts-Methode 16 Variablen, davon 11 Signifikante. Die rückwärts- und die zufällige-Methode ergaben 13 Variablen, von denen die gleichen 11 Variablen signifikant sind.

Aus der Rückgruppierung der kategorischen Parameter resultieren für die Massen-normierten Daten folgende Parameter: die Kontaktart, die Stoffkategorie sowie Start und Destination des Transferpfads. Für die Flächen-normierten Daten verbleibt zusätzlich die Kontaktdauer. Diese Ergebnisse sind unabhängig von der Verwendung der rückwärts-Selektion oder zufälligen Methode zur Feature-Auswahl.

Für die anschließende Prüfung der Voraussetzungen für multiple lineare Regression wurden für die finalen Modelle Residualdiagramme erstellt. Daran konnte der geforderte lineare Zusammenhang von Variablen und Transfereffizienzen gezeigt werden (Abb. III.4). Die Transfereffizienzen sind metrisch skaliert und die abhängigen Variablen wurden, falls nötig, kategorisiert. Die Fehlerterme sind normalverteilt (Abb. III.5). Die Homoskedastizität, also die gleichmäßige Streuung der Residuen, wurde anhand einer Heteroskedastizität-Konsistenz (HC)1-Korrektur sichergestellt [84, 85]. Durch den Ausschluss einzelner Variablen basierend auf der Korrelationsmatrix wurde eine Multikollinearität vermieden.

Mithilfe der Analyse einflussreicher Fälle wurden für das Massen-normierte Modell drei Fälle identifiziert (Abb. III.6). Diese stammen alle aus einer Publikation von Gorman Ng *et al.* [42] und liefern Transfereffizienzen über 100 %, was wie zuvor beschrieben auf Messfehler zurückzuführen ist. Eine Zensur der Werte der Transfereffizienzen auf 0-100 % oder ein Ausschluss fand dabei nicht statt, um die wissenschaftlich dokumentierte Datenlage während der Modellbildung möglichst wenig zu modifizieren. Transfereffizienzen über 100 % werden in einem späteren Schritt ausgeschlossen.

Für das Flächen-normierte Modell wurden ebenfalls drei einflussreiche Fälle identifiziert, welche aus Publikationen von Gorman Ng *et al.* (TE =114,8 %) [86], Christopher (TE =100 %) [8] und Ramwell *et al.* (TE =79 %) [87] stammen (Abb. III.6). Auch hier sind Werte über 100 % physikalisch nicht sinnvoll.

Die finalen Modelle können Tabelle 4.1 entnommen werden. Das Massen-normierte Modell ist durch den F-Wert $F(16, 429) = 17,5$, $p < 0,001$ mit einem multiplen Bestimmtheitsmaß von $R^2_{multiple} = 0,40$ und einem korrigierten Bestimmtheitsmaß von $R^2_{adjusted} = 0,37$ charakterisiert. Für die Flächen-normierten Daten beträgt $F(13, 515) = 29,39$, $p < 0,001$ mit $R^2_{multiple} = 0,43$ und $R^2_{adjusted} = 0,41$.

Tabelle 4.1: Finale Modellparameter für Massen-normierte und Flächen-normierte Transfereffizienzen.

Unabhängige Variable	Koeffizient	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
Massen-normierte Daten				
(Achsenabschnitt)	−1,8	8,0	0,2	0,8
Start:				
Arm	−59,0	15,0	−4,0	<0,001
Hand	−46,6	7,0	−6,7	<0,001
Handschuh	−42,0	29,4	−1,4	0,16
Lebensmittel	−46,1	8,8	−5,2	<0,001
Destination:				
Hand mit Handschuh	39,9	17,0	2,3	0,02
Fingerkuppe mit Handschuh	−18,2	12,8	−1,4	0,16
Fomite	−24,4	9,7	−2,5	0,01
Küchenutensilien	41,1	11,7	3,5	<0,001
Lebensmittel	56,0	5,0	11,2	<0,001
Oberfläche	39,8	10,3	3,9	<0,001
Oral	89,4	9,3	9,6	<0,001
Perioral	70,5	10,5	6,7	<0,001
Kontaktarten:				
Mischdaten	−18,2	11,2	−1,6	0,10
Kontakt	−19,2	4,8	−4,0	<0,001
Stoffkategorien:				
Biostoffe	27,0	7,6	3,6	<0,001
Flüssigkeiten	40,5	6,3	6,4	<0,001
Flächen-normierte Daten				

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle 4.1 – Fortführung

Unabhängige Variable	Koeffizient	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
(Achsenabschnitt)	37,2	5,7	6,5	<0,001
Kontaktdauer	0,02	0,001	11,4	<0,001
Start:				
Haut	−14,5	9,9	−1,5	0,15
Oberfläche	−40,9	6,0	−6,8	<0,001
Objekt	−65,0	7,1	−9,1	<0,001
Destination:				
Hand	25,0	3,8	6,5	<0,001
Handschuhe	29,6	3,8	7,9	<0,001
Haut	−53,2	9,9	−5,4	<0,001
Kleidung	19,9	5,8	3,5	<0,001
Lebensmittel	37,3	4,6	8,1	<0,001
Kontaktarten:				
Kontakt	−18,6	4,2	−4,5	<0,001
Pressen	−6,9	2,9	−2,4	0,017
Stoffkategorien:				
Biostoffe	18,7	8,3	2,2	0,03
Flüssigkeiten	−5,4	2,1	−2,6	0,01

4.2.2 Aggregation von Transfereffizienzen

Für die Verwendung der Transfereffizienzen in einem Expositionsmodell wurden diese im nächsten Schritt aggregiert. Um Dopplungen zu vermeiden wurden vorbereitend spezifische Startpunkte bereits enthaltenen, allgemeineren Ausgangspunkten des Transfers zugeordnet:

- Haut: Hand, Fingerkuppe, Arm, perioral,
- Oberfläche: Objekt, Fomite, sowie
- Handschuhe: Fingerkuppe mit Handschuh.

Analog wurden Angaben zu Destinationen zusammengeführt:

- Handschuhe: Fingerkuppe mit Handschuh, Hand mit Handschuh,
- Haut: Hand, Fingerkuppe, perioral,

- oral: Mund,
- Oberfläche: Objekte, Küchenutensilien, Fomite, sowie
- Textilien: Kleidung.

Werte unterhalb des 50. Perzentils / des Medians der Kontaktdauer wurden als kurz definiert ($\leq$ 6 s). Ein Beispiel wäre die Handhabung von Werkteilen bei Sortierprozessen. Kontakte über 6 s wurden als lang definiert, beispielsweise der Transport von Objekten. Durch diese Gruppierung werden spätere Modelleingaben eindeutiger und die Anzahl der erforderlichen aggregierten Transfereffizienzen sinkt durch die verringerte Parameterzahl. Insgesamt ergeben sich damit die in Tabelle 4.2 spezifizierten und teils aggregierten Parameterstufen.

Tabelle 4.2: Eingabeparameter und Parameterstufen zur Auswahl einer Transfereffizienz.

Eingabeparameter	**Parameterstufen**
Destination	Handschuhe, Haut, Lebensmittel, Oberfläche, Oral, Textilien
Start	Handschuhe, Haut, Lebensmittel, Oberfläche, Textilien
Stoffkategorie	Aerosol, Biostoff, Feststoff, Flüssigkeit
Kontaktart	Kontakt, Lecken, Pressen, Verschmieren
Kontaktdauer	Kurz ($\leq$ 6 s), lang ($>$ 6 s)

Darauf basierend wurden für die resultierenden Parameterkombinationen die 75. Perzentile der zugehörigen Transfereffizienzwerte bestimmt. Die resultierenden Werte sind für die jeweiligen verfügbaren Kombinationen in Abb. 4.4 bis 4.5 für die Massen- und Flächennormierten Daten dargestellt. Für beide Normierungen werden lange und kurze Kontakte unterschieden, um eine bessere Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Standard-Werte werden im Vergleich als gestrichelte Linien visualisiert. Die Anzahl der Datenpunkte je aggregierter Transfereffizienz ist zusätzlich als Punktgröße visualisiert.

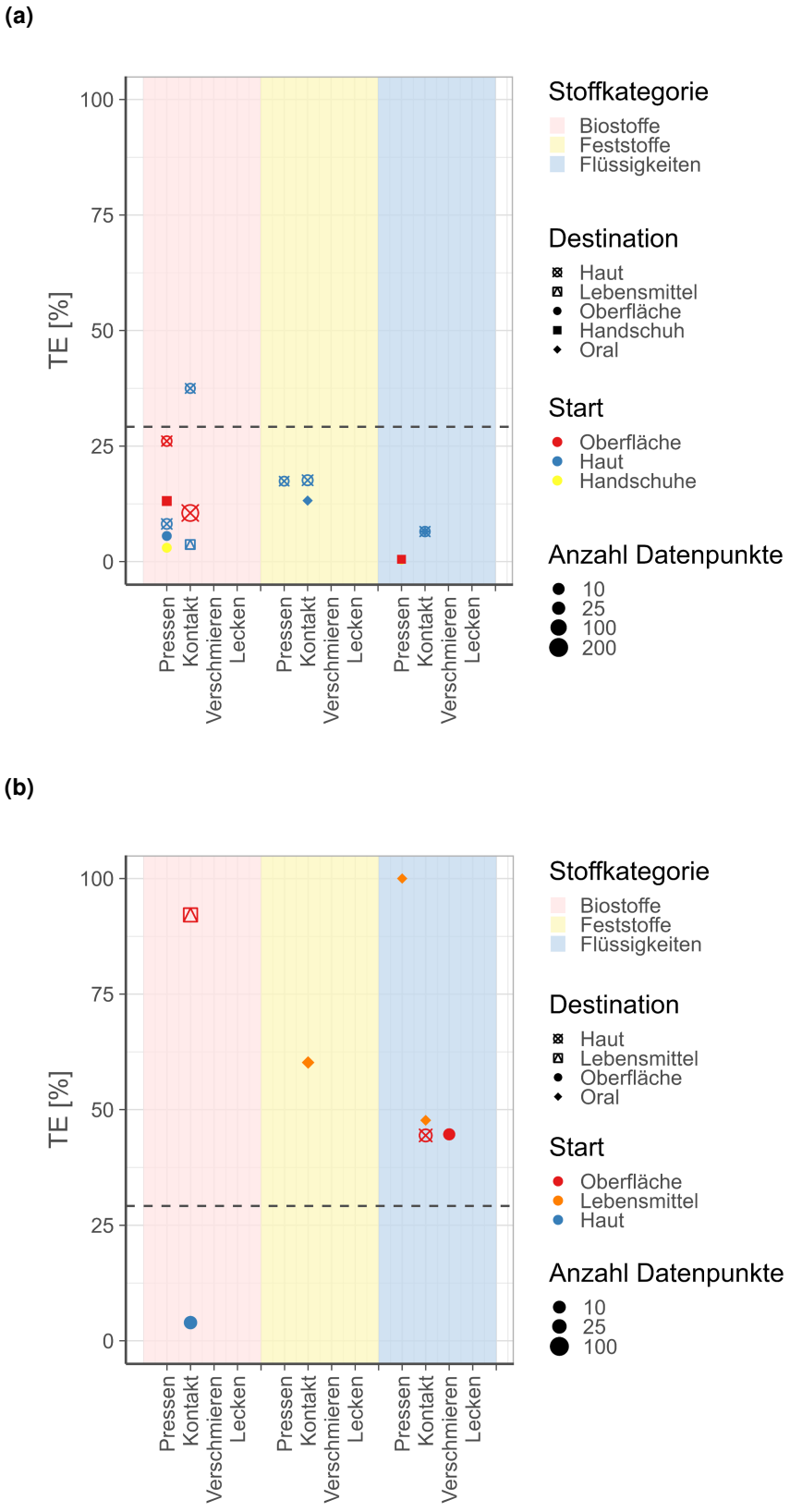


Abbildung 4.4: Anhand der Einflussparameter aggregierte Transfereffizienzen für (a) lange und (b) kurze Kontaktdauer für Massen-normierte Daten. Standard-Werte sind als gestrichelte Linien eingetragen.

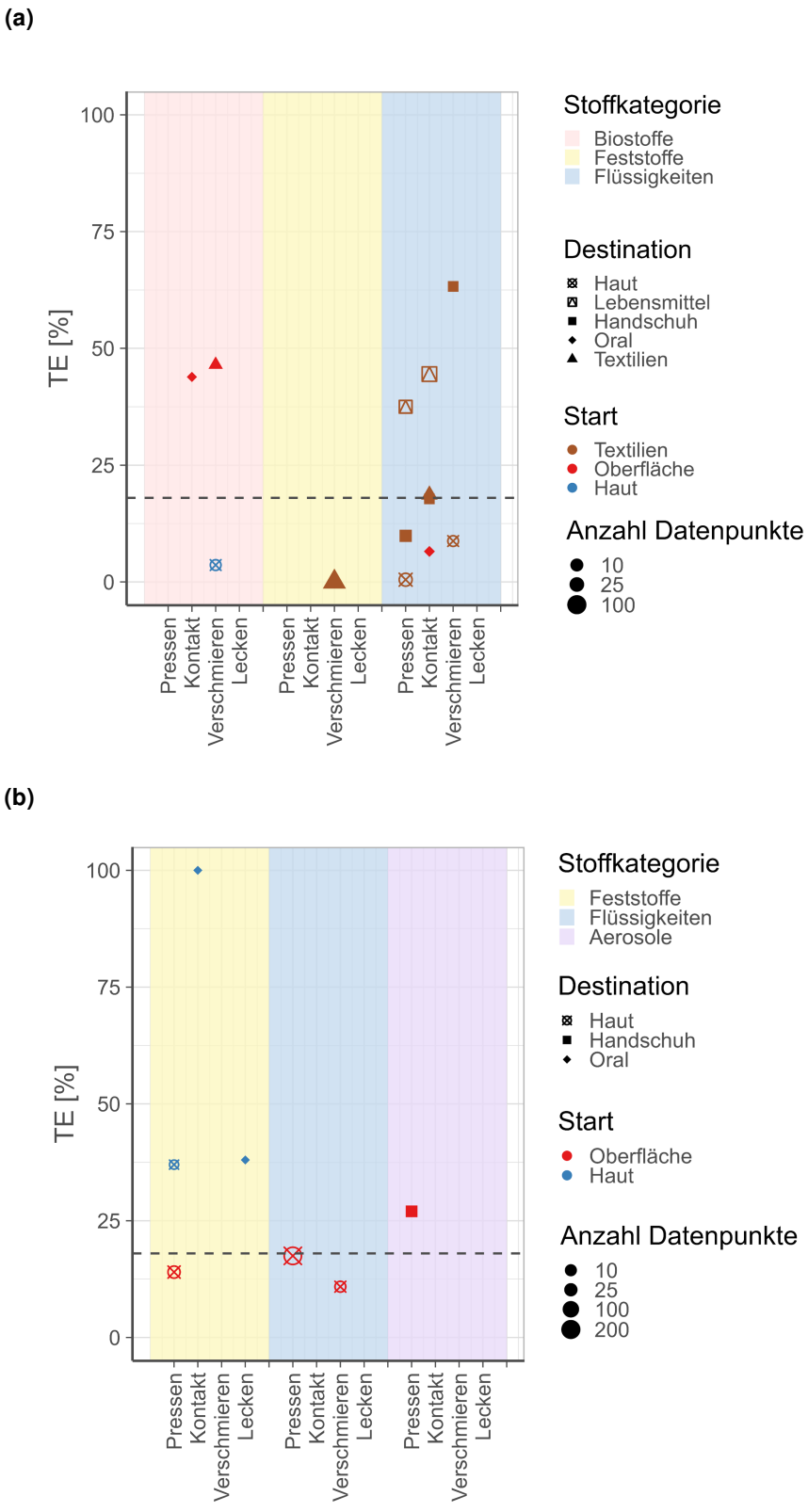


Abbildung 4.5: Anhand der Einflussparameter aggregierte Transfereffizienzen für (a) lange und (b) kurze Kontaktdauer für Flächen-normierte Daten. Standard-Werte sind als gestrichelte Linien eingetragen.

4.3 Diskussion

Im Folgenden werden Gesichtspunkte zur Datenbasis, Modellbildung, Identifikation von Einflussparametern sowie der Aggregierung von Transfereffizienzen diskutiert und ein Bezug zu Interview- und Beobachtungsergebnissen (Kapitel 3) hergestellt.

4.3.1 Datenbasis zu Transfereffizienzen

Die Datenbasis zu Transfereffizienzen von chemischen Stoffen und Biostoffen beruht auf dokumentierten Messwerten aus systematischen Literaturrecherchen. Für chemische Stoffe wurden die verfügbaren Daten vollständig in der Datenbank abgebildet und zitierte Studien auf relevante Daten geprüft. Für Biostoffe wurde anhand des beschriebenen Vorgehens eine Auswahl von Studien hinterlegt, welche aufgrund der Transferpfade eine Relevanz für die Entstehung von oraler Exposition aufweisen. Diese Vorgehensweise stellt sicher, dass die Untersuchung von Transfereffizienzen und deren Einflussparametern auf dem aktuellen Wissensstand basiert. Dennoch gibt es Parameterkombinationen, für welche keine Messwerte verfügbar sind. Für die spätere Modellierung von oraler Exposition am Arbeitsplatz wurde dies berücksichtigt, indem die weniger spezifischen Standard-Werte der Transfereffizienzen genutzt werden. Für ein besseres Verständnis des Transfers sind hier dennoch weitere Messungen erforderlich, in denen gezielt die bislang nicht untersuchten Parameterkombinationen evaluiert werden. Auch für Parameterkombinationen mit nur wenigen Messdaten gemäß Abb. 4.4 bis 4.5 wären ergänzende Messungen empfehlenswert, um die Belastbarkeit der aggregierten Transfereffizienzen zu erhöhen.

Durch den Ausschluss unvollständiger Datensätze wurde die je nach Parameterkombination ohnehin schlechte Datenlage weiter verstärkt. Jedoch resultiert dieses Vorgehen darin, dass die verbleibenden Datensätze hinsichtlich aller verbliebenen Parameter ausgewertet werden konnten und sichert damit eine differenzierte Analyse der Einflüsse.

Basierend auf diesen bereits bestehenden Limitationen wurden möglichst keine weiteren Veränderungen des Datensatzes vorgenommen, um das Fehlerpotenzial in der Auswertung zu minimieren. Folglich wurden keine weiteren Transfereffizienzen für die Modellbildung ausgeschlossen oder auf 0 bis 100 % zensiert.

4.3.2 Transfereffizienzen: Modellbildung

Methodisch stellt eine multiple lineare Regression zur Modellbildung nicht die einzige Option dar. Zukünftige Arbeiten können prüfen, inwiefern andere Methoden, beispielsweise eine Perzentilregression, zur aggregierten konservativen Betrachtung von Transfereffizienzen verbesserte Ergebnisse liefern. Ansätze des maschinellen Lernens bieten grundsätzlich ebenfalls Möglichkeiten für die zukünftige Beschreibung von Transfereffizienzen. Dabei

sollte berücksichtigt werden, dass zwar ein grundsätzlich fundierter jedoch nach wie vor kleiner Datensatz vorliegt. Zudem wären ergänzende Arbeiten zum wissenschaftlichen Verständnis von Einflüssen auf Transfereffizienzen wünschenswert. Diese wären eine wichtige Voraussetzung für die Abbildung von Kausalitäten anhand gerichteter azyklischer Graphen und darauf basierende Modellierungen von Interaktionen zwischen Einflussparametern.

Für das entwickelte Massen-normierte Modell liegt $R^2_{multiple}$ bei 0,40, was nach Cohen einer starken Varianzaufklärung entspricht [88, S. 414]. Für das Flächen-normierte Modell liegt $R^2_{multiple}$ bei 0,43 und entspricht damit ebenfalls einer starken Varianzaufklärung. Gemäß dieser Einstufung tragen die entwickelten Modelle maßgeblich zur Erklärung der vorliegenden Transfereffizienzen bei. Darüber hinaus gibt es weitere Parameter, die Einfluss auf Transfereffizienzen nehmen und die bislang nicht identifiziert wurden. Dies kann darauf beruhen, dass sie in den zugrundeliegenden Studien nicht erhoben wurden und deshalb nicht in der Datenbank verfügbar sind. Alternativ konnten entsprechende Parameter mangels Einträgen nicht in die Auswertung aufgenommen werden.

Beeinflussen entsprechende Parameter nicht nur die Transfereffizienzen sondern auch die bereits identifizierten Einflussparameter, handelt es sich um Störfaktoren, deren Interaktion zukünftig analysiert werden sollte [89]. Dennoch erklären die bereits identifizierten Parameter die Varianz zu 40 % bzw. 43 % [88, S. 413]. Somit sind diese als Startpunkt geeignet, um den Transfer in der Modellierung zu berücksichtigen.

4.3.3 Identifikation von Einflussparametern

Die identifizierten Einflussparameter unterscheiden sich für Massen- und Flächen-normierte Daten hinsichtlich der Kontaktdauer. Eine Ursache dafür können die in den zugrundeliegenden Messdaten repräsentierten Versuchsbedingungen sein, welche ggf. keine hinreichende Unterscheidung der Kontaktdauer in einem multiplen linearen Modell für Massen-normierte Daten zulassen.

Ein hinsichtlich des beruflichen Kontextes besonders hervorzuhebender Einflussparameter ist die Kontaktart „Lecken“. Diese sollte bei Einhaltung einer guten Arbeitshygiene für die meisten Arbeitsplätze irrelevant sein. In Sonderfällen, beispielsweise bei Geschmacksproben in der Lebensmittelindustrie oder zur Modellierung von Affektverhalten in Folge von Verletzungen, können entsprechende Angaben der Transfereffizienz jedoch nützlich sein.

Gemäß des Massen-normierten Modells haben die Destinationen „oral“ und „perioral“ im Vergleich zu anderen betrachteten Destinationen große Koeffizienten und demnach einen besonders hohen Einfluss auf die Berechnung der Transfereffizienz. Der Transfer in Regionen, welche für die Entstehung von oraler Exposition kritisch sind, ist also vollständiger als in andere Regionen. Für das Flächen-normierte Modell haben die Koeffizienten des

Starts „Objekt“ und der Destination „Haut“ betragsmäßig die höchsten Werte und reduzieren die Transfereffizienzen entsprechend aufgrund des negativen Vorzeichens. Dies steht nicht im Widerspruch zu den Ergebnissen des Massen-normierten Modells, da die zugrundeliegenden Daten unterschiedlich sind und dadurch die genauen Werte der Koeffizienten Modell-spezifisch sind.

Weiterhin befinden sich die hier identifizierten Einflussparameter in guter Übereinstimmung mit der Literatur. Beispielsweise beschreibt diese Start und Ziel des Transferpfads als relevante Einflüsse, welche beide im Modell repräsentiert sind. Die Kontaktart und Kontaktdauer werden ebenfalls sowohl von der Literatur beschrieben als auch im Modell berücksichtigt. Die im Modell beschriebene Stoffkategorie spiegelt sich in der Literatur anhand umfangreicher, teils differenzierter Angaben (beispielsweise Staubigkeit vs. Flüchtigkeit) wider. Eine genaue Gegenüberstellung von Einflussparametern gemäß Literatur und Modell enthält Tabelle 4.3.

Einige der nur in der Literatur identifizierten Einflussparameter könnten den Anteil der erklärten Varianz erhöhen, wenn die Datenlage in Zukunft eine entsprechende Auswertung erlaubt. Andersherum müssen nicht alle in der Literatur genannten Einflussparameter zwangsläufig relevant für die Beschreibung von Transfereffizienzen sein.

Tabelle 4.3: Gegenüberstellung der Einflussparameter gemäß der Literaturrecherche zum Transfer und deren Modell-basierter Identifikation.

Literaturrecherche			**Modell**
Umgebung	Feuchtigkeit	Temperatur	Zu wenig Datenpunkte
Stoff	Flüchtigkeit	Polarität	Stoffkategorie
	Grenzschicht	Staubigkeit	
	Konzentration	Stofftransport	
	Löslichkeit	Viskosität	
	Partikelgröße		
Start, Ziel	Start, Destination des Transferpfades		Start, Destination
Oberfläche	Adhäsion	Härte	Zu wenig Datenpunkte
	Beladung	Polarität	
	Feuchtigkeit	Rauigkeit	
Kontakt	Kontaktdauer	Kontakthäufigkeit	Kontaktart
	Kontaktdruck	Wischen vs. Pressen	Kontaktdauer
	Kontaktfläche	Zeit seit Kontamination	
Haut	Hautfeuchtigkeit	Hautzustand allgemein	Zu wenig Datenpunkte
	Sättigung		

4.3.4 Aggregierung von Transfereffizienzen

Aus der Ableitung der Einflussparameter folgt die Gruppierung der Datenpunkte zu aggregierten Transfereffizienzen. Dabei wurde der Fokus auf die Physikalität der Ergebnisse gelegt und Transfereffizienzen über $100\,\%$ ausgeschlossen. In zukünftigen Entwicklungen kann stattdessen auch der Einfluss einer Zensur auf maximal $100\,\%$ evaluiert werden.

Da nicht für alle Parametergruppen Messwerte vorliegen, wurde ein Standard-Wert basierend auf allen verfügbaren Messwerten eingeführt. Die Verwendung des 75. Perzentils ist dabei ein typischer Wert für realistische Worst-Case Annahmen.

Für die weitere Verwendung der aggregierten Transfereffizienzen muss die Massen- bzw. Flächen-Normierung berücksichtigt werden, da die beiden Definitionen zu unterschiedlichen Werten der Transfereffizienzen führen. Demnach sind modellierte Abschätzungen der oralen Exposition nur dann untereinander vergleichbar, wenn sie auf der gleichen Normierung der Transfereffizienz beruhen. Da aktuell für Flächen-normierte Transfereffizienzen mehr Daten für Chemikalien verfügbar sind, werden diese für die weiteren Betrachtungen herangezogen. Aufgrund der Verfügbarkeit der erforderlichen Daten lassen sich die Massen-normierten Daten nicht in Flächen-normierte Transfereffizienzen umrechnen.

4.3.5 Methodentriangulation: Interviews und Beobachtungen

Für eine umfassendere Perspektive auf die Entstehung von beruflicher oraler Exposition durch Transfer ist eine gemeinsame Betrachtung und Gegenüberstellung aller verfügbaren Informationen von Interesse. Neben den Ergebnissen zu Transfereffizienzen zählen dazu qualitative Hinweise aus Experteninterviews oder quantitative Informationen aus Beobachtungen. Deshalb erfolgt eine Methodentriangulation zur differenzierten Betrachtung des Eintrags durch Transfer. Die Massen- und Flächen-normierte Auswertung wird hier nicht unterschieden, da entsprechende Trends übereinstimmen.

Eine gemäß der Auswertung der Transfereffizienzen relevante Parametergruppe ist die Destination bezogen auf den Transferpfad. Besonders hohe Koeffizienten, die hier alle mit positivem Vorzeichen eingehen, beziehen sich auf „oral“, „perioral“ und „Lebensmittel“. Gemäß der Interviews spielt der Transfer in die orale und periorale Region eine wichtige Rolle für die Entstehung von oraler Exposition. Laut der Beobachtungen, in denen die periorale und orale Region zusammengefasst wurden, sind entsprechende Kontakte mit $6{,}0\,\mathrm{h}^{-1}$ als häufig zu betrachten. Demnach sind die orale und periorale Region sowohl wegen erhöhter Transfereffizienzen als auch aufgrund von Relevanz und Häufigkeit von Bedeutung bei der Entstehung von oraler Exposition. Die Destination „Lebensmittel“ wurde in den Interviews

als Hauptursache beschrieben. Essen am Arbeitsplatz konnte in den Laboren und Werkstätten jedoch nicht beobachtet werden. Entsprechendes Verhalten könnte außerhalb von Beobachtungen potenziell häufiger sein, da gemäß dem Hawthorne-Effekt während der Beobachtungen sozial erwünschtes Verhalten verstärkt wird. Folglich stellt die Kontamination und Verschleppung in Bezug auf Essen einen starken Einfluss dar, sofern diese stattfinden.

Der Start des Transferpfads verringert die errechneten Transfereffizienzen anhand von betragsmäßig teils hohen Koeffizienten. Einige der Startpunkte wurden in den Interviews als wichtig für die Beschreibung der oralen Exposition identifiziert (beispielsweise Hand-Mund Kontakte), was sich in entsprechenden Häufigkeiten in den Beobachtungen widerspiegelt. Folglich beeinflusst der Start eines Transferpfads die Entstehung der oralen Exposition sowohl durch eine Veränderung der Transfereffizienz, als auch durch entsprechende Kontakthäufigkeiten.

Zudem gehen die Stoffkategorien mit teils hohen Koeffizienten in die Beschreibung der Transfereffizienzen ein. Ein Vergleich mit Beobachtungen ist mangels Daten nicht möglich. In den Interviews wurde die Relevanz abhängig von Stoffen beschrieben, ohne dies näher zu charakterisieren. Die Stoffkategorie ist demnach eine mögliche Stoffeigenschaft, von der die orale Exposition abhängen kann.

In das Modell der Transfereffizienzen gehen zudem Kontaktarten und die Kontaktdauer ein. Da aus Interviews und Beobachtungen keine entsprechenden Informationen vorliegen, entfällt hier eine Gegenüberstellung.

4.4 Fazit

Durch die Anpassung eines linearen Modells an Transfereffizienzen aus systematischen Literaturrecherchen wurden die Stoffkategorie, der Start, die Destination, die Kontaktart und die Kontaktdauer als deren Einflussparameter identifiziert. Diese erklären die Varianz der Transfereffizienzen zu 40 % (Massen-normiert) bzw. 43 % (Flächen-normiert) und stimmen gut mit den in der Literatur genannten Parametern überein. Anhand der Einflussparameter wurden aggregierte Transfereffizienzen abgeleitet, welche in einem zu entwickelnden Modell für orale Exposition am Arbeitsplatz zugrunde gelegt werden können. Dies schafft die Voraussetzung für eine quantitative Beschreibung des Eintrags durch Transfer (Ziel ***Z3***). Aufgrund der aktuellen Datenlage werden für die Modellierung von oraler Exposition am Arbeitsplatz Flächen-normierte Transfereffizienzen herangezogen.

Kapitel 5

Modellentwicklung & -erprobung

Basierend auf einer systematischen Literaturrecherche wurden der Transfer von Chemikalien sowie der Eintrag durch Aerosole als Mechanismen von beruflicher oraler Exposition identifiziert. Weitergehende Informationen wurden anhand von zusätzlichen Literaturrecherchen sowie ergänzenden Datenerhebungen und Auswertungen gewonnen. Dazu zählen insbesondere qualitative und quantitative Informationen zu relevanten Verhaltensweisen und arbeitshygienischen Praktiken, die Identifikation von Einflussparametern des Transfers sowie die darauf basierende quantitative Beschreibung anhand aggregierter Transfereffizienzen.

Im Folgenden werden die erhobenen Informationen in einem Screening-Modell zur oralen Exposition am Arbeitsplatz verknüpft, welches den Transfer sowie den Eintrag durch Aerosole berücksichtigt. Weitere Entwicklungen des Modells umfassen die Bildung von Standard-Szenarien zur Modellnutzung sowie die Betrachtung von Ergebnisperzentilen. Eine Analyse des Modells erfolgt anhand einer exemplarischen Erprobung, einer Identifikation einflussreicher Modellparameter, sowie der Gegenüberstellung mit inhalativer und dermaler Exposition.

5.1 Abschätzung der beruflichen oralen Exposition

Als Mechanismen von oraler Exposition am Arbeitsplatz wurden der Transfer von Chemikalien sowie das Verschlucken von Aerosolen identifiziert. Beide Einträge lassen sich modular betrachten, sodass die Mechanismen im Folgenden getrennt quantitativ beschrieben werden.

5.1.1 Transfer von Chemikalien

Die Beschreibung des Transfers von Chemikalien muss verschiedene Umstände berücksichtigen. Zunächst kann der Transfer in den Mund entweder von anderen Hautregionen oder von Objekten ausgehen. Darüber hinaus liegt ein direkter Transfer vor, wenn ein unmittelbarer Kontakt zwischen exponierter Haut bzw. kontaminiertem Objekt und dem Mund

erfolgt. Bei einem indirekten Transfer liegt ein mehrstufiger Transferpfad vor, beispielsweise von Hand zu perioraler Region zu Mund.

Um diese Transferpfade quantitativ abzubilden, werden die relevante Startkontamination, die Kontakthäufigkeit der jeweiligen direkten oder indirekten Kontakte sowie die zugehörigen Transfereffizienzen einbezogen. Prinzipiell ergibt sich daraus die folgende Berechnung der transferierten Menge:

$$\textit{Transferierte Menge} = \textit{Startkontamination} \cdot \textit{Kontakthäufigkeit} \cdot \textit{Transfereffizienz} \quad (5.1)$$

Ausgehend von diesem Grundprinzip müssen einige Annahmen für die spezifische Berechnung getroffen werden:

1. Kontaktflächenanteil: Bei einem Kontakt zwischen beispielsweise Hand und Mund oder anderen am Transfer beteiligten Oberflächen wird nur ein gewisser Flächenanteil in Kontakt gebracht. Folglich wird auch nur ein Anteil der darauf vorliegenden Kontamination in den Transferprozess eingebracht. Für die Berechnungen wird dies anhand eines Kontaktflächenanteils berücksichtigt, der mithilfe einer Abschätzung festgelegt wird:

   Bei einer Berührung wird nur eine Seite der Hand und damit $50\,\%$ der Oberfläche in Kontakt gebracht. Auch wenn theoretisch ein Kontakt mit der vollständigen Handinnenseite oder Handaußenseite möglich ist, wird dies am Arbeitsplatz kaum auftreten. Stattdessen wird ein Kontakt mit einer Seite von circa zwei Fingern als realistisch angenommen. Gemäß der Ableitung in Abb. 5.1 entspricht diese Oberfläche circa $10\,\%$ der Handoberfläche.

   Werden Finger in den Mund eingebracht, liegt der Kontakt nicht nur einseitig vor. Dafür werden Finger üblicherweise nicht vollständig in den Mund eingeführt, sodass die Annahme von $10\,\%$ beibehalten wird.

   Die Abschätzung eines Kontaktflächenanteils von $10\,\%$ wird analog auf kleine, handhabbare Objekte übertragen. Für Arme, die eine deutlich größere Oberfläche aufweisen, wird der Kontaktflächenanteil auf $1\,\%$ pro Arm reduziert. Dies entspricht etwa der gleichen absoluten Kontaktfläche.

2. Abschätzung fehlender Expositions- und Kontaminationswerte: Die dermale Exposition von Armen und perioraler Region sowie die Kontamination von gehandhabten Objekten sind häufig nicht bekannt. Um diese dennoch in Bezug auf orale Exposition berücksichtigen zu können, werden sie abgeschätzt:

   Für die dermale Exposition von Armen sowie die Kontamination von Objekten wird die gleiche Beladung wie für Hände in $\mathrm{mg\,cm^{-2}}$ angenommen. Die Umrechnung in absolute Exposition erfolgt anhand der jeweiligen Oberfläche.

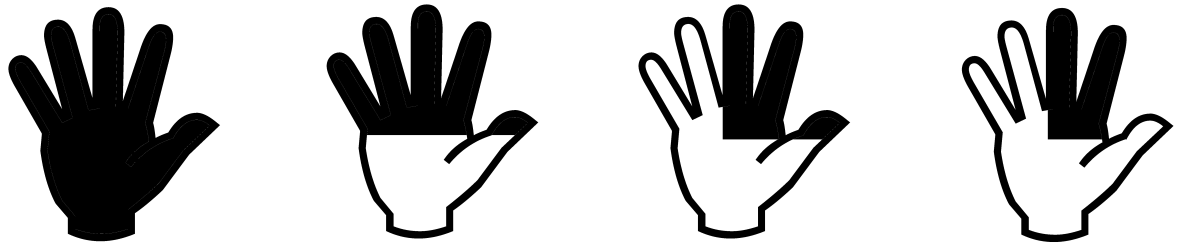


Abbildung 5.1: Kontaktflächenanteil am Beispiel einer Hand. Die Abschätzung startet ausgehend von einer Seite der Hand, die 50 % der gesamten Handoberfläche entspricht. Von links nach rechts entsprechen die eingefärbten Anteile 50 %, 25 %, 12,5 % sowie 10 % der Handoberfläche.

Für die periorale Region wird die dermale Exposition anhand des Transfers ausgehend von Händen, Armen und Objekten bestimmt. Darauf folgender Transfer von der perioralen Region in den Mund wird als 100 % angenommen. Dies berücksichtigt konservativ, dass die Kontakthäufigkeit zwischen perioraler Region und Mund (Lecken) nicht umfassend beobachtet werden kann.

3. Händewaschen während der Arbeit: Um zu beantworten, inwiefern das Händewaschen während der Arbeit zu berücksichtigen ist, erfolgt eine Abschätzung anhand der 75. Perzentile aus den Beobachtungen. Demnach werden die Hände circa alle zwei Stunden gewaschen. Das 75. Perzentil von Objekt-Hand Kontakten liegt gemäß der Beobachtungen bei 262 Kontakten/h. Laut Literatur stellt sich für Kontaminationen durch Kontakte ein Gleichgewicht ein, welches nach 7-100 Kontakten [37, 40, 90] erreicht wird. Für das genannte Maximum von 100 Kontakten dauert das Erreichen des Gleichgewichts der Kontamination demnach maximal 23 min. Das Gleichgewicht wird also deutlich schneller erreicht, als die Hände gewaschen werden. Die Schlussfolgerung lautet, dass eine Reduktion durch Händewaschen während der Arbeit nicht zu berücksichtigen ist. Das Händewaschen vor Pausen ist mit dieser Abschätzung explizit nicht gemeint.

4. Perzentil: Sowohl für die Quantifizierung der Verhaltensweisen und arbeitshygienischen Praktiken (kumulative Häufigkeitsverteilungen) als auch für die Transfereffizienzen (Aggregation von Werten) wird ein Perzentil für die Eingabe in das Modell genutzt. Da bei der Verwendung mehrerer Perzentil-basierter Eingaben in einem Modell ein durch die Kombinatorik höheres Ausgabe-Perzentil zu erwarten ist, wird das 75. Perzentil für beide Eingabeparameter gewählt. Diese Abhängigkeit und die Auswirkung auf das Perzentil des Berechnungsergebnisses wird in Abschnitt 5.3 evaluiert.

Für die Bestimmung der perioralen dermalen Exposition folgt demnach, sofern kein Messwert verfügbar ist:

$$\begin{aligned} dermal_{Perioral} = & dermal_{Hand} \cdot f_{Hand\text{-}Oral} \cdot TE_{Start\text{-}Haut,\ Dest\text{-}Haut} \cdot c_{Kontakt,\ klein} + \\ & dermal_{Arm} \cdot f_{Arm\text{-}Oral} \cdot TE_{Start\text{-}Haut,\ Dest\text{-}Haut} \cdot c_{Kontakt,\ groß} + \\ & Kontamination_{Obj} \cdot f_{Obj\text{-}Oral} \cdot TE_{Start\text{-}Obj,\ Dest\text{-}Haut} \cdot c_{Kontakt,\ klein} \end{aligned} \tag{5.2}$$

Dabei beschreibt *dermal* die jeweilige dermale Exposition der Hand, des Arms, sowie der perioralen Region in $\mathrm{mg\,h^{-1}}$. Die Variable *Kontamination* beschreibt die Kontamination von Objekten in $\mathrm{mg\,h^{-1}}$. *f* beschreibt die Kontakthäufigkeit für Hand-Mund, Arm-Mund und Objekt-Mund Kontakte für das betrachtete Zeitintervall von einer Stunde. *TE* gibt die Flächennormierte Transfereffizienz spezifisch für einen Transferpfad, also in Abhängigkeit von Start und Destination an. $c_{Kontakt,\ klein}$ bzw. $c_{Kontakt,\ groß}$ entsprechen dem spezifizierten Kontaktflächenanteil für kleine oder große Kontaktflächen wie Hände oder Arme.

Unter Berücksichtigung der Annahmen sowie unter Einbezug von Händen, Armen, perioraler Region und Objekten als beteiligte Oberflächen resultiert folgende Berechnung des Transfers von Chemikalien in den Mund:

$$\begin{aligned} Transfer = & dermal_{Hand} \cdot f_{Hand\text{-}Oral} \cdot TE_{Start\text{-}Haut,\ Dest\text{-}Oral} \cdot c_{Kontakt,\ klein} + \\ & dermal_{Arm} \cdot f_{Arm\text{-}Oral} \cdot TE_{Start\text{-}Haut,\ Dest\text{-}Oral} \cdot c_{Kontakt,\ groß} + \\ & Kontamination_{Obj} \cdot f_{Obj\text{-}Oral} \cdot TE_{Start\text{-}Obj,\ Dest\text{-}Oral} \cdot c_{Kontakt,\ klein} + \\ & dermal_{Perioral} \end{aligned} \tag{5.3}$$

Bei diesen Berechnungen wird demnach für direkte Kontakte zwischen Objekten und Mund die Kontamination von Objekten als Start berücksichtigt. Bei allen Kontakten, bei denen der Transferpfad die Haut einschließt, wird die dermale Exposition als Startpunkt gewählt, sodass ein Berechnungsschritt für den Transfer von Objekten zur Haut entfällt. Weiterhin kann durch die Verwendung von Messdaten die dermale Exposition durch Deposition oder direkten Kontakt mit Chemikalien, beispielsweise durch Spritzer, berücksichtigt werden. Gemäß der Annahmen zur Abschätzung fehlender Expositionswerte geht die periorale Exposition vollständig in die Berechnung der oralen Exposition ein und wird damit unmittelbar addiert.

Durch die Verwendung entsprechender Messdaten sowie die Berücksichtigung verschiedener Stoffkategorien bei den Transfereffizienzen lässt sich das Transfer-Modul des Modells für orale Exposition am Arbeitsplatz auf Flüssigkeiten, Feststoffe, Aerosole und Biostoffe anwenden.

5.1.2 Eintrag durch Aerosole

Zusätzlich zum Eintrag durch Transfer wurde in der systematischen Literaturrecherche das Verschlucken von Aerosol-Partikeln als mögliche Ursache von beruflicher oraler Exposition identifiziert. Als Vorbereitung zur quantitativen Beschreibung des Eintrags von Aerosolen zu oraler Exposition am Arbeitsplatz fasst Abb. 5.2 Ergebnisse der Literaturrecherche, weitere zu treffende Annahmen sowie Informationen zur Relevanz einzelner Mechanismen detailliert zusammen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Depositions- und Reinigungsprozesse im Atemtrakt extrem individuell und beispielsweise abhängig von der Atmung, der Geometrie des Atemtrakts, dem Zustand der Lunge oder körperlicher Aktivität sind [91, 92]. Dies stellt eine Herausforderung für die belastbare quantitative Beschreibung einiger Prozesse dar. Im Folgenden werden die in Abb. 5.2 dargestellten Schritte erläutert:

Für die Betrachtung von Aerosolen im Zusammenhang mit oraler Exposition lautet die erste getroffene Annahme, dass die Partikel unter den Bedingungen in der Lunge biopersistent sind. Diese Annahme bedeutet, dass keine Abbauprozesse der Partikel innerhalb der Lunge betrachtet werden müssen und ist daher konservativ in Bezug auf die Entstehung von oraler Exposition.

Werden Partikel eingeatmet stellt die erste Möglichkeit zum Ausscheiden ein Ausatmen der Partikel dar [91]. Dieses wird hier vernachlässigt, da die Menge im Rahmen dieser Arbeit nicht belastbar quantifiziert werden kann. Eingeatmete Partikel werden in Abhängigkeit von ihrem aerodynamischen Durchmesser deponiert. Dies geschieht entweder extrathorakal (ET) im Bereich der Nase, des Rachens oder des Kehlkopfs, tracheo-bronchial (TB) oder alveolar im Bereich der zilienfreien Bronchien (Al) [91].

Ausgehend von der Deposition der Partikel finden verschiedene Reinigungsmechanismen statt, welche unter dem Begriff „Clearance“ zusammengefasst werden. Für die extrathorakale Region stellen Nase putzen und Ausspucken Mechanismen dar, die Partikel aus dem Körper entfernen [91, 93]. Dabei sind die genauen Mengen jedoch stark individuell und ggf. sehr gering, sodass sie in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden können [93]. Ein weiterer Clearance-Mechanismus der extrathorakalen Region ist das Verschlucken, wodurch die Partikel in den Magen-Darm-Trakt transportiert werden [91, 93].

Aus dem Tracheo-Bronchialbaum werden Partikel durch Abhusten entfernt [91]. Auch diese Mengen sind individuell sowie hier nicht belastbar zu quantifizieren und werden daher nicht berücksichtigt. Die mukoziliäre Clearance entfernt Partikel aus dem hinteren Bereich der Nase und des Tracheo-Bronchialbaums und führt letztendlich zum Verschlucken [91, 93].

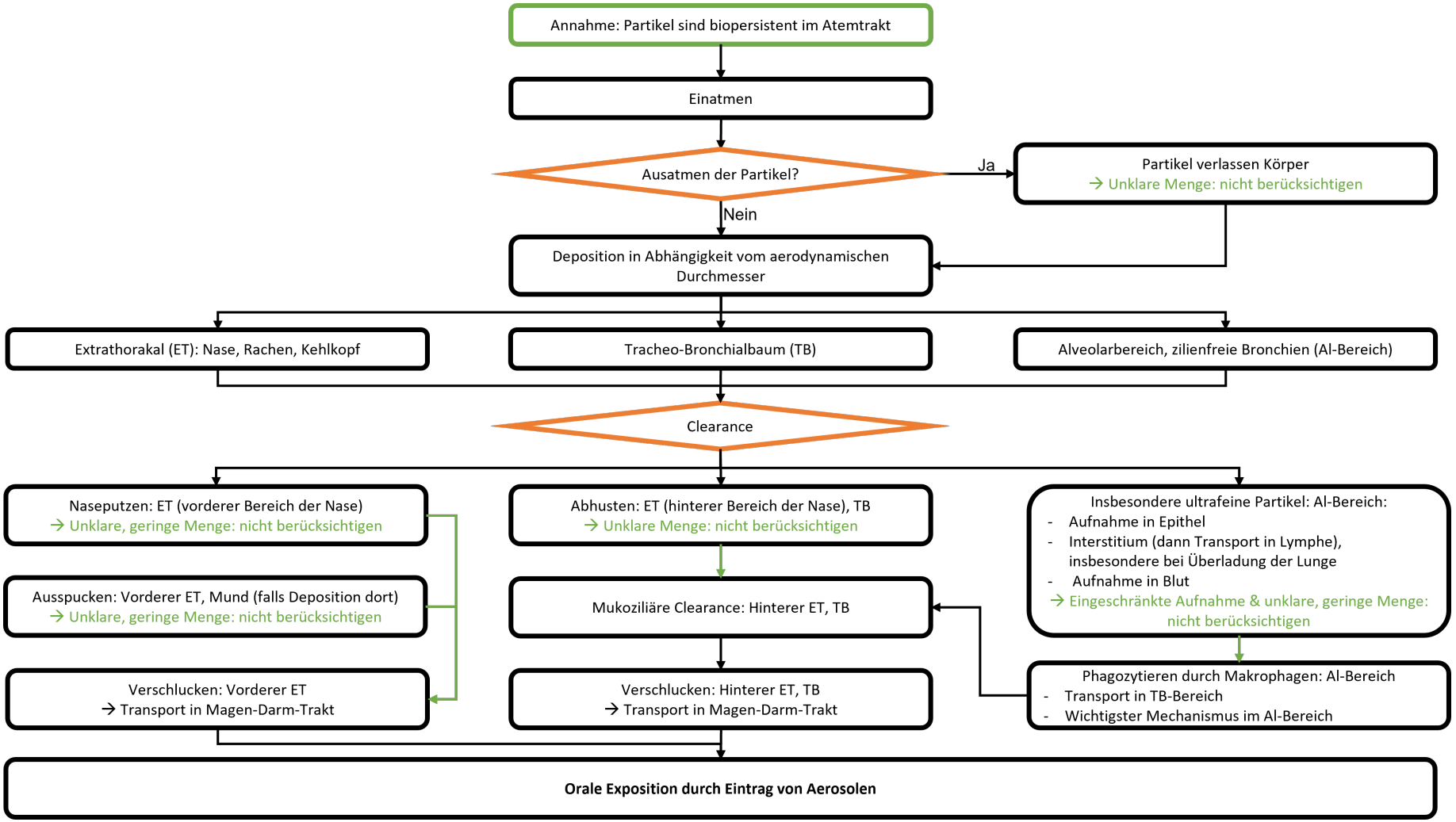


Abbildung 5.2: Dargestellt sind die wichtigsten Pfade von Aerosolen im Atemtrakt als Grundlage für die Berücksichtigung von Aerosolen in der Modellierung. Annahmen sind grün gefärbt und Entscheidungen orange.

Insbesondere ultrafeine Partikel werden im Alveolarbereich abgeschieden. Diese können ins Blut, Epithel oder Interstitium aufgenommen werden, was speziell bei einer Überladung der Lunge auftritt [91, 94, 95]. Weiterhin phagozytieren Makrophagen Partikel im Alveolarbereich und transportieren diese in den Tracheo-Bronchialbaum, wo sie durch die mukoziliäre Clearance entfernt werden [91]. Das Phagozytieren gilt als wichtigster Mechanismus für das Entfernen von Partikeln aus dem Alveolarbereich [94, 96], weshalb die verbleibenden Mechanismen vernachlässigt werden.

Somit gelangen Partikel aus der extrathorakalen Region, aus dem Tracheo-Bronchialbaum und aus dem Alveolarbereich in den Magen-Darm-Trakt. Die Verweilzeit der Partikel in den verschiedenen Regionen, bevor sie in den Magen-Darm-Trakt gelangen, ist jedoch sehr unterschiedlich. In der Literatur wird diese beispielsweise im Minuten- bis Stundenbereich für die extrathorakale Fraktion [93], über circa $24\,\mathrm{Stunden}$ für Partikel über $7\,\mu\mathrm{m}$ im Tracheo-Bronchialbaum [91], bis zu $700\,\mathrm{Tage}$ im Alveolarbereich [96] angegeben. Da die Partikel jedoch als biopersistent unter den Bedingungen der Lunge angenommen werden, tragen diese unabhängig von der Verweilzeit zur Entstehung von oraler Exposition am Arbeitsplatz bei. Wird eine gleichbleibende Aerosolbelastung der Beschäftigten angenommen, muss der Zeitverzug bei der Berechnung von oraler Exposition nicht berücksichtigt werden.

Aus dieser Aufschlüsselung folgt unter Einbezug der Annahmen, dass alle eingeatmeten Partikel zu oraler Exposition beitragen:

$$\textit{Aerosole} = \textit{Einatembare Fraktion} \tag{5.4}$$

Der Eintrag von Aerosolen lässt sich demnach im Rahmen eines Screening-Modells durch die einatembare Fraktion quantifizieren, zu welcher Messdaten verfügbar sind. Für die weiteren Berechnungen muss die Einheit, in welcher die einatembare Fraktion vorliegt, angepasst werden. Die gängig verwendete Angabe in $\mathrm{mg\,m^{-3}}$ lässt sich anhand des Atemvolumens von $1{,}25\,\mathrm{m^3\,h^{-1}}$ für Erwachsene in $\mathrm{mg\,h^{-1}}$ umrechnen [97].

5.1.3 Gesamtmodell

Die Berechnung der beruflichen oralen Exposition setzt sich unmittelbar aus den bereits quantitativ beschriebenen Einträgen durch Transfer und das Verschlucken von Aerosolen zusammen. Demnach gilt:

$$\textit{Orale Exposition} = \textit{Transfer} + \textit{Aerosole} \tag{5.5}$$

Basierend auf obigen Gleichungen erfolgt die Angabe der oralen Exposition in $\mathrm{mg\,h^{-1}}$. Der Bezug auf mg repräsentiert eine für verschiedene Szenarien lesbare Größenordnung, die

sich bei Bedarf unmittelbar umrechnen lässt. Die zeitliche Normierung erlaubt eine Vergleichbarkeit verschiedener Tätigkeiten sowie unter Einbezug der Tätigkeitsdauer die Umrechnung auf eine absolute Massenangabe.

Das entwickelte Modell wird im Folgenden mit dem Namen „**O**ccupational **M**odel for **O**ral **R**oute **E**xposure“ (OMORE) bezeichnet.

5.1.4 Vergleich: Abschätzung oraler Exposition für Verbrauchende

Neben der Entwicklung des Modells ist auch ein Vergleich mit anderen Modellierungsansätzen für orale Exposition von Interesse, wie sie teilweise für den Schutz von Verbrauchenden vorliegen. Exemplarisch erfolgt deshalb eine Gegenüberstellung mit dem oralen Modul aus ConsExpo, welches Aerosole, Einträge durch direkten Produktkontakt sowie Migration aus Verpackungen beinhaltet [20]. Gemäß der Gegenüberstellung in Tabelle 5.1 berücksichtigt nur das OMORE-Modell die einatembare Fraktion und damit, dass Partikel durch Clearance-Mechanismen die Lunge verlassen und in den Magen-Darm-Trakt gelangen können. Gemeinsam haben die Modelle, dass sie keine weiteren Senken wie beispielsweise Nase putzen einbeziehen. Hinsichtlich Transfer-basierter Einträge fokussiert ConsExpo auf die direkte Aufnahme durch Verschlucken von Produkten, die anhand einer Aufnahme mit konstanter Rate modelliert wird, sowie die Migration aus Produkten (Mouthing). Demgegenüber wird im OMORE-Modell der Fokus auf für Beschäftigte typisches Verhalten gelegt und beispielsweise Migration durch Mouthing nicht berücksichtigt. Darüber hinaus wird für die Beschreibung der Exposition am Arbeitsplatz eine differenzierte Beschreibung des Transfers anhand der dermalen Exposition, Kontakthäufigkeiten und Transfereffizienzen angestrebt. Die Migration aus Lebensmittelverpackungen stellt nicht den Anwendungsschwertpunkt des OMORE-Modells dar.

Folglich berücksichtigen sowohl ConsExpo als auch OMORE die in dieser Arbeit identifizierten Mechanismen von oraler Exposition anhand von Einträgen durch Transfer und Aerosole. Die konkrete Umsetzung ist an die jeweilige Population angepasst. Insbesondere werden in OMORE Aerosole, wie sie häufig an Arbeitsplätzen auftreten, umfassender einbezogen. Der Transfer lässt sich für Beschäftigte genauer beschreiben, als für Verbrauchende und im Besonderen Kinder in verschiedenen Altersgruppen. Demnach weisen die Modelle Ähnlichkeiten auf, sind jedoch auf die entsprechenden Zielgruppen spezialisiert.

Tabelle 5.1: Gegenüberstellung OMORE-Modell und ConsExpo.

ConsExpo	OMORE	Gegenüberstellung
Aerosol: Partikel zwischen 15 µm und 50 µm	Aerosol: Einatembare Fraktion	OMORE: Einbezug von Partikeln, die Lunge durch Clearance wieder verlassen
Direkter Produktkontakt: Direkte Aufnahme, Aufnahme mit konstanter Rate, Migration aus Produkten (Mouthing)	Transfer abhängig von Transfereffizienzen, Kontakthäufigkeiten, dermaler Exposition / Kontamination von Objekten	OMORE: Fokus auf typisches Verhalten Erwachsener → differenziert Eintrag durch Transfer im Gegensatz zu konstanter Aufnahme
Migration aus Lebensmittelverpackungen	/	OMORE: Aufgrund Zielsetzung keine Aufnahme über Lebensmittel

5.2 Entwicklung von Standard-Szenarien

Für die Berechnung der oralen Exposition werden gemäß der Gleichungen (5.3) bis (5.5) Daten zur einatembaren Fraktion sowie zur dermalen Exposition benötigt. Daher wurden Standard-Szenarien entwickelt, welche entsprechende Daten für Tätigkeiten mit Flüssigkeiten bereitstellen. Zudem wurden Szenarien passend zu den vorliegenden oralen Messdaten aus der entsprechenden systematischen Literaturrecherche abgeleitet, um diese in einer späteren Modellerprobung nutzen zu können. Zur Ableitung der Erprobungs-Szenarien wurden die vorliegenden Messdaten gemäß der beschriebenen Arbeitsbereiche gruppiert, da nicht alle zugrundeliegenden Studien konkrete Tätigkeiten beschreiben.

Die ungenauen Beschreibungen der Tätigkeiten müssen bei der Auswahl von passenden dermalen und inhalativen Daten berücksichtigt werden. Die generierten Standard-Szenarien wurden deshalb generisch angelegt und dazu Daten aus je nach Verfügbarkeit möglichst drei verschiedenen Studien zu dem beschriebenen Arbeitsbereich aggregiert. Dabei wurde das 75. Perzentil der verfügbaren Einzeldaten als konservativer Gesamtwert bestimmt, wobei Einzelwerte einfach und Mittelwerte bzw. Mediane gemäß der zugrundeliegenden Anzahl der Datenpunkte gewichtet in die Perzentilbestimmung eingehen.

Einige der entwickelten Szenarien adressieren die orale Exposition in Abhängigkeit spezifischer Konzentrationsbereiche. Studien zu ähnlichen Arbeitsbereichen, welche zur Vervollständigung der dermalen Eingabe-Parameter sowie der Aerosolbelastung herangezogen werden, beschreiben teils abweichende Konzentrationsbereiche. Demnach ist eine

konservative Umrechnung der Expositionswerte auf andere Konzentrationen erforderlich. Einige andere Expositionsmodelle kennen Ansätze basierend auf Expertenschätzungen wie beispielsweise im Targeted Risk Assessment des European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals (ECETOC TRA). An dieser Stelle wird die zu erwartende Exposition basierend auf Konzentrationsbändern mit festgelegten Faktoren reduziert [98]. Analoge Faktoren zur Konzentrationserhöhung liegen nicht vor. In dieser Arbeit müssen Konzentrationen aufgrund abweichender Wertebereiche zwischen dokumentierten Messdaten und Spezifikationen in Standard-Szenarien auch erhöht werden, wozu folgende Umrechnung definiert wird:

$$\textit{Umrechnungsfaktor} = \frac{c_{\textit{Ziel}}}{c_{\textit{Start}}} \cdot \left(1 + \frac{5}{c_{\textit{Min}}}\right) \tag{5.6}$$

c beschreibt die Start- und Zielkonzentration in $\%$. c_{Min} ist das jeweilige Minimum der vorliegenden Start- und Zielkonzentration. Der so berechnete Faktor enthält einerseits die lineare Umrechnung (c_{Ziel} / c_{Start}). Zudem enthält die Umrechnung einen konservativen Aufschlag in Abhängigkeit von der minimal betrachteten Konzentration. Durch einen entsprechenden Vergleich von linearer Umrechnung und Gleichung (5.6) wurde die Zahl 5 als sinnvolle Setzung zur Sicherstellung einer konservativen Anpassung ermittelt (Tabelle IV.1). Somit ist beispielsweise für einen Übertrag von $1\,\%$ auf $100\,\%$ die hier definierte Umrechnung sechsfach höher als eine rein lineare Anpassung.

Zukünftige Nutzende sollten die Anwendbarkeit der Standard-Szenarien evaluieren. Dabei sind beispielsweise die den Originalstudien zugrundeliegenden Messmethodiken sowie die Qualität und Anzahl der Datenpunkte zu berücksichtigen. Zu diesem Zweck sind die Originalstudien in der Dokumentation der Standard-Szenarien festgehalten, sodass die jeweiligen Nutzenden die für sie relevanten Informationen abrufen können. Die detaillierten Modelleingabeparameter und zugrundeliegenden Studien können Tabellen IV.2 bis IV.13 entnommen werden.

Insgesamt resultieren zwölf Szenarien:

1. Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen. Die Expositionsdaten beziehen sich auf Nickel und typische Tätigkeiten wie Pulvermischen oder Mahlen.

2. Arbeiten mit Antineoplastika: Die Daten wurden in Krankenhausapotheken und bei der Krankenpflege auf Stationen gesammelt. Die Expositionsdaten beziehen sich auf Antineoplastika.

3. Arbeiten mit geschmolzenen Metallen (Raffinerie, Produktion): Die Expositionsdaten beziehen sich auf Metalle wie zum Beispiel Nickel. Einbezogene Tätigkeiten sind beispielsweise das Betreiben des Ofens, die Handhabung von Legierungen oder das Kathodenheben.

4. Arbeiten mit Kühlschmierstoffen: Tätigkeiten umfassen die mechanische Bearbeitung von Objekten, beispielsweise durch bohren. Die Expositionsdaten beziehen sich auf Kühlschmierstoffe.

5. Beschichten von Metallen. Einbezogene Tätigkeiten sind das Lackieren, verchromen und verzinnen von Metallbauteilen wie zum Beispiel Motoren oder Rotoren. Die Expositionsdaten beziehen sich auf die aufgebrachten Metalle.

6. Einfüllen, sprühen von Pestiziden: Die Expositionsdaten stammen von verschiedenen Arbeitsplätzen, an denen Pflanzenschutzmittel oder Biozide gehandhabt werden und beziehen sich auf Wirkstoffe.

7. Hochdruckreinigen: Die Daten beschreiben die Hochdruckreinigung eines nahestehenden Objekts. Expositionswerte beziehen sich auf die verwendete Reinigungsflüssigkeit.

8. Oberflächensprühen von Flüssigkeiten: Das Szenarium beschreibt das Versprühen von Flüssigkeiten auf Oberflächen, beispielsweise das Ausbringen von Farben. Expositionsdaten beziehen sich auf die Menge der Gesamtfarbe.

9. Produzieren von Batterien: Zusammenfassung von Arbeiten, bei denen Metalle für die Batterieherstellung gehandhabt werden. Die Expositionsdaten beziehen sich auf Metalle wie zum Beispiel Blei oder Cadmium.

10. Reparieren von Metallbauteilen: Zusammenfassung von Arbeiten, bei denen Metallbauteile wie zum Beispiel Motoren repariert werden. Die Expositionsdaten beziehen sich auf Metalle wie zum Beispiel Blei oder Nickel.

11. Sortieren in Sägewerken: Die Exposition bezieht sich auf Harzsäuren.

12. Streichen (Rolle, Bürste): Streichen von Oberflächen, beispielsweise Wänden mit niedrig-viskosen Farben. Die Expositionsdaten beziehen sich auf die Menge der Gesamtfarbe.

Die berechneten Ergebnisse für alle Standard-Szenarien sind in Tabelle 5.2 aufgeführt. Die Berechnungen erfolgten für kurze Kontaktdauern sowie natürliche Kontakte (Kontaktart „Kontakt“, Kontaktdauer „kurz“). Darüber hinaus enthält die Tabelle die Einträge durch Transfer und Aerosole in $\mathrm{mg\,h^{-1}}$ und in $\%$.

Tabelle 5.2: Berechnungsergebnisse für Standard-Szenarien sowie anteiliger Beitrag von Transfer und Aerosolen zur oralen Exposition. Die Rundung der oralen Expositionsergebnisse entspricht dem in Abschnitt 5.4 beschriebenen Vorgehen.

Szenarium	**Transfer**		**Aerosol**		**Orale Exposition**
	[$\mathrm{mg\,h^{-1}}$**]**	**[%]**	**[**$\mathrm{mg\,h^{-1}}$**]**	**[%]**	**[**$\mathrm{mg\,h^{-1}}$**]**
Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen	0,2	28,5	0,5	71,5	<1
Arbeiten mit Antineoplastika	$2{,}3 \cdot 10^{-6}$	79,0	$6{,}3 \cdot 10^{-7}$	21,0	<1
Arbeiten mit geschmolzenen Metallen (Raffinerie, Produktion)	0,1	12,2	1,02	87,8	2
Arbeiten mit Kühlschmierstoffen	1,3	92,0	0,1	8,0	2
Beschichten von Metallen	0,06	55,3	0,05	44,7	<1
Einfüllen, sprühen von Pestiziden	0,0001	1,1	0,009	98,9	<1
Hochdruckreinigen	2718,9	32,5	5645,1	67,5	8364
Oberflächensprühen von Flüssigkeiten	213,2	86,7	32,7	13,3	246
Produzieren von Batterien	0,4	99,8	0,001	0,2	<1
Reparieren von Metallbauteilen	0,02	27,1	0,04	72,9	<1
Sortieren in Sägewerken	0,9	96,0	0,04	4,0	<1
Streichen (Rolle, Bürste)	948,0	99,8	1,8	0,2	950

Gemäß der Modellberechnung liegt die höchste orale Exposition mit $8364\,\mathrm{mg\,h^{-1}}$ beim Hochdruckreinigen vor. Diese entsteht zu circa $1/3$ aus Transfer und zu circa $2/3$ aus Aerosolen. Die geringste orale Exposition wird mit einem Wert von beinahe $0\,\mathrm{mg\,h^{-1}}$ für Arbeiten mit Antineoplastika berechnet, wobei diese auch in geringen Mengen Gesundheitsgefahren bergen können. Hierbei überwiegt der Eintrag durch Transfer.

Die maximalen Einträge durch Transfer sowie das Verschlucken von Aerosolen liegen bei $99{,}8\,\%$ bzw. $98{,}9\,\%$. Demnach können beide Mechanismen, abhängig vom Szenarium, jeweils die Entstehung von oraler Exposition am Arbeitsplatz prägen.

5.3 Perzentil der oralen Exposition

Die Ergebnisse für die Berechnung der oralen Exposition werden durch Eingabeparameter wie zum Beispiel Kontakthäufigkeiten oder Transfereffizienzen beeinflusst. Unklar ist dabei, welchem Perzentil der oralen Exposition das berechnete Ergebnis in Abhängigkeit von den Eingabeperzentilen entspricht.

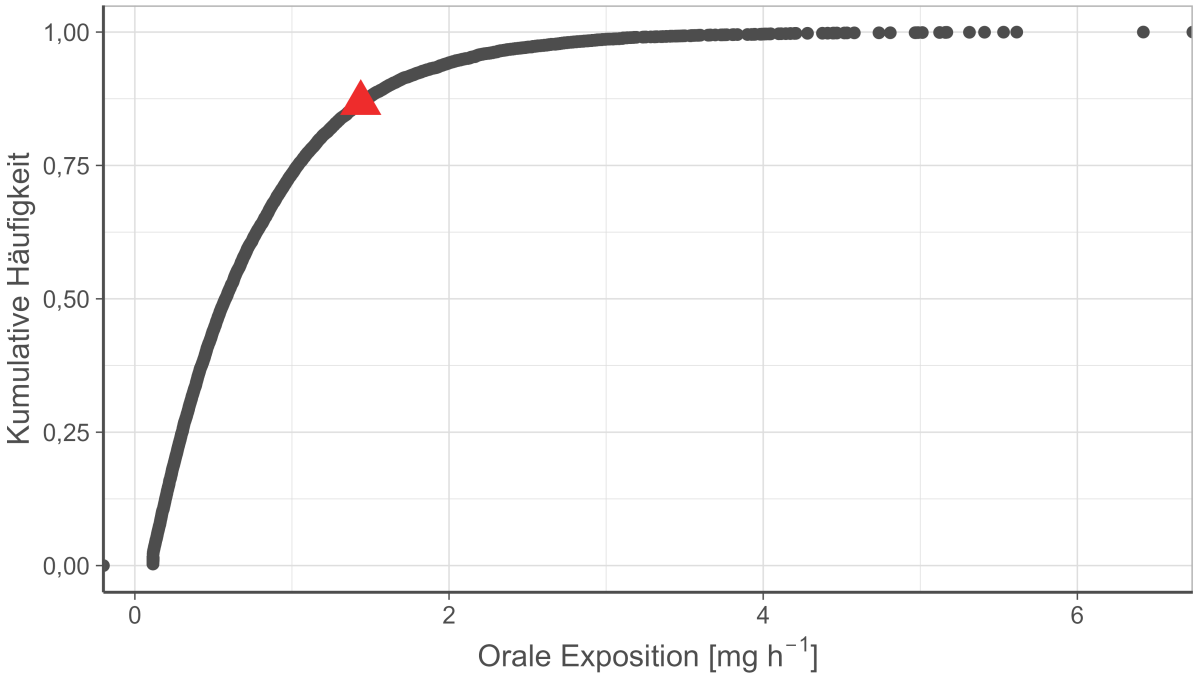


Abbildung 5.3: Monte Carlo-Simulation für das Standard-Szenarium „Arbeiten mit Kühlschmierstoffen“. Als rotes Dreieck eingetragen ist der unter Verwendung der gesetzten Eingabeparameter berechnete Wert der oralen Exposition.

Um die Konservativität des Modells exemplarisch für die Standard-Szenarien einzuschätzen, wurde eine Monte Carlo-Simulation durchgeführt, bei der die Einflussfaktoren „Verhalten“ und „Transfereffizienz“ variiert wurden. Hierfür wurden Kontakthäufigkeiten basierend auf der zugrundeliegenden Poisson-Verteilung beprobt Tabelle II.1. Die Transfereffizienzen wurden via Bootstrapping aus den vorliegenden Daten gezogen, da keine zugrundeliegende Verteilung bekannt ist. Für die Ermittlung der Variabilität sollten 1000-de Durchläufe der untersuchten Berechnung im Rahmen einer Monte Carlo-Simulation durchgeführt werden, um auch seltene Ereignisse zu berücksichtigen [99]. Um dieser Anforderung gerecht zu werden, wurden in dieser Arbeit deshalb pro Szenarium 10 000 Durchläufe ausgeführt. Nach Abschluss der Simulation kann der basierend auf dem 75. Perzentil von Kontakthäufigkeiten und Transfereffizienzen berechnete orale Expositionswert mit der erhaltenen Verteilung verglichen werden, um das vorliegende Perzentil zu bestimmen. Da der berechnete Wert auf einer Wertekombination beruht, welche auch in die Simulation eingeht, liegt dieser immer auf der Monte Carlo-Verteilung. Exemplarisch ist diese für das Standard-Szenarium „Arbeiten mit Kühlschmierstoffen“ in Abb. 5.3 aufgetragen. Die Berechnungen erfolgten anhand der Transfereffizienzen für kurze, natürliche Kontakte (Kontaktart „Kontakt“, Kontaktdauer „kurz“) für Flüssigkeiten. Das Modellergebnis entspricht dem 86. Perzentil.

Es zeigt sich, dass für die zwölf definierten Standard-Szenarien die berechneten Expositionswerte immer circa dem 80. Perzentil entsprechen. Das kleinste Perzentil wurde

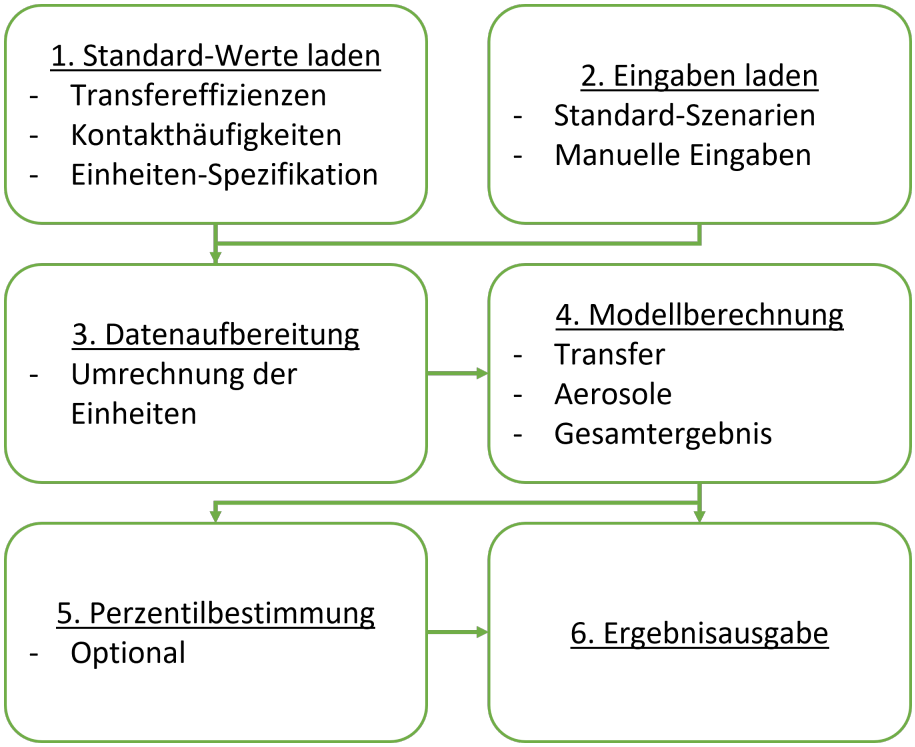


Abbildung 5.4: Struktur der Modellimplementierung anhand von sechs Modulen.

mit 78,7 % für Arbeiten mit Antineoplastika ermittelt. Das höchste Perzentil der Standard-Szenarien liegt mit 86,8 % für das Oberflächensprühen von Flüssigkeiten vor. Die genauen Werte können Tabelle IV.14 entnommen werden.

Analog zu Verhaltensweisen und Transfereffizienzen hängt die berechnete orale Exposition auch von den Eingaben der dermalen Exposition und Kontamination von Objekten ab. Neben der Abhängigkeit vom Szenarium unterscheiden sich die verfügbaren Eingaben hinsichtlich der verwendeten statistischen Kenngröße, beispielsweise Median, 75. Perzentil oder 90. Perzentil. Um diese Abhängigkeit für das vorliegende Modell zu untersuchen, wurden exemplarisch die dermalen Eingabeparameter, Transfereffizienzen und Kontakthäufigkeiten in einer weiteren Monte Carlo-Simulation variiert. Dazu wurde das Standard-Szenarium „Streichen (Rolle, Bürste)“ gewählt, da hierfür dermale Daten zwischen dem 10. und 90. Perzentil vorliegen [100]. Die Ergebnisse der oralen Exposition liegen dann zwischen dem 52. und 95. Perzentil. Die konkreten Perzentile können Tabelle IV.15 entnommen werden.

5.4 Modellstruktur & -implementierung

Das entwickelte Modell wurde inklusive der Perzentilbestimmung in R Programming implementiert [101]. Der R-Code ist in Anhang IV.3 verfügbar. Dazu wurden mehrere Module umgesetzt, welche in Abb. 5.4 dargestellt sind und im Folgenden erläutert werden.

1. Laden von Standard-Werten: Die Berechnung der oralen Exposition basiert auf quantitativen Informationen zu Verhaltensweisen sowie Transfereffizienzen. Zudem werden Spezifikationen zur Umrechnung von Einheiten, beispielsweise die Oberfläche der Hände, benötigt. Entsprechende Werte wurden in einem Excel-Template übersichtlich aufbereitet und werden im ersten Schritt durch das R-Skript geladen, sodass die Werte für die Berechnungen bereitstehen. Das Externalisieren dieser Standard-Werte bietet den Vorteil, dass diese zentral und einfach zugänglich vorliegen und bei Bedarf aktualisiert werden können.

2. Eingaben von Expositions- und Kontaminations-Daten: Neben Informationen zu Verhalten und Transfereffizienzen beruht die Berechnung der oralen Exposition auf dermalen Daten sowie Kontaminationen von Objekten und der einatembaren Fraktion. Zum einen können dazu die Werte der entwickelten Standard-Szenarien genutzt werden, welche ebenfalls in Excel-Templates aufbereitet vorliegen. Zum anderen erlaubt das Modell manuelle Eingaben durch Nutzende.

3. Datenaufbereitung: In der Datenaufbereitung werden die Eingaben automatisch in die während der Berechnung verwendete Einheit umgerechnet. An dieser Stelle werden die Umrechnungsfaktoren aus Punkt 1 genutzt.

4. Modellberechnung: Basierend auf den vorbereiteten Daten erfolgt die Berechnung der Einträge durch Transfer (Gleichung (5.3)) und Aerosole (Gleichung (5.4)) sowie die Berechnung der resultierenden oralen Exposition (Gleichung (5.5)).

5. Perzentilbestimmung: Optional wird basierend auf der berechneten oralen Exposition sowie der in Abschnitt 5.3 beschriebenen Vorgehensweise das Perzentil des Ergebnisses unter Variation von Transfereffizienzen und Kontakthäufigkeiten berechnet.

6. Ergebnisausgabe: Die orale Exposition, die zugehörigen Einträge durch Transfer und Aerosole sowie optional das Perzentil werden als Berechnungsergebnis ausgegeben.

Zur Qualitätssicherung wurden die einzelnen Module anhand sogenannter Unit Tests geprüft. Unter anderem wurden für die möglichen Einheiten-Umrechnungen manuell Beispiele berechnet und das Ergebnis automatisch mit dem Sollwert verglichen. Analog wurden Tests für alle weiteren Module und Berechnungen durchgeführt. Diese stehen als Implementierung zur Verfügung und können bei potenziellen Anpassungen des Modells zukünftig erneut zur Überprüfung der Implementierung genutzt werden.
Für eine anwendungsfreundliche Aufbereitung wurde eine Bedienoberfläche in R Shiny implementiert [102], welche in Abb. 5.5. dargestellt ist und die Punkte 1 bis 6 widerspiegelt. Zunächst kann entweder ein Standard-Szenarium ausgewählt oder ein neues Szenarium

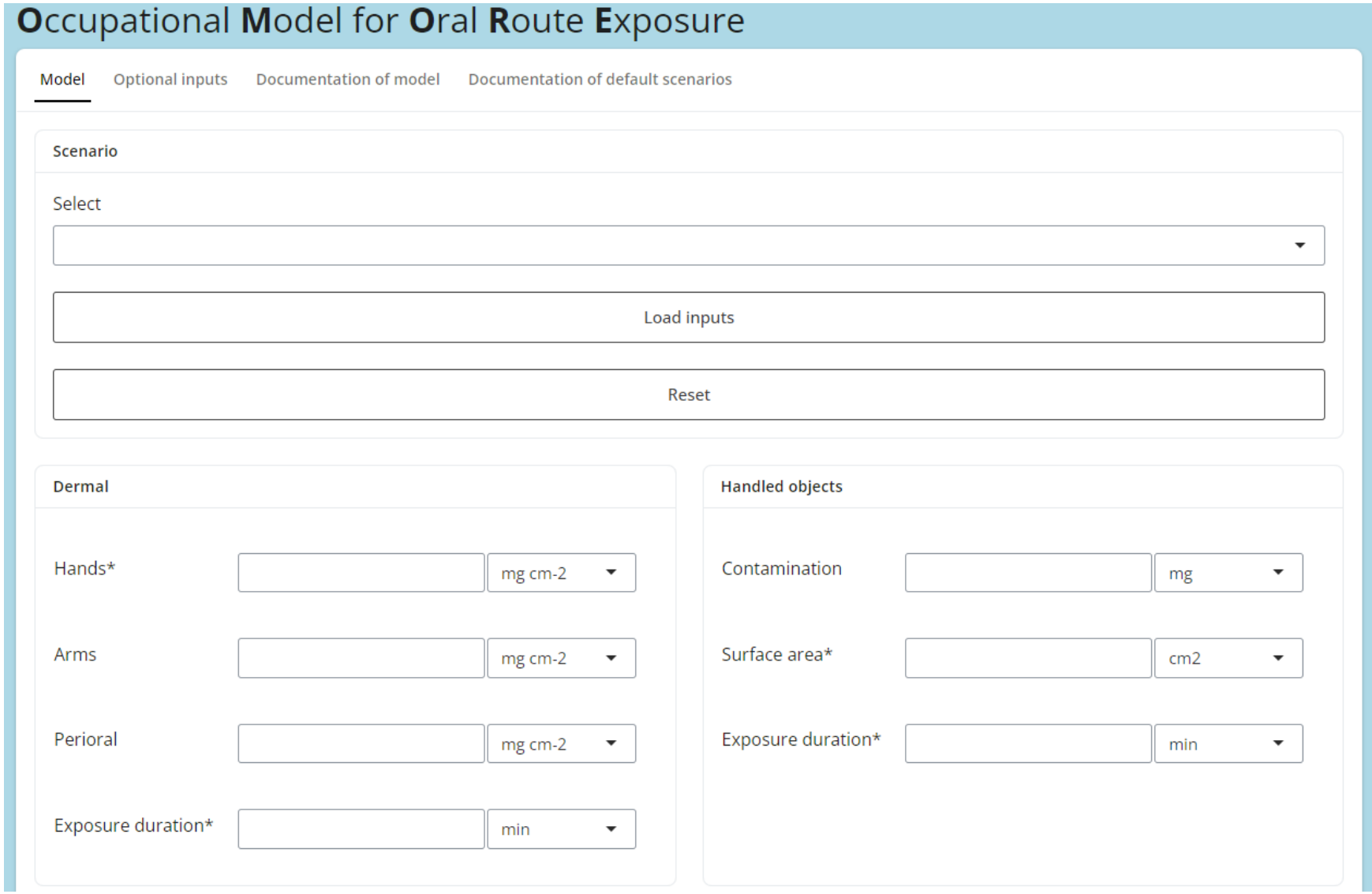
angelegt werden. Inputs können aus Szenarien geladen oder zurückgesetzt werden. In den folgenden Feldern werden geladene Inputs zur dermalen Exposition, zu kontaminierten Objekten sowie zu Aerosolen angezeigt bzw. durch Nutzende manuell festgelegt. Zusätzlich erforderliche Inputs beziehen sich auf die Auswahl der Transfereffizienz, wozu die Stoffkategorie, die Kontaktdauer und der Kontakttyp definiert wird. Für den Kontaktflächenanteil ist der Standard-Wert von 0,1 vorab eingetragen. Dieser lässt sich jedoch auch manuell auf den gewünschten Wert setzen.

In einem eigenen Reiter können Nutzende optional zusätzliche Angaben zu Transfereffizienzen und Kontakthäufigkeiten machen. Liegen hier keine spezifischen Werte vor, werden die hinterlegten Standard-Werte automatisch genutzt (Punkt 1).

Für die Berechnung kann ausgewählt werden, ob das Perzentil des Ergebnisses bestimmt wird. Ferner muss ein Name für das aktuelle Szenarium definiert werden, die Eingaben lassen sich speichern und die Berechnung kann gestartet werden.

Im Ergebnis-Feld werden die orale Exposition sowie die Anteile von Transfer und Aerosolen ausgegeben. Ggf. wird hier auch das bestimmte Perzentil angegeben. Die Ausgabe der oralen Exposition wird dabei auf ganze Zahlen in $\mathrm{mg\,h^{-1}}$ aufgerundet, um keine falsche Genauigkeit des Screening-Modells zu suggerieren. Die Einheit $\mathrm{mg\,h^{-1}}$ wurde gewählt, da dies der üblichen, mindestens vorliegenden Genauigkeit von Modelleingabeparametern wie zum Beispiel der dermalen Exposition entspricht. Einige Standard-Szenarien resultieren in oralen Expositionswerten deutlich unter der resultierenden Minimalangabe von $1\,\mathrm{mg\,h^{-1}}$, weshalb entsprechende Ergebnisse einheitlich mit $<1\,\mathrm{mg\,h^{-1}}$ ausgegeben werden.

Dokumentationen des Modells sowie der Standard-Szenarien sind in zusätzlichen Reitern verfügbar (Anhang IV.4).


Occupational Model for Oral Route Exposure
Model
Optional inputs
Documentation of model
Documentation of default scenarios
Scenario
Select
Load inputs
Reset
Dermal
Hands*
mg cm-2
Arms
mg cm-2
Perioral
mg cm-2
Exposure duration*
min
Handled objects
Contamination
mg
Surface area*
cm2
Exposure duration*
min

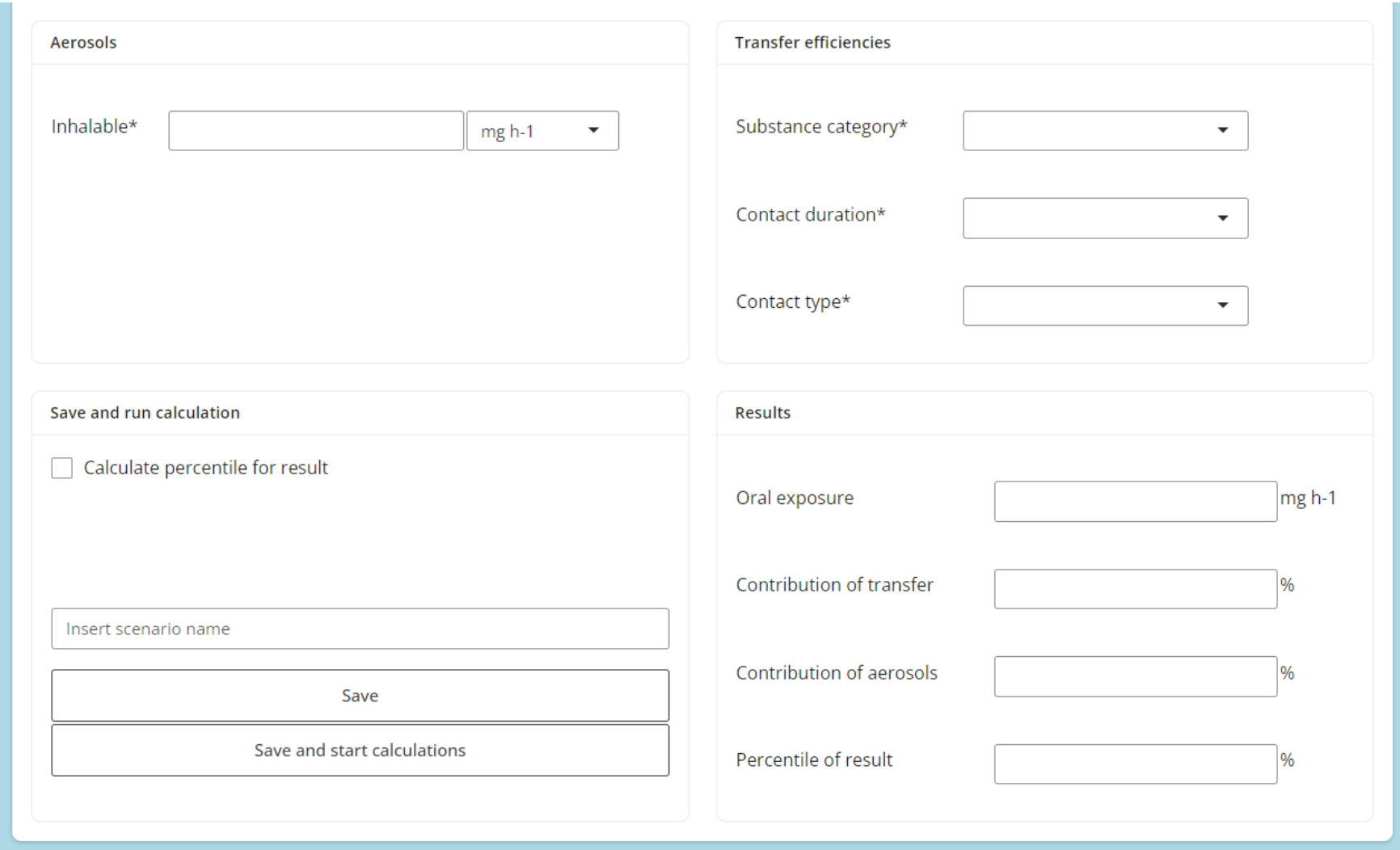


Abbildung 5.5: Oberer sowie unterer Teil der Ansicht der Bedienoberfläche des oralen Expositionsmodells. „*“ kennzeichnet notwendige Eingabeparameter.

5.5 Exemplarische Erprobung des Modells

Es ist gute wissenschaftliche Praxis ein Expositionsmodell vor dessen Einsatz anhand von geeigneten Messdaten zu erproben. Für die orale Exposition am Arbeitsplatz liegen einige wenige Messdaten aus der systematischen Literaturrecherche vor. Diese wurden nicht anhand standardisierter Probenahmemethoden erhoben. Die Messdaten sind als Einzelwerte, Minima, Mediane, arithmetische oder geometrische Mittelwerte, 10., 90. oder 95. Perzentile sowie als Maxima verfügbar. Bereits bei der Ableitung der Standard-Szenarien wurden die Daten zur Erprobung in Tätigkeits- oder ersatzweise Arbeitsplatz-spezifische Szenarien gruppiert und fehlende Modelleingabeparameter recherchiert. Für den Vergleich mit Modellergebnissen wurde je statistischer Kenngröße, Probenahmemethode und Szenarium das 75. Perzentil der Messdaten gebildet, wobei aggregierte Daten gemäß der Anzahl der zugrundeliegenden Einzelwerte gewichtet wurden. Darüber hinaus wurden Einzelwerte, arithmetische Mittel und Mediane unter der Annahme einer symmetrischen Verteilung zusammengefasst, um eine umfassendere Datenbasis für einen Vergleich zu generieren. Darauf basierend konnten die Modellberechnungen den Messwerten gegenübergestellt werden.

Abb. 5.6 enthält die logarithmische Auftragung von berechneten Daten gegenüber Messdaten (arithmetische Mittelwerte, Mediane, Einzelwerte). Die 1:1-Linie ist diagonal eingetragen. Für alle in Abb. 5.6 dargestellten Fälle überschreiten die Berechnungsergebnisse die Messwerte. Die Überschätzungen der Messwerte durch die Berechnungen liegen zwischen einem Faktor von zwei für Arbeiten mit Antineoplastika bis 3629 für Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen. Die Verhältnisse zwischen Modellberechnung und Messwert sind in Tabelle IV.16 aufgeführt.

Weitere Vergleiche für andere statistische Kenngrößen sind Abb. IV.1 bis IV.6 zu entnehmen. Für das Szenarium Hochdruckreinigen unterschreitet das berechnete Ergebnis den Messwert ab einem Vergleich dem 90. Perzentil (Tabelle IV.16).

Zusätzlich zum direkten Vergleich mit Messdaten ist eine Einschätzung der Konservativität eines Expositionsmodells von Interesse. Für die im Projekt „Evaluation of Tier 1 Exposure Assessment Models under REACH“ (ETEAM) durchgeführten Modellerprobungen wurden Maßstäbe für die Konservativität von Modellen definiert [103]. Eine hohe Konservativität liegt demnach vor, wenn weniger als $10\,\%$ der Modellberechnungen Messwerte unterschätzen. Eine mittlere Konservativität liegt für Unterschätzungen von $11\,\%$ bis $25\,\%$ der Werte vor, eine geringe Konservativität bei über $25\,\%$. Diese Kategorisierung wird in ETEAM sowohl auf Einzelmesswerte als auch auf aggregierte Daten angewandt. In der hier durchgeführten exemplarischen Erprobung liegen elf Messwerte für Mittelwerte, drei Messwerte für 90. Perzentile und elf Messwerte als Maxima vor. Alle elf Modellergebnisse

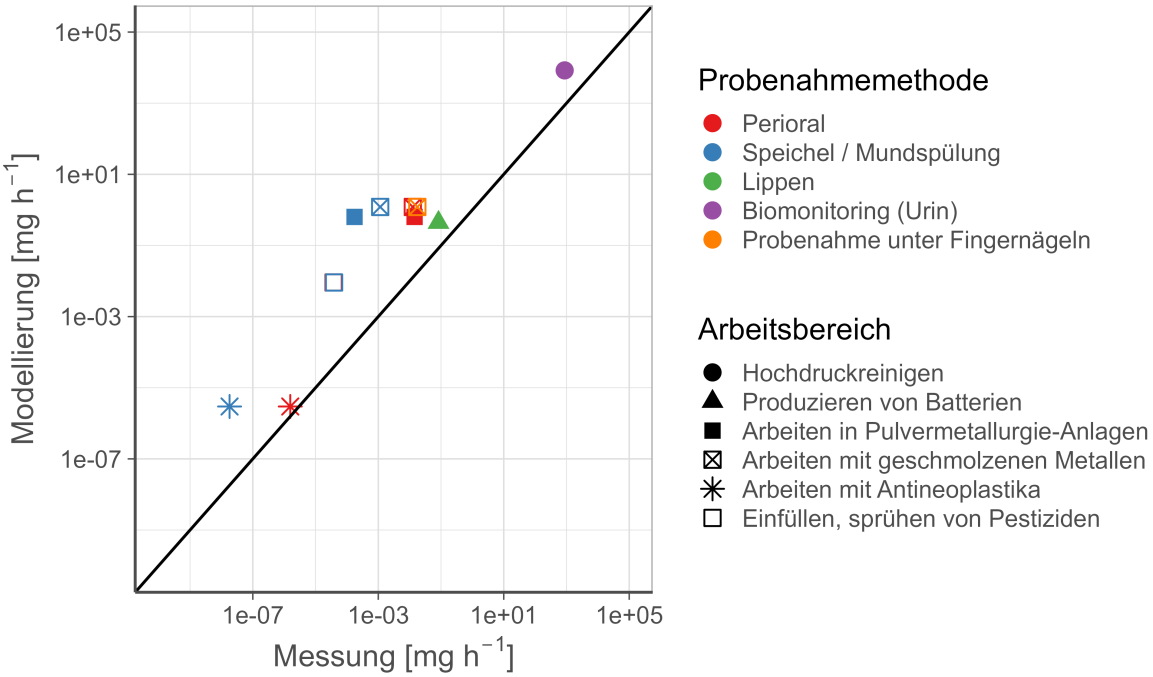


Abbildung 5.6: Gegenüberstellung von Modell- und Messergebnissen. Unterschieden werden Probenahmemethoden und Standard-Szenarien, für welche Messdaten vorliegen. Diagonal ist für einen einfacheren Vergleich die 1:1-Linie dargestellt. Beide Skalen sind logarithmisch.

überschätzen die Messwerte für Mittelwerte (hohe Konservativität), zwei der drei Modellwerte überschätzen die Messungen des 90. Perzentils (geringe Konservativität) und zehn der elf Werte überschätzen Maxima (hohe Konservativität). Insgesamt deuten die Vergleichsergebnisse exemplarisch auf die hohe Konservativität des entwickelten Modells hin.

5.6 Sensitivitätsanalyse

Nach Abschluss der exemplarischen Modellerprobung wurden Modellparameter ermittelt, welche das Zustandekommen der berechneten oralen Exposition am Arbeitsplatz besonders beeinflussen.

Zu diesem Zweck erfolgte eine singuläre Sensitivitätsanalyse [104], in der alle verwendeten Kontakthäufigkeiten und Transfereffizienzen einzeln variiert wurden. Für die Kontakte wurden dazu Häufigkeiten zwischen einem Kontakt pro Stunde und dem 95. Perzentil der zugrundeliegenden kumulativen Häufigkeitsverteilung iterativ eingesetzt. Die Limitierung auf das 95. Perzentil dient dazu, die Auswertung nicht durch in Einzelfällen beobachtete extrem hohe Kontakthäufigkeiten zu verzerren. Die Transfereffizienzen wurden iterativ zwischen 1 % und 100 % variiert. Die Schrittweite der Iteration betrug 0,01 bzw. 1 %, um durch eine hohe Anzahl an Datenpunkten eine qualitativ hochwertige Sensitivitätsanalyse zu gewährleisten.

Zunächst wurde die Sensitivität linear als Geradensteigung berechnet (Gleichung (5.7)), wobei *oE* die orale Exposition und *P* den variierten Modellparameter bezeichnen. Die Indizes 1 und 2 beziehen sich je auf niedrige und hohe Werte des Modellparameters und der zugehörigen oralen Exposition:

$$Sensitivität_{linear} = \frac{(oE_2 - oE_1)}{(P_2 - P_1)} \tag{5.7}$$

Diese Methode berücksichtigt ausschließlich den Eintrag des jeweiligen Modellparameters *P*, da die Differenzbildung der oralen Exposition alle weiteren Einflüsse des Szenariums eliminiert. Aus den Ergebnissen der linear berechneten Sensitivität lassen sich keine Tendenzen der variierten Parameter über die verschiedenen Szenarien ableiten (Abb. IV.7).

Alternativ wurde verglichen, wie stark sich die orale Exposition im Verhältnis zur Erhöhung der Modellparameter verändert (Gleichung (5.8)).

$$Sensitivität_{relativ} = \frac{oE_2 / oE_1}{P_2 / P_1} \tag{5.8}$$

Bei dieser Methode werden weitere Summanden der oralen Exposition implizit berücksichtigt. Dadurch kann nicht nur evaluiert werden, inwiefern ein Eingabeparameter die orale Exposition beeinflusst. Stattdessen wird zudem evaluiert, wie dieser Einfluss im Verhältnis zu den weiteren Summanden zu bewerten ist. Abb. 5.7 zeigt die Ergebnisse der relativen Sensitivität für alle Standard-Szenarien. Detaillierte Angaben zur Änderung der berechneten oralen Exposition in Abhängigkeit von der Variation der Eingabeparameter können Tabelle IV.17 entnommen werden. Die berechnete orale Exposition ist in Abb. IV.8 bis IV.19 in Abhängigkeit der variierten Eingabeparameter aufgetragen.

Aus dieser Sensitivitätsanalyse geht hervor, dass die Kontakthäufigkeiten für alle Szenarien stärker Einfluss auf das berechnete Ergebnis nehmen, als die Transfereffizienzen. In den meisten Standard-Szenarien stellt die Kontakthäufigkeit Arm-Oral gefolgt von den Kontakthäufigkeiten Hand-Oral oder Objekt-Oral den stärksten Einfluss dar. Die Standard-Szenarien Oberflächensprühen von Flüssigkeiten, Produzieren von Batterien und Sortieren in Sägewerken weichen davon ab. Für diese Szenarien stellen die Hand-Mund Kontakte in Abhängigkeit von den weiteren Eingabeparametern den einflussreichsten Modellparameter dar.

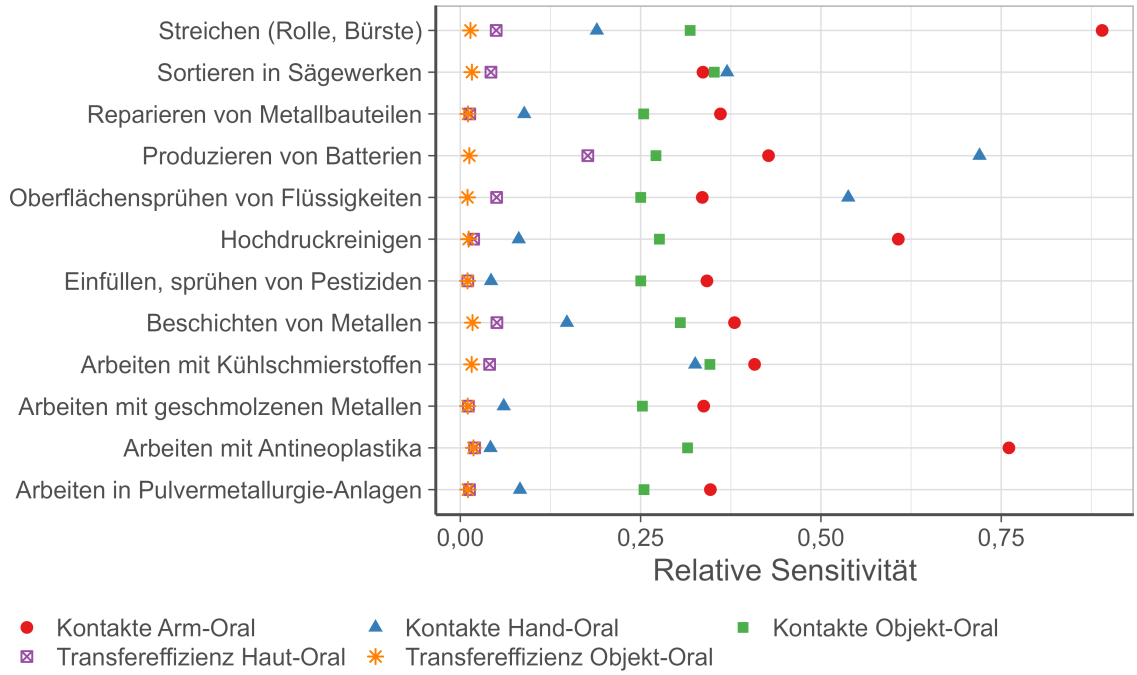


Abbildung 5.7: Die relative Sensitivität beschreibt das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse für alle Standard-Szenarien und variierten Modellparameter.

5.7 Gegenüberstellung der Expositionspfade

Ergänzend zur Identifikation einflussreicher Modellparameter trägt ein Vergleich mit dermaler und inhalativer Exposition zum Verständnis sowie zur Einordnung der Bedeutung von oraler Exposition am Arbeitsplatz bei. Deshalb wurden die jeweiligen Expositionshöhen für die Standard-Szenarien gegenübergestellt sowie die Variabilität der Expositionswege als potenziell zu berücksichtigender Faktor verglichen.

5.7.1 Vergleich von oraler mit dermaler und inhalativer Exposition

Zur weiteren Einordnung und für ein tieferes Verständnis der Einflüsse von dermaler und inhalativer auf orale Exposition erfolgt ein Vergleich der Expositionshöhen. Dieser Vergleich gibt Hinweise auf die Relevanz von oraler Exposition im Vergleich zu den anderen beiden Pfaden.

Deshalb wurden für die vorliegenden Standard-Szenarien die Verhältnisse aus dermaler und oraler sowie inhalativer und oraler Exposition gebildet (Tabelle 5.3). Für die dermale Exposition wurden die Hände für den Vergleich zugrunde gelegt, da diese am häufigsten für die dermale Bewertung herangezogen werden. Zudem ist die Exposition der Hände die einzige dermale Größe, welche immer als Messwert eingeht und somit durch das Modell in keinem Fall durch Annahmen abgeschätzt wird.

Tabelle 5.3: Vergleich der dermalen, inhalativen und oralen Exposition. Die dermale Exposition bezieht sich auf beide Hände, die inhalative Exposition auf die einatembare Fraktion und die orale Exposition auf die Modellberechnung. Die gebildeten Verhältnisse wurden aus ungerundeten Werten berechnet und ergeben sich damit nicht unmittelbar aus den dargestellten Ergebnissen.

Szenarium	**Dermal** [$mg\,h^{-1}$]	**Inhalativ** [$mg\,h^{-1}$]	**Oral** [$mg\,h^{-1}$]	**Dermal / Oral**	**Inhalativ / Oral**
Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen	0,5	0,5	0,6	0,71	0,72
Arbeiten mit Antineoplastika	$6{,}8 \cdot 10^{-8}$	$6{,}3 \cdot 10^{-7}$	$3{,}0 \cdot 10^{-6}$	0,02	0,21
Arbeiten mit geschmolzenen Metallen	0,4	1,1	1,2	0,35	0,88
Arbeiten mit Kühlschmierstoffen	9,5	0,1	1,4	6,61	0,08
Beschichten von Metallen	0,9	0,05	0,1	7,90	0,45
Einfüllen, sprühen von Pestiziden	0,001	0,009	0,01	0,11	0,99
Hochdruckreinigen	15 823,3	5645,1	8364,0	1,89	0,68
Oberflächensprühen von Flüssigkeiten	1962,4	32,7	245,9	7,98	0,13
Produzieren von Batterien	1,4	0,001	0,4	3,11	0,002
Reparieren von Metallbauteilen	0,05	0,04	0,06	0,78	0,73
Sortieren in Sägewerken	6,7	0,04	1,0	6,99	0,04
Streichen (Rolle, Bürste)	4579,8	1,9	945,0	4,82	0,002

Im Vergleich zeigt sich, dass die dermale Exposition sowohl über als auch unter der errechneten oralen Exposition liegen kann. Rechnerisch ist dies darauf zurückzuführen, dass die dermale Exposition linear in die Berechnung der oralen Exposition eingeht. Abhängig von der Höhe der weiteren dermalen Werte (Arme, perioral), dem Einfluss von Transfereffizienzen und Kontakthäufigkeiten sowie der Höhe der einatembaren Fraktion erklärt sich diese Variabilität. Die inhalative Exposition ist immer kleiner als die orale Exposition, da diese ohne weitere Faktoren als Summand in die Berechnung der oralen Exposition eingeht.

5.7.2 Variabilität von Exposition

Beim Vergleich von oraler beruflicher Exposition mit inhalativer und dermaler Exposition am Arbeitsplatz stellt sich zudem die Frage, inwiefern orale Exposition durch die unmittelbare

Abhängigkeit von persönlichem Verhalten einer anderen Variabilität unterliegt. Vorbereitend für einen ersten Vergleich wurde im Rahmen der systematischen Literaturrecherche die Variabilität zwischen und innerhalb von Beschäftigten für dermale und inhalative Exposition aufbereitet.

Für diese Expositionswege liegen Daten basierend auf ANOVA-Auswertungen sowie der Bestimmung von $R_{0,95}$ nach Rappaport vor, wobei die Methoden aufgrund ihrer zugrundeliegenden Definitionen keine untereinander vergleichbaren Ergebnisse liefern (Abschnitt 2.3.2). Der Fokus wurde hier aufgrund der häufigeren Verwendung auf Ergebnisse der ANOVA-Auswertungen gelegt. Diese unterscheiden Variabilität zwischen und innerhalb von Beschäftigen und berücksichtigen diese anhand zufälliger Effekte. Je nach Studiendesign werden zusätzliche feste oder zufällige Effekte einbezogen, die beispielsweise das Tragen von Handschuhen berücksichtigen. Unter der Annahme, dass relevante Einflüsse in den jeweiligen ANOVA-Modellen sinnvoll in den Studien berücksichtigt wurden, wird die resultierende Variabilität zwischen und innerhalb von Beschäftigten im Folgenden studienübergreifend verglichen.

Für orale Exposition am Arbeitsplatz liegen bislang nur wenige Messdaten vor. Umfangreichere Daten können anhand des entwickelten Modells generiert werden. Um darauf basierend jedoch die Variabilität zwischen und innerhalb von Beschäftigten zu unterscheiden, müsste diese Unterscheidung auch für die eingeflossenen Kontakthäufigkeiten vorgenommen werden. Da diese teilweise aus Literaturdaten stammen, welche entsprechende Zuordnungen nicht erlauben, ist eine Unterscheidung der Variabilität innerhalb und zwischen Beschäftigten anhand dessen nicht möglich. Stattdessen wurde als erste Abschätzung zusammenfassend die verhaltensbasierte Abhängigkeit der oralen Exposition nachgeahmt, indem in einer Monte Carlo-Simulation die Kontakthäufigkeiten variiert wurden. Die Variabilität wurde durch Berechnung der geometrischen Standardabweichung der Monte Carlo-Ergebnisse ermittelt.

Für die inhalative Exposition ergibt sich für das 75. Perzentil der Variabilität zwischen bzw. innerhalb von Beschäftigten ein Wert von 0,94 bzw. 1,15. Analog ergibt sich für die dermale Exposition eine Variabilität zwischen bzw. innerhalb von Beschäftigten von 4,57 bzw. 2,15. Die verhaltensbasierte Variabilität gemäß der Monte Carlo-Simulationen liegt für die Standard-Szenarien zwischen 1,01 und 3,01. Die einzelnen Werte sowie weitere Perzentile der Literaturdaten sind in Tabelle IV.18 dokumentiert.

Die Größenordnungen der Variabilität von oraler sowie dermaler und inhalativer Exposition unterscheiden sich nicht maßgeblich. Im Detail zeigt sich, dass die Variabilität der inhalativen Exposition etwas unter der von dermaler Exposition liegt. Dies bestätigt Ergebnisse einer früheren Studie, in der die Variabilität für dermale Exposition ebenfalls die der inhalativen Exposition übersteigt [105].

5.8 Diskussion

In den folgenden Abschnitten werden die methodische Herangehensweise und die erzielten Ergebnisse im Einzelnen diskutiert.

5.8.1 Abschätzung der beruflichen oralen Exposition

Für die Berechnung der beruflichen oralen Exposition werden die Beschreibung des Transfers von Chemikalien, der Eintrag durch Aerosole und die Entwicklung des Gesamtmodells jeweils analysiert.

Transfer von Chemikalien

Die erste getroffene Annahme bezieht sich auf den Kontaktflächenanteil der Hand bei einem Transferereignis. Dazu wurde grafisch ein Kontaktflächenanteil von $10\,\%$ abgeleitet, der einem Kontakt mit zwei Fingern von einer Seite entspricht. Dabei handelt es sich um eine fundierte Annahme, welche eine realistisch-konservative Abschätzung des Kontaktflächenanteils repräsentiert. Durch die Übertragung der Annahme auf kleine Objekte und Arme wurde die Ableitung konsistent auf weitere kontaktierende Flächen angewandt.

Die zweite Annahme zur Abschätzung fehlender Expositionswerte wurde getroffen, da unter realen Bedingungen nicht alle dermalen Expositionswerte für die Berechnung verfügbar sind. Insbesondere die perioralen dermale Exposition wird nur in wenigen Fällen, meist im Kontext von oraler Exposition, erhoben. Somit stellt die Abschätzung der perioralen Exposition anhand gesammelter Informationen zur Beschreibung des Transfers eine sinnvolle und zweckmäßige Vorgehensweise dar. Dabei wird implizit angenommen, dass periorale Exposition hauptsächlich durch Transferereignisse entsteht und dermale Exposition durch Deposition vernachlässigbar ist.

Im Zusammenhang des Transfers von der perioralen Region in den Mund steht die konservative Quantifizierung der Transfereffizienz mit $100\,\%$. Weitere Erhebungen zu entsprechenden Transfereffizienzen und Kontakthäufigkeiten bieten daher Potenzial für eine Präzisierung der Berechnungen.

Die Annahme einer gleichen Beladung von Armen und Händen zur Abschätzung der dermalen Exposition der Arme ist konservativ, wie Vergleichsmessungen zeigen [100]. Da sich bei der Handhabung von Objekten innerhalb weniger Kontakte zwischen Objekten und Händen ein Kontaminations-Gleichgewicht einstellt [37, 40, 90], ist die Annahme einer gleichen Beladung zur Abschätzung der Kontamination der Objekte realistisch.

Als Drittes wird festgelegt, dass Händewaschen während der Arbeit in das Modell rechnerisch nicht einbezogen wird. Bei der Interpretation ist es wichtig, dass dabei explizit nicht

das Händewaschen vor Pausen oder beim Wechsel in weniger kontaminierte Bereiche gemeint ist. Die Vermeidung von Verschleppungen in saubere Bereiche ist auch gemäß der Experteninterviews grundlegend zur Reduktion von oraler Exposition, jedoch nicht Fokus des entwickelten Modells.

Die vierte Annahme bezieht sich auf die Verteilungen der vorliegenden Transfereffizienzen sowie Kontakthäufigkeiten. Um diese zu berücksichtigen, fließen in das Modell von diesen Werten jeweils die 75. Perzentile ein. Diese Wahl stellt ein konservatives Maß dar, ohne den Fokus auf Worst-Case Betrachtungen zu legen (Abschnitt 5.8.3).

Weiterhin wird der Transfer durch das Modell ausgehend von exponierter Haut (Hand, Arm, perioral) beschrieben. Im Vergleich zur Beschreibung des Transfers von Oberflächen über die Haut zum Mund entfällt dadurch der erste Rechenschritt. Zudem gehen in die dermalen Messdaten neben dem Transfer weitere Mechanismen wie zum Beispiel Deposition ein, welche eine umfassendere Betrachtung des Folgetransfers erlauben. Somit reduziert die Transferbeschreibung ausgehend von der Haut die Fehleranfälligkeit. Eine Ausnahme stellen Objekt-Mund Kontakte dar, die keinen Zwischenschritt über die Haut der Beschäftigten beinhalten.

Analog wird kein Transfer von (Schutz-)Kleidung auf die Haut betrachtet, da die Haut selbst bereits als Startpunkt des Transfers gesetzt wird. Zum Transfer von Kleidung zu anderen Hautpartien, beispielsweise vom Ärmel in die periorale Region, sollten zukünftig Kontakthäufigkeiten und Transfereffizienzen erhoben werden. Darauf basierend kann der entsprechende Transfer quantifiziert und analysiert werden. Anschließend kann dieser ggf. dem Modell hinzugefügt werden.

Eintrag durch Aerosole

Eine grundlegende Herausforderung bei der Beschreibung des Eintrags von Aerosolen zur oralen Exposition ist, dass der Atemtrakt stark individuell und demnach auch das Wiederausscheiden von Partikeln aus dem Atemtrakt stark variabel ist. Hinzu kommt, dass einige Mechanismen teils nur geringe Anteile der Partikel ausscheiden [93]. Folglich können einige Mechanismen zum Ausscheiden von Partikeln nur schwer repräsentativ quantifiziert werden. Für die Ableitung eines konservativen Modells wurden daher in dieser Arbeit entsprechende Mechanismen nicht berücksichtigt, sodass deren Austrag stattdessen quantitativ der oralen Exposition zugerechnet wird.

Eine weitere grundlegende Annahme zu Aerosolen ist die Biopersistenz der Partikel in der Lunge. Diese Annahme trifft nicht auf alle am Arbeitsplatz auftretenden Partikel zu. Bei der Entwicklung eines möglichst einfach anwendbaren Screening-Modells lassen sich jedoch die jeweiligen Abbauprozesse der verschiedenen Partikel nicht fundiert widerspiegeln.

Die Annahme ist in Bezug auf orale Exposition konservativ, da in der Lunge biopersistente Partikel dort nicht abgebaut werden, bevor sie in den Magen-Darm-Trakt gelangen.

Die Verweilzeit der Partikel im Atemtrakt unterscheidet sich beispielsweise abhängig von der Partikelgröße und dem Ort der Deposition. Daraus resultiert, dass die Partikel unterschiedlich lange im Atemtrakt verbleiben, bevor sie in den Magen-Darm-Trakt gelangen. Da jedoch Biopersistenz unter den Bedingungen der Lunge angenommen wurde, werden die Stoff-bezogenen Eigenschaften der Partikel währenddessen nicht verändert. Die einatembare Fraktion kann demnach ohne Beachtung der Verweilzeit im Körper als Eintrag zur oralen Exposition herangezogen werden, wenn eine gleichbleibende Aerosolbelastung am Arbeitsplatz vorliegt. Diese Annahme entspricht nicht realen Bedingungen, wird jedoch vereinfachend in vielen inhalativen Expositionsmodellierungen getroffen. Unter dieser Annahme muss hier nicht unterschieden werden, ob Partikel eingeatmet und unmittelbar verschluckt werden oder ein gewisser, gleichbleibender Anteil erst nach einer gewissen Zeit in den Magen-Darm-Trakt gelangt.

Bei der Interpretation der auf Basis dieser Annahmen berechneten oralen Exposition muss berücksichtigt werden, dass die einatembare Fraktion hiermit sowohl der inhalativen Exposition als auch der oralen Exposition zugerechnet wird. Eine realitätsgetreue Zuordnung der Partikel zu inhalativer oder oraler Exposition setzt ein stoffspezifisches Verständnis der Clearance-Prozesse zum Abbau sowie Abtransport von Partikeln in der Lunge voraus. Von der resultierenden Verweilzeit der Aerosolpartikel in der Lunge sowie deren toxikologischen Wirkprofil hängt ab, wo sich eine schädliche Wirkung entfalten kann. Für ein orales Screening-Modell ist es jedoch eine konservative Herangehensweise, die vollständige einatembare Fraktion zu betrachten.

Ein weiterer Vorteil der Betrachtung der einatembaren Fraktion liegt darin, dass diese üblicherweise zur Bewertung der inhalativen Exposition gemessen wird und daher für verschiedene Tätigkeiten verfügbar ist. Zukünftig ist es sinnvoll, die getroffenen Annahmen kritisch zu prüfen und ggf. zu verfeinern. Um dabei die Modellanwendung praktikabel zu gestalten, wäre die Beschränkung von Modelleingabeparametern auf verbreitet verfügbare Größen wie zum Beispiel der einatembaren oder alveolengängigen Fraktion vorteilhaft.

Gesamtmodell

Die Struktur des Modells wird durch die modulare Betrachtung von Transfer und Aerosolen vereinfacht. Für die Anwendbarkeit des Modells ist es vorteilhaft, dass nur wenige Modelleingabeparameter zwingend benötigt werden. Sowohl die dermale Exposition der Hand als auch die einatembare Fraktion werden verbreitet gemessen und sind dadurch grundsätzlich verfügbar. Angaben zur Ermittlung der Transfereffizienz (Stoffkategorie, Kontaktdauer, Kontakttyp) können aus dem Zusammenhang der betrachteten Tätigkeit abgeleitet werden.

Da es sich um ein einfaches, konservatives Screening-Modell handeln soll, finden komplexere Einflüsse keine Berücksichtigung. Für weiterreichende Modelle wäre beispielsweise eine Unterscheidung von schweißtreibenden Arbeitsbedingungen und körperlich weniger fordernden Tätigkeiten denkbar. Unterschiede könnten in den Transfereffizienzen zu schweißnasser Haut, in erhöhten Kontakthäufigkeiten wegen Juckreiz durch herablaufenden Schweiß oder in einem direkten Eintrag durch herablaufenden Schweiß in den Mund liegen.

Vergleich: Abschätzung oraler Exposition für Verbrauchende

Ein Vergleich mit dem ConsExpo-Modell zeigt insbesondere hinsichtlich der einbezogenen Mechanismen Ähnlichkeiten in der Modellierung für Beschäftigte sowie Verbrauchende. Die konkreten Berechnungen variieren jedoch abhängig vom Schutzziel und spiegeln die in dieser Arbeit identifizierten Ansätze wider.

So wurden in Abschnitt 2.2.2 Modelle identifiziert, die wie ConsExpo auf konstanten Verschluckungsraten für die Abschätzung von oraler Exposition basieren. Aufgrund der unterschiedlichen Zielsetzung berücksichtigt ConsExpo im Gegensatz zum OMORE Mouthing, was in Abschnitt 2.4.2 als typischer Eintrag zur Exposition von Kindern identifiziert wurde. Demgegenüber wurde anhand der spezifischeren Zielgruppe der Beschäftigten in OMORE der Eintrag durch Transfer mittels Kontakthäufigkeiten und Transfereffizienzen spezifiziert.

5.8.2 Entwicklung von Standard-Szenarien

Für einen erleichterten Einstieg in die Modellierung von beruflicher oraler Exposition wurden Standard-Szenarien entwickelt, die Modelleingabeparameter für verbreitete Tätigkeiten bereitstellen sollen. Weitere Szenarien wurden entwickelt, um Eingabeparameter zur Modellerprobung vorzubereiten. Diese richten sich nach einer sehr begrenzten Anzahl an Studien mit Messdaten zu oraler Exposition am Arbeitsplatz. In diesen Studien werden jedoch häufig keine konkreten Tätigkeiten charakterisiert, sondern kontextuale Informationen der Messungen zusammenfassend beschrieben. Um dennoch differenzierte Standard-Szenarien bereitstellen zu können, wurden die Angaben in den Studien zu möglichst aussagekräftigen Arbeitsbereichen gruppiert, die wenige verschiedene Tätigkeiten enthalten. Darüber hinaus wird durch die Gruppierung die Datenlage je Szenarium verbessert. Zukünftige Messungen und darauf basierte Standard-Szenarien sollten jedoch einzelne Tätigkeiten differenziert betrachten.

Die entwickelten Szenarien spiegeln dabei einige der als (potenziell) relevant identifizierten Arbeitsbereiche gemäß Abschnitt 2.2.2 wider. Entsprechend der bisherigen Datenlage zu Messdaten für berufliche orale Exposition liegt der Schwerpunkt der Szenarien auf dem Bereich der Metallverarbeitung. Weitere Szenarien repräsentieren beispielsweise Arbeiten

in Innenräumen (Arbeiten mit Kühlschmierstoffen) oder sonstige industrielle Arbeitsbereiche (Sortieren in Sägewerken). Auch spezifische Tätigkeiten wie Arbeiten mit Antineoplastika oder das Streichen mit Rolle oder Bürste finden in den Szenarien exemplarisch Berücksichtigung.

Zur Vervollständigung der Eingabeparameter in den Standard-Szenarien war teils eine Umrechnung von Expositionswerten auf andere Konzentrationsbereiche erforderlich. Bisher verfügbare Umrechnungen sind nur für die Reduktion der betrachteten Konzentration konservativ und beruhen auf nicht nachvollziehbaren Setzungen und Expertenschätzungen. Die hier entwickelte Umrechnung (Gleichung (5.6)) ist sowohl für eine Reduktion als auch eine Erhöhung der betrachteten Konzentrationen anwendbar. Darüber hinaus skaliert die Umrechnung abhängig vom Verhältnis von Start- und Zielkonzentration, wodurch sie für größere Konzentrationsunterschiede konservativer wird. Sie enthält nur eine, für alle Konzentrationen identische Setzung, um eine möglichst gute Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten. Durch den Vergleich mit der linearen Umrechnung konnte ein überwiegend sinnvolles Maß an Konservativität festgestellt werden. Bei der Betrachtung von sehr kleinen Konzentrationen steigt die Konservativität stark an, sodass hier möglichst Daten mit geringen Konzentrationsabweichungen verwendet werden sollten.

Basierend auf den Standard-Szenarien lassen sich erste Berechnungen der oralen Exposition am Arbeitsplatz diskutieren (Tabelle 5.2):

Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen (Transfer 28,5 %, Aerosole 71,5 %)**:** Bei Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen lassen sich sowohl Einträge durch Transfer, beispielsweise durch Ablagerungen, als auch durch Aerosolbildung beim Umgang mit den Pulvern vermuten. Gemäß der Berechnungen überwiegt der Eintrag durch Aerosole.

Arbeiten mit Antineoplastika (Transfer 79,0 %, Aerosole 21,0 %)**:** Arbeiten mit Antineoplastika in Krankenhäusern sind manuell geprägt. Basierend auf den Interviews lassen sich hier sowohl Einträge durch Transfer als auch durch Aerosole erwarten. Die Berechnungen spiegeln dies mit einem Schwerpunkt auf Transfer wider. Die Interpretation dieser sehr kleinen oralen Expositionswerte ($3{,}0 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{mg\,h^{-1}}$) bedarf einer toxikologischen Betrachtung.

Arbeiten mit geschmolzenen Metallen (Transfer 12,2 %, Aerosole 87,8 %)**:** Im Umgang mit geschmolzenen Metallen lässt sich ein überwiegender Eintag durch Aerosole erwarten, insbesondere da die Metalle selbst nicht manuell gehandhabt werden können. Gemäß der Berechnungen liegt dennoch ein prozentual geringer Eintrag durch Transfer vor, der beispielsweise aus Niederschlägen der Aerosole und sonstigen Kontaminationen entstehen könnte.

Arbeiten mit Kühlschmierstoffen (Transfer 92,0 %, Aerosole 8,0 %)**:** Bei Arbeiten mit Kühlschmierstoffen lässt sich ein Eintrag durch Transfer erwarten, da häufig Bauteile manuell gehandhabt werden und bei der Verwendung von drehenden Arbeitsgeräten keine

Handschuhe getragen werden [106, 107]. Durch die (drehenden) Arbeitsgeräte werden zudem Aerosole der Kühlschmierstoffe freigesetzt [106, 108], die ebenfalls zu oraler Exposition beitragen. Gemäß der Berechnungen trägt der Eintrag durch Transfer deutlich stärker zur Entstehung von oraler Exposition am Arbeitsplatz bei.

Beschichten von Metallen (Transfer 55,3 %, Aerosole 44,7 %)**:** Abhängig von der Handhabung von Bauteilen und der Beschichtungstechnik können beim Beschichten von Metallen sowohl Transfer als auch Aerosole zu oraler Exposition beitragen [9, 109]. Dies spiegelt sich in den Berechnungsergebnissen wider.

Einfüllen, sprühen von Pestiziden (Transfer 1,1 %, Aerosole 98,9 %)**:** Beim Einfüllen und sprühen von Pestiziden lässt sich sowohl die Bildung von Aerosolen mit folgendem Eintrag zur oralen Exposition als auch ein Eintrag beispielsweise durch Kontakt mit besprühten Pflanzen oder kontaminierten Geräten und anschließenden Transfer in den Mund vermuten. Die Berechnungen zeigen einen Eintrag durch Transfer, welcher jedoch im Vergleich zu den Aerosolen sehr gering ausfällt. Dies spiegelt sich in den Modelleingabeparametern wider, in denen die dermalen Expositionsdaten deutlich geringer als in anderen Szenarien sind.

Hochdruckreinigen (Transfer 32,5 %, Aerosole 67,5 %)**:** Während der Hochdruckreinigung lässt sich sowohl ein Eintrag durch Transfer in Folge von starker dermaler Exposition als auch ein Eintrag durch Aerosole erwarten. Außerdem lässt sich ein im Vergleich zu anderen Szenarien höherer oraler Expositionswert vermuten, da durch den hohen Druck auch eine erhöhte dermale Exposition und Aerosolbildung vorliegen [110]. Alle Annahmen lassen sich durch die Berechnungen bestätigen.

Oberflächensprühen von Flüssigkeiten (Transfer 86,7 %, Aerosole 13,3 %)**:** Beim Oberflächensprühen von Flüssigkeiten entstehen Aerosole, welche einen dominierenden Eintrag zur oralen Exposition vermuten lassen. Gemäß der Berechnungen ist jedoch der Eintrag durch Transfer höher, was durch die multiplen Transferpfade erklärt werden könnte. Werden bei einer Tätigkeit nicht nur die Hände, sondern auch Arme und die periorale Region stark kontaminiert, führen diese gemäß der Berechnungen alle zu oraler Exposition. Je nach Verhältnis von Aerosolen und Transfer erfolgen unterschiedliche dominierende Einträge.

Produzieren von Batterien (Transfer 99,8 %, Aerosole 0,2 %)**:** In der Produktion von Batterien überwiegt gemäß der Modellberechnungen deutlich der Transfer. Einige der Herstellungsschritte in der Batterieproduktion sind von manuellen Tätigkeiten geprägt, bei denen Transfer besonders zu oraler Exposition führen könnte [111, 112]. Jedoch wird auch die Aerosolbildung beschrieben [113]. Diese hat folglich nur im Verhältnis zum Transfer-Eintrag eine geringere Relevanz für orale Exposition am Arbeitsplatz.

Reparieren von Metallbauteilen (Transfer 27,1 %, Aerosole 72,9 %)**:** Beim Reparieren

von Metallbauteilen entstehen je nach Tätigkeit Aerosole. Die Reparatur-Arbeiten sind jedoch auch stark manuell geprägt. Dass demnach sowohl ein Eintrag durch Transfer als auch durch Aerosole möglich ist, wird durch die Berechnungsergebnisse widergespiegelt.

Sortieren in Sägewerken (Transfer 96,0 %, Aerosole 4,0 %)**:** In Sägewerken liegen Harzsäuren als Bestandteil der Hölzer vor. Die beschriebenen Sortierarbeiten können von händischen Tätigkeiten geprägt sein [114], sodass ein Überwiegen des Transfers als Eintrag zu oraler Exposition plausibel ist.

Streichen (Rolle, Bürste) (Transfer 99,8 %, Aerosole 0,2 %)**:** Beim Streichen mit einer Rolle oder Bürste dominiert der Eintrag durch Transfer. Da beim Streichen im Vergleich zu anderen Ausbringungsmethoden weniger Aerosole entstehen, erscheint dieses Ergebnis nachvollziehbar.

5.8.3 Perzentil der oralen Exposition

Neben der Szenariums-basierten Interpretation der Berechnungen stellt das Perzentil der Ergebnisse abhängig von Variationen der Transfereffizienzen und Kontakthäufigkeiten einen weiteren Aspekt der Auswertung dar. Parameter, welche über Transfereffizienzen und Kontakthäufigkeiten hinaus das Ausgabeperzentil des entwickelten Modells beeinflussen, konnten aufgrund der eingeschränkten Datenlage nicht in die Perzentilbestimmung einfließen. Dazu zählen Werte der dermalen Exposition oder der einatembaren Fraktion. Dennoch stellen Transfereffizienzen und Kontakthäufigkeiten gemäß der zugrundeliegenden Gleichungen besonders relevante Parameter dar, sodass das berechnete Perzentil für die Standard-Szenarien einen fundierten Hinweis auf die Konservativität liefert.

Für die Standard-Szenarien liegen die Ergebnisse im Bereich des 80. Perzentils der im Rahmen der Monte Carlo-Simulation erzielten Ergebnisse. Demnach sind die exemplarisch berechneten Werte der oralen Exposition als sinnvoll konservativ einzuschätzen. Somit bestätigt dieses Ergebnis auch das Einsetzen der 75. Perzentile für Transfereffizienzen und Kontakthäufigkeiten.

Für das Szenarium „Streichen (Bürste, Rolle)“ konnten exemplarisch auch dermale Eingabedaten variiert werden. Für üblicherweise verwendete Eingaben ab dem 50. Perzentil werden für dieses Fallbeispiel konservative orale Werte erzielt. Dies stellt einen Vorteil für die praktische Verwendung des Modells dar, da aus der Literatur häufig nur einzelne aggregierte Werte verfügbar sind.

5.8.4 Modellstruktur & -implementierung

Die implementierte Bedienoberfläche erlaubt eine anwendungsfreundliche Nutzung des entwickelten Modells durch eine übersichtliche und strukturierte Eingabemaske. Die Anwendungsfreundlichkeit wird durch das Bereitstellen von Eingabeparametern für einige Standard-Szenarien unterstützt. Für schwer verfügbare Eingaben wie Transfereffizienzen oder Kontakthäufigkeiten sind Standardwerte hinterlegt, sodass Nutzende diese nicht bereitstellen müssen. Für Nutzende bleibt dabei die Flexibilität erhalten, da optional sowohl Transfereffizienzen als auch Kontakthäufigkeiten als manuelle Eingaben angepasst werden können. Der Einstieg in die Nutzung des entwickelten Modells wird durch kurze Dokumentationen des Modells sowie der Standard-Szenarien, die unmittelbar in die Bedienoberfläche eingebunden sind, unterstützt.

Darüber hinaus können Eingaben in verschiedenen, gängigen Einheiten gemacht werden. Durch die folgende automatische Umrechnung wird die Fehleranfälligkeit reduziert. Anhand der automatischen Unit Tests wurde zudem die Implementierung in R Programming qualitätsgesichert. Daran anknüpfend wurde die Wartbarkeit der Implementierung verbessert. Dazu erfolgte die Implementierung möglichst modular und Eingaben wie beispielsweise Transfereffizienzen wurden in einzelnen Dateien gespeichert, sodass zukünftige Aktualisierungen von Berechnungen oder Parametern strukturiert möglich sind.

Für die Implementierung ist zukünftig unter Einbezug entsprechender Expertise zu evaluieren, wodurch die Anwendungsfreundlichkeit weiterhin verbessert werden kann. Dadurch identifizierte Aspekte sowie Ergebnisse aus einem zukünftigen beta-Testing können in eine verbesserte Implementierung einbezogen werden.

5.8.5 Exemplarische Erprobung des Modells

Die Erprobung des Modells konnte aufgrund der stark eingeschränkten Verfügbarkeit von Messdaten für orale Exposition am Arbeitsplatz nur exemplarisch erfolgen. Um dennoch eine gewisse Datenmenge zu aggregieren, wurden arithmetische Mittel, Mediane und Einzelwerte unter der zweckdienlichen Annahme einer symmetrischen Verteilung zusammengefasst.

Trotz dieser Einschränkung liefert der Vergleich für die betrachteten Szenarien Hinweise auf die Konservativität des Modells. Da Screening-Modellen vereinfachende Annahmen zugrunde liegen, sollten diese die Messwerte möglichst überschätzen [115]. Bezogen auf den Vergleich mit den Messdaten ist dies überwiegend erfüllt. Folglich deuten die exemplarisch durchgeführten Vergleiche zwischen Modellergebnissen und Messwerten auf ein konservatives Modell hin.

Unterschätzungen liegen für das Szenarium „Hochdruckreinigen“ vor, wofür die Modellergebnisse die Messwerte unterschreiten, sobald mindestens das 90. Perzentil der

Messungen betrachtet wird. Aufgrund des Perzentils ist die messtechnische Beschreibung selbst allerdings konservativ, sodass keine eindeutige Interpretation hinsichtlich der Konservativität des Modells in Bezug auf diese Tätigkeit erfolgen kann.

Unter Anwendung der Kategorisierungen aus dem ETEAM-Projekt entsprechen die Ergebnisse dieser exemplarischen Erprobung einer hohen (Mittelwerte, Maxima) bzw. niedrigen (90. Perzentile) Konservativität. Die unterschiedliche Kategorisierung und die geringere Konservativität von 90. Perzentil-Werten im Vergleich zu Maxima verdeutlicht, dass es sich lediglich um eine exemplarische Erprobung handelt. Weitere Erprobungen mit deutlich mehr Datenpunkten sind erforderlich, um fundierter Rückschlüsse auf die Konservativität des entwickelten Modells zu ziehen. Dennoch erlauben die Vergleiche zwischen Modell und Messwerten eine erste exemplarische Einschätzung, die eine Weiterverfolgung der Erprobung sinnvoll erscheinen lässt.

Weiterhin lässt sich das Ausmaß der Überschätzung der Messwerte durch das Modell analysieren. Für viele Szenarien, beispielsweise Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen, Arbeiten mit geschmolzenen Metallen oder das Einfüllen und Sprühen von Pestiziden liegt die Überschätzung in Abhängigkeit von der Probenahmemethode bei ein bis zwei Größenordnungen. Dies deutet auf für ein Screening-Modell sinnvolles Maß an Überschätzung hin. Für einzelne Kombinationen von Szenarien und Probenahmemethoden liegt die Überschätzung aber auch innerhalb der gleichen Größenordnung (Arbeiten mit Antineoplastika), was für ein Screening-Modell eine geringe Überschätzung darstellt. Demgegenüber liegen auch Kombinationen von Probenahmemethode und Szenarium mit sehr hoher Überschätzung vor. Grundsätzlich sind auch für Screening-Modelle extreme Überschätzungen zu vermeiden, da weitreichende Schutzmaßnahmen und Belastungen der Beschäftigten resultieren können.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist für alle Ausmaße der Überschätzung weiterhin zu berücksichtigen, dass die Qualität der verfügbaren Messdaten nicht evaluiert werden kann. Bislang liegen kaum wissenschaftliche Erfahrungen zur messtechnischen Erhebung von oraler Exposition am Arbeitsplatz vor und standardisierte Probenahmemethoden sind nicht verfügbar. Die Belastbarkeit des hier durchgeführten Vergleichs hängt demnach auch von der Qualität der verfügbaren Messdaten ab, die zukünftig anhand zu entwickelnder standardisierter Probenahmemethoden sicherzustellen ist.

Zudem berücksichtigen nicht alle Probenahmen verschiedene Einträge der oralen Exposition. Methoden wie die Beprobung der dermalen Exposition betrachten beispielsweise nur die Einträge, welche nicht über einen direkten Transfer oder über eingeatmete Aerosole zu oraler Exposition führen.

Biomonitoring-Ansätze bieten abhängig von der Matrix sowie Einflüssen durch den Metabolismus das Potenzial, die Gesamtexposition eines Menschen gegenüber einer Substanz zu erfassen. Folglich kann Biomonitoring grundsätzlich sowohl Einträge zu beruflicher

oraler Exposition durch Transfer als auch Aerosole beschreiben. Jedoch beinhaltet eine Biomonitoring-basierte Erhebung auch Aufnahmen durch dermale oder inhalative Exposition, die sich je nach Stoffsystem und Methodik nicht zwangsläufig unterscheiden lassen. Für die in der Erprobung verwendeten Biomonitoring-Daten zu Urin gilt der Sonderfall, dass dermale Aufnahmen für das zugrundeliegende Stoffsystem (Cyanursäure) nicht berücksichtigt werden müssen [116].

Die Speichel-Messungen werden durch das Modell deutlich stärker überschätzt als Urin-Messungen. Dies könnte auf den Fluss von Speichel im Mund und dessen regelmäßiges Verschlucken zurückzuführen sein, wodurch eine einige Minuten zurückliegende orale Exposition schwerer zu erfassen ist [8].

Wischproben von den Lippen oder der perioralen Region beschreiben den Transfer, der indirekt über die entsprechenden Regionen zu oraler Exposition führt. Abhängig von der Höhe der Beiträge von Aerosolen in den jeweiligen Szenarien liegt die Überschätzung durch das Modell zwischen einem Faktor von zwei und 243. Für die Probenahme unter Fingernägeln liegt nur ein Wert für den Vergleich vor. Zu vermuten wäre, dass hier der noch ausstehende Transfer zu weiteren Unsicherheiten führt und Aerosole nicht berücksichtigt sind, sodass der Wert für die Modellerprobung schwer interpretierbar ist.

Die höchsten Übereinstimmungen zwischen Messungen (Mittelwerte) und Modellberechnungen liegen für folgende Probenahmemethoden bzw. Tätigkeiten vor (Tabelle IV.16): Wischproben der perioralen Region - Arbeiten mit Antineoplastika; Wischproben der Lippen - Produzieren von Batterien; Biomonitoring (Urin) - Hochdruckreinigen. Inwiefern diese Übereinstimmungen wie oben diskutiert auf die betrachtete Tätigkeit oder die angewendete Probenahmemethode zurückzuführen ist, lässt sich basierend auf den vorliegenden Daten nicht beantworten.

Da es sich bei dieser Analyse, wie die bisherige Diskussion zeigt, um eine exemplarische Erprobung handelt, besteht zukünftig der Bedarf weiterer Erprobungen des Modells. Dabei sollten verschiedene Tätigkeiten und Stoffgruppen systematisch evaluiert und Abhängigkeiten von Probenahmemethoden anhand von Einzelmesswerten berücksichtigt werden. Bis dahin deuten die bisherigen exemplarischen Erprobungen auf konservative Ergebnisse für die betrachteten Szenarien hin.

5.8.6 Sensitivitätsanalyse

Zur Identifikation einflussreicher Modellparameter wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Da das zugrundeliegende Modell zur beruflichen oralen Exposition mechanistisch gebildet wurde und definierten linearen Rechenvorschriften folgt, liegt der Fokus bei der Ergebnisinterpretation nicht auf einer Anpassung von Modellparametern selbst. Stattdessen zeigt die relative Sensitivitätsanalyse, dass Kontakthäufigkeiten das Zustandekommen von

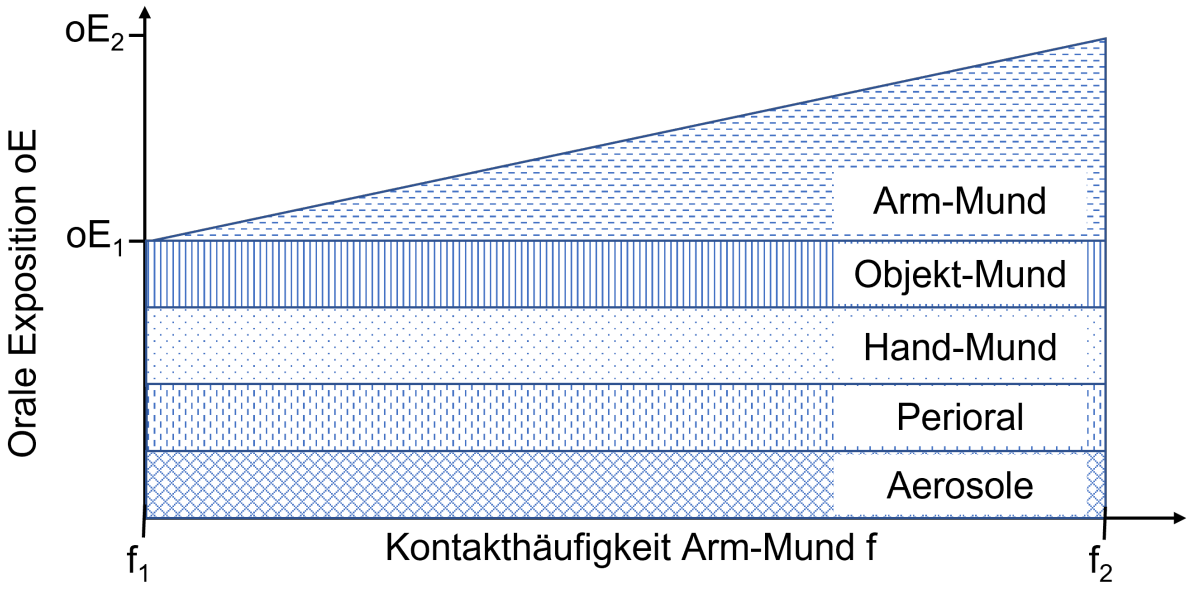


Abbildung 5.8: Interpretation der relativen Sensitivitätsanalyse. Dargestellt ist exemplarisch für Arm-Mund Kontakte, wie sich die Berechnungsergebnisse der Sensitivitätsanalyse abhängig von den Transfereinträgen sowie dem Eintrag durch Aerosole zusammensetzen.

oraler Exposition stärker beeinflussen als Transfereffizienzen. Folglich sollte zukünftig zunächst die Datenbasis der Kontakthäufigkeiten verbessert werden, um die Berechnung der oralen Exposition fundierter zu gestalten. Dabei sollten Beschäftigte in unterschiedlichen Arbeitsbereichen, Tätigkeiten und Arbeitsbedingungen berücksichtigt werden.

Ein wichtiger Unterschied zwischen linearer und relativer Sensitivität ist der Einbezug weiterer, Szenariums-spezifischer Einflüsse. Bei der linearen Sensitivität werden diese durch Differenzbildung ausgeschlossen. Abb. 5.8 visualisiert exemplarisch für Arm-Mund Kontakte, dass entsprechende Einflüsse wie zum Beispiel weitere Kontakte sowie Einträge durch Aerosole bei der relativen Sensitivität implizit einfließen. Da die relative Sensitivität, im Gegensatz zur linearen Sensitivität, wichtige Modelleingaben identifiziert, müssen Szenariums-spezifische Einflüsse in die Bewertung der Sensitivität des Modells eingehen. Folglich stellen die Kontakthäufigkeiten insbesondere auch unter Einbezug der weiteren Summanden, beispielsweise dem Eintrag durch Aerosole, einflussreiche Modellparameter dar. Welche konkrete Kontaktart am einflussreichsten ist, hängt demnach auch von weiteren Szenariums-spezifischen Eingaben ab.

5.8.7 Gegenüberstellung der Expositionspfade

Um die orale Exposition im Vergleich zu dermalen und inhalativen Aufnahmen einzuordnen, werden die Expositionshöhen sowie die Variabilität der Exposition vergleichend diskutiert.

Vergleich von oraler mit dermaler und inhalativer Exposition

Der Vergleich von oraler mit dermaler und inhalativer Exposition liefert wichtige Hinweise darauf, wann orale Exposition am Arbeitsplatz betrachtet werden sollte. Dies ist insbesondere deswegen relevant, weil berufliche orale Exposition bislang meist unter der Annahme guter Arbeitshygiene vernachlässigt und nicht quantitativ betrachtet wird [4]. Eine konkrete Identifikation von Tätigkeiten, an denen berufliche orale Exposition (nicht) berücksichtigt werden muss, ist auf Basis der bisherigen Erkenntnisse nicht möglich. Stattdessen zeigt die Abhängigkeit von dermaler und inhalativer Exposition, dass eine orale Aufnahme immer dann als potenziell relevant betrachtet und daher evaluiert werden muss, wenn mindestens entweder eine dermale oder inhalative Exposition eine Rolle spielen.

Für die Höhe der berechneten oralen Exposition lässt sich eine ähnliche Größenordnung wie für die zugrundeliegenden Werte der dermalen und inhalativen Exposition erwarten, da diese entsprechend in die Berechnung eingehen. Dies ist für die Modellergebnisse der Standard-Szenarien erfüllt. Die Interpretation aller Expositionshöhen in einer Risikobewertung setzt den Vergleich mit toxikologischen Grenzwerten voraus.

Insbesondere ist der Wert der berechneten oralen Exposition für einige Szenarien geringer als der eingegangene dermale Wert. Demnach ist die im Vergleich zu beispielsweise ConsExpo hier verfolgte differenzierte Betrachtung des Transferpfads und der Transfereffizienzen sinnvoll, um einen nicht zu konservativen Wert der oralen Exposition zu erzielen.

Variabilität von Exposition

Der Vergleich der Variabilität von dermaler und inhalativer Exposition einerseits und oraler Exposition andererseits dient der Abschätzung, inwiefern orale Exposition stärker von individuellem Verhalten geprägt ist. Davon hängt ab, ob hierfür zukünftig Strategien zur (modellbasierten) Berücksichtigung abgeleitet werden müssen. Da die Bewertung der Variabilität von Exposition üblicherweise anhand von Messdaten erfolgt, die für berufliche orale Exposition nicht umfassend vorliegen, ist die hier erfolgte Berechnung als erste Abschätzung zu verstehen. Sie dient einem Vergleich von Größenordnungen.

Aus methodischer Sicht wurden für den Vergleich die dermale und inhalative Variabilität aus verschiedenen ANOVA-Modellen aggregiert. Dies ist ein zielführendes Vorgehen und beruht auf der Annahme, dass die Modelle der jeweiligen Studien die Variabilität zwischen und innerhalb von Beschäftigten sinnvoll quantifizieren. Für die Beschreibung der verhaltensbasierten Variabilität von oraler Exposition wurde diese mithilfe einer Monte Carlo-Simulation ermittelt. An dieser Stelle können allerdings nur solche Verhaltensweisen berücksichtigt werden, welche in der vorliegenden Datenbasis zu Kontakthäufigkeiten repräsentiert sind.

Bei der Beschreibung von inhalativer und dermaler Variabilität anhand von Messdaten werden zudem die Variabilität zwischen und innerhalb von Beschäftigten unterschieden. Analog ist dies für orale Exposition bislang nicht möglich, da es eine Unterscheidung individueller Beschäftigter erfordert. Auf Basis der verfügbaren Kontaktdaten, insbesondere für die eingeflossenen Literaturdaten, ist dies nicht möglich. Methodisch wäre für eine differenziertere Vergleichbarkeit eine Aktualisierung der Ergebnisse sinnvoll, sobald genügend Messdaten für berufliche orale Exposition vorliegen. Dennoch beschreiben die Simulationsergebnisse verhaltensbasierte Variabilität, welche in dieser Arbeit als Zusammenfassung von Variabilität zwischen und innerhalb von Beschäftigten interpretiert wird.

Basierend auf den bisherigen Ergebnissen überschreitet die Größenordnung der Variabilität von oraler Exposition nicht die der inhalativen oder dermalen Exposition. Dies ist zunächst plausibel, da neben Kontakthäufigkeiten und Transfereffizienzen insbesondere dermale und inhalative Expositionsdaten in die Berechnung eingehen. Demnach ist nach aktuellem Stand keine weiterreichende Berücksichtigung möglich oder erforderlich. Sollten zukünftige Analysen anhand von Messdaten oraler Exposition dennoch einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Variabilität feststellen, könnte eine besonders umfassende Erhebung individueller Kontakthäufigkeiten für die zugrundeliegende Datenbasis erforderlich sein. Darüber hinaus wäre eine Analyse der Verteilfunktionen entsprechender Verhaltensweisen denkbar, um potenzielle Besonderheiten zu identifizieren, die berücksichtigt werden sollten.

Über den Vergleich der Expositionswege hinaus liegen für orale Exposition besonders kleine Werte der Variabilität unter 1,1 für Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen, Arbeiten mit geschmolzenen Metallen, dem Reparieren von Metallbauteilen sowie dem Einfüllen und Sprühen von Pestiziden vor. Eine Variabilität von 1,0 bedeutet, dass ein Ergebnis nicht vom geometrischen Mittelwert abweicht. Demnach lässt sich für diese Szenarien kaum Variabilität beobachten. Die betroffenen Szenarien sind von besonders hohen Einträgen durch Aerosole (mindestens 71 %) geprägt. Die orale Aufnahme von Aerosolen wird modellbasiert allerdings nicht durch individuelles Verhalten beeinflusst, was sich in der berechneten Variabilität widerspiegelt. Demgegenüber wird die höchste Variabilität für das Szenarium „Streichen (Rolle, Bürste)“ abgeschätzt. Gemäß der Modell-Berechnung der oralen Exposition liegt der Eintrag durch Transfer bei 99,8 %, welcher durch Verhaltensabhängigkeiten Potenzial für Variabilität bietet.

5.9 Weitere Entwicklungen basierend auf dem OMORE-Modell

Das entwickelte und analysierte Screening-Modell stellt die Grundlage für eine quantitative Betrachtung von oraler Exposition am Arbeitsplatz dar. Um darauf basierend zukünftig sinnvolle Betrachtungen der beruflichen oralen Exposition und den dahingehenden Schutz der Beschäftigten zu gewährleisten, müssen weitere Voraussetzungen geschaffen werden. Dazu zählt die nachhaltige Verfügbarkeit des entwickelten Modells, wozu neben einer wissenschaftlichen Dokumentation in Veröffentlichungen auch die Bereitstellung einer implementierten Version empfehlenswert ist. Eine Möglichkeit dazu stellt die MEMORA-Toolbox (Modulare Modellansätze zur Expositionsabschätzung für die Risikobewertung am Arbeitsplatz im Rahmen der Chemikaliensicherheit) der BAuA dar, welche sich gegenwärtig in Entwicklung befindet. Zukünftig wird die Toolbox verschiedene Modelle zur Exposition am Arbeitsplatz bereitstellen und den Fokus auf eine übersichtliche und anwendungsfreundliche Gestaltung legen [117]. Ein Einbezug des OMORE-Modells würde dessen Nutzbarkeit für Expositionsabschätzungen vereinfachen.

Für die Bewertung des Risikos, welches von oraler Exposition ausgeht, werden neben einer Methode zur Bestimmung der Expositionshöhe auch entsprechende Grenzwerte benötigt. Konkret wäre es deshalb empfehlenswert, dass die BAuA als Ressortforschungseinrichtung des Bundes in einem praxisorientierten Forschungsprojekt exemplarische Grenzwerte für orale Exposition am Arbeitsplatz ableitet. Toxikologische Herausforderungen sowie Lösungsansätze können darin dokumentiert und niederschwellig als Best-Practice-Beispiele verfügbar gemacht werden. Besonderes Augenmerk liegt auf der Vermeidung der Doppelberücksichtigung von inhalativer und oraler Exposition. Einen möglichen Startpunkt der Betrachtungen könnten orale „Derived No Effect Levels“ (DNELs) gemäß der REACH-Verordnung darstellen [3].

Darüber hinaus ist es empfehlenswert, weitere Erprobungen des Screening-Modells anzustreben. Dazu sollte die BAuA ausstehende Messergebnisse aus laufenden Projekten [118] sowie zusätzliche Messungen verschiedener Stoffe, Tätigkeiten und Expositionshöhen berücksichtigen. Daran anschließend können potenzielle Limitationen des Modells identifiziert, Verbesserungspotenziale abgeleitet oder Datenlagen, beispielsweise zu Verhaltensweisen Erwachsener, verbessert werden.

Neben diesen Weiterentwicklungen des Modells sollte aktiv eine Aufklärung und Sensibilisierung von Beschäftigten hinsichtlich beruflicher oraler Exposition erfolgen. Ein erstes Konzept und Materialien zur Sensibilisierung Beschäftigter entwickelte Schnieder [119]. Zur Sensibilisierung verwendete Materialien können zukünftig Modellierungsergebnisse einbeziehen, um die Relevanz des Expositionspfades zu unterstreichen. Dazu könnte die BAuA Schulungsmaterialien zum Download anbieten. Um die Relevanz des Expositionspfades

an geeigneten Stellen wie beispielsweise in technischen Regeln für Gefahrstoffe zu berücksichtigen, könnte die BAuA aktiv auf den Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) zugehen. Weiterhin wäre eine Kooperation mit Berufsgenossenschaften zu prüfen, um beispielsweise Materialien auszutauschen oder diese in Workshops zu informieren, sodass Berufsgenossenschaften anschließend als Multiplikatoren wirken können. Für die Sensibilisierung von Beschäftigten außerhalb Deutschlands könnte die BAuA Ergebnisse der Modellentwicklung in die REACH Exposure Expert Group (REEG) einbringen, in der sich europäische Expositionsexperten im Zusammenhang von REACH austauschen.

Basierend auf den Ergebnissen zur Relevanz oraler Exposition, welche durch die Modellierungsergebnisse der Standard-Szenarien gestützt werden, kann eine Diskussion angestoßen werden. Im einem Dialog mit der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) wäre die Formulierung der REACH Guidance R.14 ein Themenschwerpunkt, da dort bislang eine orale Exposition als ausreichend durch Arbeitshygiene adressiert angenommen wird [4]. Stattdessen stellt das entwickelte Screening-Modell zukünftig einen Beitrag zur Adressierung des Expositionspfads dar.

Über das Tätigkeitsfeld der BAuA hinaus bietet der Einbezug des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) und eine Auswertung des dortigen nationalen Vergiftungsregisters Potenzial. Dieses enthält auch orale Vergiftungen am Arbeitsplatz, welche durch Berufsgenossenschaften gemeldet werden. Bisherige stichprobenartige Auswertungen zeigen, dass besonders relevante Ursachen von beruflicher oraler Exposition anhand der vorliegenden Fälle identifiziert werden können [119], sodass zukünftig vertiefende Auswertungen denkbar sind. In einer weiteren Modellerprobung sollten diese Arbeitsbereiche besonders berücksichtigt werden.

Darüber hinaus könnte das Verständnis für orale Exposition erhöht werden, indem das BfR die Verbraucher-bezogene orale Exposition Erwachsener beleuchtet. Basierend auf einer Anpassung des Screening-Modells könnten so langfristig auch Doppelbelastungen bzw. aggregierte Expositionen einzelner Personen berücksichtigt werden.

Somit ergeben sich verschiedene Schwerpunkte und Voraussetzungen für die weitere Entwicklung und Verwendung des Modells, zu denen neben der eigentlichen Expositionsabschätzung beispielsweise auch die weitere Erprobung des Modells, die Ableitung von Grenzwerten, die Sensibilisierung von Beschäftigten oder das Führen politischer Diskurse zählen.

5.10 Fazit der Modellentwicklung

Der Transfer von Chemikalien sowie der Eintrag durch Aerosole wurden als identifizierte Mechanismen von oraler Exposition am Arbeitsplatz jeweils quantitativ beschrieben und in einem Gesamtmodell kombiniert (Ziel ***Z4***). Für den Transfer wurden hierzu die vorherigen Entwicklungen zu Kontakthäufigkeiten und Transfereffizienzen einbezogen. Für Aerosole wurde eine praktikable Vorgehensweise unter Einbezug gut verfügbarer Daten abgeleitet.
Durch die Entwicklung von Standard-Szenarien wurde sowohl die zukünftige Verwendung des Modells erleichtert als auch die exemplarische Erprobung ermöglicht. Die verfügbare Implementierung und die Bedienoberfläche erhöhen darüber hinaus die Anwendungsfreundlichkeit des Modells.
Die Ergebnisse der Standard-Szenarien entsprechen gemäß der Monte Carlo-Simulationen circa dem 80. Perzentil der oralen Exposition, was einen Hinweis auf die Konservativität des Modells liefert. Diese wurde durch den Vergleich mit verfügbaren Messdaten für berufliche orale Exposition weitergehend untersucht und exemplarisch bestätigt (Ziel ***Z5***). Aus der relativen Sensitivitätsanalyse geht hervor, dass Kontakthäufigkeiten die Modellberechnung der oralen Exposition am Arbeitsplatz stärker beeinflussen als Transfereffizienzen. Der Vergleich mit inhalativer und dermaler Exposition zeigt, dass orale Exposition am Arbeitsplatz immer dann betrachtet werden sollte, wenn mindestens entweder eine inhalative oder dermale Exposition relevant sind.
Neben der eigentlichen Expositionsmodellierung kann das Modell zukünftig beispielsweise in die Sensibilisierung von Beschäftigten oder politische Diskurse einbezogen werden. Voraussetzungen für die zukünftige Bewertung von beruflicher oraler Exposition stellen die Ableitung von oralen Arbeitsplatzgrenzwerten sowie eine umfassendere Modellerprobung dar.

Kapitel 6

Fazit und Ausblick

Orale Exposition am Arbeitsplatz wird bislang meist unter der Annahme einer guten Arbeitshygiene vernachlässigt. Verschiedene Studien, welche parallel die inhalative und dermale sowie die systemische Exposition erheben, liefern Hinweise auf die Relevanz von beruflicher oraler Exposition. Deshalb wurden in dieser Arbeit die Relevanz umfassend aufbereitet sowie Ursachen und Mechanismen qualitativ und quantitativ beschrieben. Das wichtigste Ziel dieser Arbeit bestand in der Entwicklung eines Screening-Modells als Beitrag zur Beschreibung von oraler Exposition am Arbeitsplatz. Der Fokus des Modells liegt auf einer einfachen, quantitativen Beschreibung der beruflichen oralen Exposition gegenüber Chemikalien inklusive Flüssigkeiten. Darüber hinaus war es das Ziel, das entwickelte Modell exemplarisch zu erproben und weitergehend zu analysieren.

Anhand der ausgewerteten Literatur wurde deutlich, dass orale Exposition am Arbeitsplatz relevant sein kann. Unter den in Publikationen beschriebenen Arbeitsbereichen werden Tätigkeiten in industriellen Umfeldern, in Innenräumen sowie an Recycling-Arbeitsplätzen am häufigsten als (potenziell) relevant charakterisiert. Eine analoge Identifikation relevanter Stoffe ist auf der bisherigen Datenbasis nicht möglich. Qualitative und quantitative Informationen zu relevanten Verhaltensweisen von Erwachsenen wurden aufbereitet, wobei die Informationslage für diese Altersgruppe im Vergleich zu Kindern stark eingeschränkt ist. Für Erwachsene wurden insbesondere Hand-Gesicht Kontakte in der Literatur hervorgehoben, da diese als teils unterbewusst oder unkontrolliert gelten und sich demnach nicht vollständig vermeiden lassen. Folglich müssen diese bei der Entstehung von oraler Exposition am Arbeitsplatz berücksichtigt werden. Als Mechanismen von oraler Exposition wurden der Transfer von Chemikalien sowie der Eintrag durch Aerosole identifiziert. Einflussparameter des Transfers stellen Umgebungsparameter (Temperatur, Luftfeuchtigkeit), Stoffeigenschaften, Start und Ziel des Transferpfads, Oberflächeneigenschaften, Kontaktcharakteristika sowie Hauteigenschaften dar. Der Eintrag durch Aerosole wird insbesondere durch den Pfad der Partikel im Atemtrakt beeinflusst. Die neun zur Modellerprobung identifizierten Studien beschreiben überwiegend die Exposition gegenüber Metallen, gefolgt von Szenarien zu Pestiziden.

Die in dieser Arbeit abgeleitete Definition von oraler Exposition gegenüber Chemikalien

am Arbeitsplatz beruht unmittelbar auf den gesammelten Informationen und identifizierten Mechanismen, weshalb orale Exposition als Summe der Einträge durch unbeabsichtigten und teils unterbewussten Transfer sowie durch Aerosole definiert wurde.

In Experteninterviews wurde ausgearbeitet, dass orale Exposition gemäß den Erfahrungen der Experten meist nicht betrachtet, jedoch überwiegend als relevant eingeschätzt wird. Als wichtige Ursachen für die Entstehung wurden mangelnde Arbeitshygiene oder Verhaltensweisen wie Kontakte zwischen Hand und Mund beschrieben. Weitere Ursachen sind Verschleppungen von Kontaminationen in nicht-kontaminierte Bereiche. Die Beobachtungen von Beschäftigten in Laboren und Werkstätten tragen grundlegend zur Quantifizierung von relevanten Verhaltensweisen und arbeitshygienischen Praktiken bei. Die Kombination mit den Literaturdaten sowie die Aufbereitung der Gesamtdaten als kumulative Häufigkeitsverteilungen erlaubt die Beschreibung der Verhaltensweisen im Modell. Die Identifikation potenzieller Einflüsse auf Kontakthäufigkeiten sowie die Einhaltung der Arbeitshygiene erfordert zusätzliche Datenerhebungen.

Der Transfer von Chemikalien wurde anhand einer umfassenden Auswertung dokumentierter Transfereffizienzen untersucht. Dabei wurden die Stoffkategorie, der Start sowie die Destination des Transferpfads, die Kontaktart sowie die Kontaktdauer als relevante Einflussparameter identifiziert. Für alle resultierenden Kombinationen der Parameter wurden Transfereffizienzen zu Standard-Werten aggregiert, welche als Grundlage für die Modellierung zur Verfügung stehen. Flächen-normierte Transfereffizienzen werden aufgrund einer besseren Datenlage für Chemikalien für die Modellierung von oraler Exposition verwendet.

In der Modellentwicklung wurden jeweils die Einträge durch Transfer sowie Aerosole quantitativ beschrieben und in einem Gesamtmodell verknüpft. Der Eintrag durch Transfer wird dabei grundlegend als Produkt aus dermaler Exposition bzw. Kontamination eines Objekts, der Kontakthäufigkeit sowie der jeweiligen Transfereffizienz berechnet und kann mehrschrittige Transferpfade umfassen. Der Eintrag durch Aerosole wird insbesondere unter der Annahme von Biopersistenz der Partikel in der Lunge sowie unter Vernachlässigung weiterer potenzieller Partikelsenken als einatembare Fraktion quantifiziert. Die getroffenen Annahmen sind konservativ hinsichtlich der Entstehung von oraler Exposition und führen daher zu einer Überschätzung des Eintrags durch Aerosole. Die entwickelten zwölf Standard-Szenarien dienen dem vereinfachten Einstieg in die Modellierung und als Grundlage der Modellerprobung. Die Berechnungsergebnisse für die Standard-Szenarien entsprechen im Vergleich zu Berechnungen mit variierten Transfereffizienzen und Kontakthäufigkeiten circa dem 80. Perzentil, was einen Hinweis auf die Konservativität des Modells liefert. Diese konnte außerdem durch einen Vergleich mit den verfügbaren Messdaten exemplarisch aufgezeigt werden. Ausgehend vom abgeleiteten Modell wurde eine Bedienoberfläche entwickelt. In Kombination mit der modularen Struktur der Modellimplementierung wurde so die Anwendungsfreundlichkeit des entwickelten Modells erhöht.

Zukünftig bietet eine Verbesserung der im Modell berücksichtigten Daten das Potenzial, um das entwickelte Screening-Modell und damit die Quantifizierung von beruflicher oraler Exposition weiterzuentwickeln. Basierend auf der hier durchgeführten Identifikation einflussreicher Modellparameter wäre dazu auf Ebene eines Screening-Modells zuerst die Erhebung weiterer Kontakthäufigkeiten und Verhaltensweisen Erwachsener ein effektiver Ansatzpunkt. Dabei sollten insbesondere auch bisher nicht quantifizierte Verhaltensweisen wie Kontakte zwischen perioraler und oraler Region sowie zwischen Kleidung und perioraler Region berücksichtigt werden. Weiterhin kann die Beschreibung des Transfers durch ergänzende Erhebungen von Transfereffizienzen präzisiert werden. Schwerpunkte sollten dabei Transfereffizienzen für bislang nicht berücksichtigte Kontaktarten sowie für Kombinationen von Einflussparametern darstellen, für die bisher Standard-Werte verwendet werden.

Sollte zukünftig die Entwicklung eines weniger konservativen Modells verfolgt werden, könnte darin ergänzend zu einer präziseren Beschreibung der Verhaltensweisen eine differenziertere Betrachtung des Transfers erfolgen. Beispielsweise könnten die in Experteninterviews benannten körperlich anstrengenden sowie warmen Arbeitsbedingungen Berücksichtigung finden, da diese den Eintrag durch Transfer in Form von herablaufenden Schweiß in den Mundbereich beeinflussen. Zur Quantifizierung des Eintrags durch Aerosole wurden in diesem Modell grundlegende Annahmen getroffen. Zukünftig ist unter Einbezug neuer Erkenntnisse zu prüfen, inwiefern eine differenziertere Betrachtung unter Einschluss weiterer Senken wie zum Beispiel dem Ausatmen sowie die Adressierung potenzieller Dopplungen mit inhalativer Exposition möglich sind.

Die Notwendigkeit entsprechender Weiterentwicklungen des OMORE-Modells hängt davon ab, ob in Risikobewertungen präzisere Abschätzungen der oralen Expositionshöhe benötigt werden. Ein Screening-Modell ist gemäß des gestuften Ansatzes (tiered approach) solange ausreichend, wie die damit konservativ abgeschätzte Exposition nicht in Verbindung mit einem Risiko für die Gesundheit der Beschäftigten steht. Folglich wäre sowohl für eine Evaluation zu weiterführenden Modellentwicklungen als auch für die Gefährdungsbeurteilung eine quantitative Bewertung der toxikologischen Eigenschaften erforderlich. Diese ist in Bezug auf orale Exposition am Arbeitsplatz bislang unüblich, wäre jedoch zudem hilfreich für die risikobasierte Ableitung geeigneter Schutzmaßnahmen.

In Bezug auf die weitere Verwendung des hier entwickelten OMORE-Modells in seiner aktuellen Form sollten zusätzliche Erprobungen erfolgen, die verschiedene Tätigkeiten und Stoffsysteme berücksichtigen. Für die weitere Betrachtung von beruflicher oraler Exposition stellen die wissenschaftliche Verfügbarkeit sowie die Bereitstellung einer implementierten Modellversion grundlegende Voraussetzungen dar. Ergänzend dazu sind Aufklärungs- und Sensibilisierungsmaßnahmen für potenziell betroffene Beschäftigte als wichtige Bausteine zu deren Schutz erforderlich.

Literatur

[1] *Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV). Gefahrstoffverordnung vom 26. November 2010 (BGBl. I S. 1643, 1644), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 2. Dezember 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 384) geändert worden ist*. BGBl. I Nr. 384. 2010.

[2] *TRGS 400 Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen*. Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS). 2017.

[3] *Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorization, and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2001/21/EC*. Europäische Kommission. 2006.

[4] *Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Chapter R.14: occupational exposure assessment. 16-G-09-EN. Version 3.0 ed.* Europäische Chemikalienagentur (ECHA). 2016.

[5] K. Karita u. a. „Possible oral lead intake via contaminated facial skin“. In: *Sci. Total Environ.* 199.1 (1997), S. 125–131. DOI: 10.1016/S0048-9697(97)05488-0.

[6] H. Beattie u. a. „The use of bio-monitoring to assess exposure in the electroplating industry“. In: *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 27.1 (2017), S. 47–55. DOI: doi.org/10.1038/jes.2015.67.

[7] J. W. Cherrie u. a. „How Important is Inadvertent Ingestion of Hazardous Substances at Work?“ In: *Ann. Occup. Hyg.* 50.7 (2006), S. 693–704. DOI: 10.1093/annhyg/mel035.

[8] Y. Christopher. „Inadvertent ingestion exposure to hazardous substances in the workplace“. Dissertation. Aberdeen: University of Aberdeen, 2008.

[9] M. Gorman Ng u. a. „Field measurements of inadvertent ingestion exposure to metals“. In: *Ann. Work Expo. Health* 61.9 (2017), S. 1097–1107. DOI: 10.1093/annweh/wxx071.

[10] M. J. Page u. a. „The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews“. In: *BMJ* 372 (2021). DOI: 10.1136/bmj.n71.

[11] M. J. Page u. a. „PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews“. In: *BMJ* 372 (2021). DOI: 10.1136/bmj.n160.

[12] *Manual Systematische Recherche für Evidenzsynthesen und Leitlinien*. Verfügbar unter https://www.cochrane.de/sites/cochrane.de/files/uploads/manual_recherche_v2.1_0.pdf. Cochrane Deutschland Stiftung u. a. 2020.

[13] X. Huang, J. Lin und D. Demner-Fushman. „Evaluation of PICO as a knowledge representation for clinical questions“. In: *AMIA Annu. Symp. Proc.* (2006). PMID 17238363, S. 359–363.

[14] M. J. Warrens. „Five ways to look at Cohen's kappa“. In: *J. Psychol. Psychother.* 5 (2015), S. 1–4. DOI: 10.4172/2161-0487.1000197.

[15] J. Webster und R. T. Watson. „Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review“. In: *MIS Quarterly* 26.2 (2002), S. xiii–xxiii. ISSN: 02767783.

[16] J. Higgins u. a., Hrsg. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions version 6.5*. Verfügbar unter www.cochrane.org/handbook. Cochrane, 2024.

[17] C. Kohl u. a. „Online tools supporting the conduct and reporting of systematic reviews and systematic maps: a case study on CADIMA and review of existing tools“. In: *Environ Evid.* 7 (2018), S. 8. DOI: 10.1186/s13750-018-0115-5.

[18] J. R. Landis und G. G. Koch. „The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data“. In: *Biometrics* 33.1 (1977), S. 159–174. DOI: 10.2307/2529310.

[19] *Exposure Factors Handbook. Chapter 5 - Soil and Dust Ingestion*. Verfügbar unter https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-01/documents/efh-chapter05_2017.pdf. US EPA. 2011.

[20] J. Delmaar und A. Schuur. *ConsExpo Web. Consumer Exposure models model documentation Update for ConsExpo Web 1.0.2*. RIVM Report 2017-0197. 2017. DOI: 10.21945/RIVM-2017-0197.

[21] *TRGS 500 Schutzmaßnahmen*. Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS). 2019.

[22] M. Gorman Ng u. a. „Inadvertent ingestion exposure: hand- and object-to-mouth behavior among workers“. In: *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 26.1 (2016), S. 9–16. DOI: 10.1038/jes.2014.71.

[23] M. Nicas und D. Best. „A study quantifying the hand-to-face contact rate and its potential application to predicting respiratory tract infection“. In: *J. Occup. Environ. Hyg.* 5.6 (2008), S. 347–352. DOI: 10.1080/15459620802003896.

[24] J. D. Johnston u. a. „The influence of risk perception on biosafety level-2 laboratory workers' hand-to-face contact behaviors“. In: *J. Occup. Environ. Hyg.* 11.9 (2014), S. 625–632. DOI: 10.1080/15459624.2014.887206.

[25] P. A. Christensen u. a. „The role of facial contact in infection control: Renewed import in the age of coronavirus“. In: *Am. J. Infect. Control* 49.6 (2021), S. 663–673. DOI: 10.1016/j.ajic.2020.10.017.

[26] L. E. Blanco u. a. „Determinants of Dermal Exposure among Nicaraguan Subsistence Farmers during Pesticide Applications with Backpack Sprayers“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 49.1 (2005), S. 17–24. DOI: 10.1093/annhyg/meh084.

[27] H. Hasylin u. a. „A Preliminary Assessment of Health and Safety in the Automobile Industry in Brunei Darussalam: Workers' Knowledge and Practice of Organic Solvents“. In: *Int. J. Environ. Res. Public Health* 19.23 (2022), S. 1–14. DOI: 10.3390/ijerph192315469.

[28] P. Burton, L. Gurrin und P. Sly. „Extending the simple linear regression model to account for correlated responses: An introduction to generalized estimating equations and multi-level mixed modelling“. In: *Stat Med* 17.11 (1998), S. 1261–1291. DOI: https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0258(19980615)17:11<1261::AID-SIM846>3.0.CO;2-Z.

[29] D. Loomis und H. Kromhout. „Exposure variability: concepts and applications in occupational epidemiology“. In: *Am. J. Ind. Med.* 45.1 (2004), S. 113–122. DOI: 10.1002/ajim.10324.

[30] S. M. Rappaport. „Assessment of long-term exposures to toxic substances in air“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 35.1 (1991), S. 61–122. DOI: 10.1093/annhyg/35.1.61.

[31] *Recommendation no. 9 - professional hand disinfection in hospitals*. Verfügbar unter https://echa.europa.eu/documents/10162/1154636/rec_9_disinfection_in_hospitals_en.pdf. BPC Ad hoc Working Group on Human Exposure of the European Chemicals Agency, 2017.

[32] K. R. Roberts u. a. „Impact of training on employees' handwashing behaviors in school nutrition programs“. In: *J. Acad. Nutr. Diet.* 123.5 (2023), S. 770–782. DOI: 10.1016/j.jand.2022.11.009.

[33] V. K. York u. a. „Effects of observing employees for food safety compliance rates.“ In: *J Foodservice Manag Educ* 6.1 (2012), S. 17–24.

[34] W. E. Schnieder. „Systematische Identifikation dokumentierter Parameter für den Transfer von Biostoffen als Grundlage für die Beschreibung des Transfers von Chemikalien“. Bachelorarbeit. Hochschule Hamm-Lippstadt, 2024.

[35] M. Gorman Ng u. a. „The relationship between inadvertent ingestion and dermal exposure pathways: a new integrated conceptual model and a database of dermal and oral transfer efficiencies“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 56.9 (2012), S. 1000–1012. DOI: 10.1093/annhyg/mes041.

[36] *Dermal exposure. (Environmental health criteria ; 242)*. ISBN: 978 92 4 157242 2. World Health Organization, 2014.

[37] S. A. J. Sahmel und G. Ramachandran. „Influence of repeated contacts on the transfer of elemental metallic lead between compartments in an integrated conceptual model for dermal exposure assessment“. In: *J. Toxicol. Environ. Health, Part A* 85.3 (2022), S. 89–109. DOI: 10.1080/15287394.2021.1979435.

[38] H. A. Goede u. a. „Dermal Advanced REACH Tool (dART)—Development of a Dermal Exposure Model for Low-Volatile Liquids“. In: *Ann. Work Expo. Health* 63.6 (2019), S. 624–636. DOI: 10.1093/annweh/wxy106.

[39] G. Sankaran u. a. „Latex rubber gloves as a sampling dosimeter using a novel surrogate sampling device“. In: *J. Toxicol. Environ. Health Part A.* 78.17 (2015), S. 1094–1104. DOI: 10.1080/15287394.2015.1037411.

[40] C. E. Rodes u. a. „Experimental methodologies and preliminary transfer factor data for estimation of dermal exposures to particles“. In: *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.* 11.2 (2001), S. 123–139. DOI: 10.1038/sj.jea.7500150.

[41] K. Connor und B. Magee. „A quantitative assessment of risks of heavy metal residues in laundered shop towels and their use by workers“. In: *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 70.1 (2014), S. 125–137. DOI: 10.1016/j.yrtph.2014.06.020.

[42] M. Gorman Ng, M. van Tongeren und S. Semple. „Simulated transfer of liquids and powders from hands and clothing to the mouth“. In: *J. Occup. Environ. Hyg.* 11.10 (2014), S. 633–644. DOI: 10.1080/15459624.2014.895373.

[43] A. B. Stefaniak u. a. „Particle transfer and adherence to human skin compared with cotton glove and pre-moistened polyvinyl alcohol exposure sampling substrates“. In: *J. Environ. Sci. Health A Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng.* 56.5 (2021), S. 585–598. DOI: 10.1080/10934529.2021.1899524.

[44] C.-C. Wu u. a. „Transfer of Frictional Contact Derived Phthalates from Pad Surface Enhances Dermal Exposure“. In: *Environ. Sci. Technol.* 56.18 (2022), S. 12999–13007. DOI: 10.1021/acs.est.2c00640.

[45] A. Ferguson u. a. „Comparisons of computer-controlled chamber measurements for soil-skin adherence from aluminum and carpet surfaces“. In: *Environ. Res.* 109.3 (2009), S. 207–214. DOI: 10.1016/j.envres.2008.12.011.

[46] M. B. Ranade. „Adhesion and Removal of Fine Particles on Surfaces“. In: *Aerosol Sci. Technol.* 7.2 (1987), S. 161–176. DOI: 10.1080/02786828708959155.

[47] H. Alshenqeeti. „Interviewing as a data collection method: A critical review“. In: *Engl. Linguist. Res.* 3.1 (2014), S. 39–45. DOI: https://doi.org/10.5430/elr.v3n1p39.

[48] H. Kallio u. a. „Systematic methodological review: developing a framework for a qualitative semi-structured interview guide“. In: *J. Adv. Nurs.* 72.12 (2016), S. 2954–2965. DOI: 10.1111/jan.13031.

[49] M. A. Nuzhat Naz Fozia Gulab. „Development of Qualitative Semi-Structured Interview Guide for Case Study Research“. In: *CSSR Journal* 3.2 (2022), S. 42–52. ISSN: 2708-9037.

[50] „GESIS Wortkshops Expert*inneninterviews“. In: *GESIS Training*. Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften. Apr. 2024.

[51] M. J. McIntosh und J. M. Morse. „Situating and Constructing Diversity in Semi-Structured Interviews“. In: *Glob. Qual. Nurs. Res.* 2 (2015), S. 1–12. DOI: 10.1177/2333393615597674.

[52] N. Dörflinger. *Beratung zu Experteninterviews*. Private Kommunikation. Sep. 2023.

[53] *Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.12. Use Description. Version 3.0 ed.* Europäische Chemikalienagentur (ECHA). 2015.

[54] C. Groen, D. R. Simmons und L. D. McNair. „An introduction to grounded theory: Choosing and implementing an emergent method“. In: *2017 ASEE Annual conference & exposition*. 2017.

[55] N. J. Pohontsch. „Die Qualitative Inhaltsanalyse“. In: *Rehabilitation (Stuttg.)* 58.6 (2019), S. 413–418. DOI: 10.1055/a-0801-5465.

[56] V. Stocké. „Entstehungsbedingungen von Antwortverzerrungen durch soziale Erwünschtheit. Ein Vergleich der Prognosen der Rational-Choice Theorie und des Modells der Frame-Selektion“. In: *Z. Soziol.* 33.4 (2004), S. 303–320. DOI: 10.1515/zfsoz-2004-0403.

[57] W. C. Adams. „Conducting Semi-Structured Interviews“. In: *Handbook of Practical Program Evaluation*. John Wiley und Sons, Ltd, 2015. Kap. 19, S. 492–505. DOI: https://doi.org/10.1002/9781119171386.ch19.

[58] *Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit. Arbeitszeitgesetz vom 6. Juni 1994 (BGBl. I S. 1170, 1171), das zuletzt durch Artikel 52 des Gesetzes vom 23. Oktober 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 323) geändert worden ist"*. BGBl. 2024 I Nr. 323. 1994.

[59] G. M. Fix u. a. „Direct observation methods: A practical guide for health researchers“. In: *PEC Innov.* 1 (Dez. 2022), S. 1–7. DOI: 10.1016/j.pecinn.2022.100036.

[60] E. Taylor-Powell und S. Steele. „Collecting evaluation data: Direct observation“. In: *Program Development and Evaluation. Wiscounsin: University of Wisconsin-Extension* (1996). Verfügbar unter https://www.betterevaluation.org/sites/default/files/G3658-5.pdf, S. 1–7.

[61] *Data Collection Methods for Program Evaluation: Observation*. Evaluation Briefs No. 16. U.S. Department of Health und Human Sevices, 2018.

[62] „Using direxT observation techniques“. In: *Performance Monitoring and Evaluation TIPS*. 1996.

[63] J. McCambridge, J. Witton und D. R. Elbourne. „Systematic review of the Hawthorne effect: new concepts are needed to study research participation effects“. In: *J. Clin. Epidemiol.* 67.3 (2014), S. 267–277. DOI: 10.1016/j.jclinepi.2013.08.015.

[64] A. El-Saed u. a. „Quantifying the Hawthorne effect using overt and covert observation of hand hygiene at a tertiary care hospital in Saudi Arabia“. In: *Am. J. Infect. Control* 46.8 (2018), S. 930–935. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ajic.2018.02.025.

[65] M. A. Goodwin u. a. „The Hawthorne effect in direct observation research with physicians and patients“. In: . *Eval. Clin. Pract.* 23.6 (2017), S. 1322–1328. DOI: 10.1111/jep.12781.

[66] C. J. Scheirer, W. S. Ray und N. Hare. „The analysis of ranked data derived from completely randomized factorial designs“. In: *Biometrics* (1976). PMID: 953139, S. 429–434.

[67] J. Li u. a. „Nonparametric multivariate analysis of variance for affecting factors on the extent of forest fire damage in Jilin Province, China“. In: *J. For. Res.* 30 (2019), S. 2185–2197. DOI: 10.1007/s11676-019-00958-1.

[68] S. Holm. „A simple sequentially rejective multiple test procedure“. In: *Scand. J. Stat.* (1979). Verfügbar unter https://www.jstor.org/stable/4615733, S. 65–70.

[69] M. Aickin und H. Gensler. „Adjusting for multiple testing when reporting research results: the Bonferroni vs Holm methods“. In: *Am. J. Public Health* 86.5 (1996), S. 726–728. DOI: 10.2105/ajph.86.5.726.

[70] R. Bender und S. Lange. „Multiple test procedures other than Bonferroni's deserve wider use“. In: *Br. Med. J.* 318.7183 (1999), S. 600. DOI: 10.1136/bmj.318.7183.600a.

[71] A. Farcomeni. „A review of modern multiple hypothesis testing, with particular attention to the false discovery proportion“. In: *Stat. Methods Med. Res.* 17.4 (2008), S. 347–388. DOI: 10.1177/0962280206079046.

[72] M. Tomczak und E. Tomczak. „The need to report effect size estimates revisited. An overview of some recommended measures of effect size“. In: *Trends Sport Sci.* (2014). ISSN: 2299-9590.

[73] H. Steyn. „Non-parametric tests with effect sizes“. In: *Statistical consultation services* (2020).

[74] J. Carpenter und J. Bithell. „Bootstrap confidence intervals: when, which, what? A practical guide for medical statisticians“. In: *Stat Med* 19.9 (2000), S. 1141–1164. DOI: 10.1002/(sici)1097-0258(20000515)19:9<1141::aid-sim479>3.0.co;2-f.

[75] R. Shiraly, Z. Shayan und M.-L. McLaws. „Face touching in the time of COVID-19 in Shiraz, Iran“. In: *Am. J. Infect. Control* 48.12 (2020), S. 1559–1561. DOI: 10.1016/j.ajic.2020.08.009.

[76] C. Starbuck. *The Fundamentals of people analytics: With Applications in R*. Springer Nature, 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-28674-2.

[77] C. F. Dormann u. a. „Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance“. In: *Ecography* 36.1 (2013), S. 27–46. DOI: 10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x.

[78] P. Schober, C. Boer und L. Schwarte. „Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation“. In: *Anesth Analg.* 126.5 (2018), S. 1763–1768. DOI: 10.1213/ANE.0000000000002864.

[79] A. Schneider, G. Hommel und M. Blettner. „Linear regression analysis: part 14 of a series on evaluation of scientific publications“. In: *Dtsch. Arztebl. Int.* 107.44 (2010), S. 776–782. DOI: 10.3238/arztebl.2010.0776.

[80] B. Venkatesh und J. Anuradha. „A Review of Feature Selection and Its Methods“. In: *Cybern. Inf. Technol.* 19.1 (2019), S. 3–26. DOI: 10.2478/cait-2019-0001.

[81] G. Heinze, C. Wallisch und D. Dunkler. „Variable selection – A review and recommendations for the practicing statistician“. In: *Biom. J.* 60.3 (2018), S. 431–449. DOI: 10.1002/bimj.201700067.

[82] J. E. Cavanaugh und A. A. Neath. „The Akaike information criterion: Background, derivation, properties, application, interpretation, and refinements“. In: *WIREs Comp Stats* 11.3 (2019), e1460. DOI: https://doi.org/10.1002/wics.1460.

[83] C. Kim, Y. Lee und B. U. Park. „Cook's distance in local polynomial regression“. In: *Stat. Probab. Lett.* 54.1 (2001), S. 33–40. DOI: 10.1016/S0167-7152(01)00031-1.

[84] A. Zeileis. „Econometric Computing with HC and HAC Covariance Matrix Estimators“. In: *J. Stat. Softw.* 11.10 (2004), S. 1–17. DOI: 10.18637/jss.v011.i10.

[85] A. Zeileis, S. Köll und N. Graham. „Various Versatile Variances: An Object-Oriented Implementation of Clustered Covariances in R“. In: *J. Stat. Softw.* 95.1 (2020), S. 1–36. DOI: 10.18637/jss.v095.i01.

[86] M. Gorman Ng u. a. „Properties of liquids and dusts: how do they influence dermal loading during immersion, deposition, and surface contact exposure pathways?“ In: *Ann Occup Hyg* 57.5 (2013), S. 627–39. DOI: 10.1093/annhyg/mes101.

[87] C. Ramwell u. a. *Decontamination of agricultural sprayers*. HSE Research report RR792. https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20241208061459mp_/https://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr792.pdf. HSE, 2010.

[88] J. Cohen. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Laweence erlbaum associates, 1988. ISBN: 0-8058-0283-5.

[89] G. Wunsch. „Confounding and control“. In: *Demographic Res* 16.4 (2007), S. 97–120. DOI: 10.4054/DemRes.2007.16.4.

[90] E. A. Hubal u. a. „Comparing surface residue transfer efficiencies to hands using polar and nonpolar fluorescent tracers“. In: *Environ Sci Technol* 42.3 (2008), S. 934–9. DOI: 10.1021/es071668h.

[91] *MAK-und BAT-Werte-Liste 2024: Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe*. 2024. DOI: 10.34865/mbwl_2024_deu.

[92] S. M. Bowes III und D. L. Swift. „Deposition of Inhaled Particles in the Oral Airway During Oronasal Breathing“. In: *Aerosol Sci. Technol.* 11.2 (1989), S. 157–167. DOI: 10.1080/02786828908959308.

[93] J. Smith u. a. „A Study of Aerosol Deposition and Clearance from the Human Nasal Passage“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 46.Supplement 1 (2002), S. 309–313. DOI: 10.1093/annhyg/46.suppl_1.309.

[94] D. Han u. a. „The bio-distribution, clearance pathways, and toxicity mechanisms of ambient ultrafine particles“. In: *Eco-Environ.* 2.3 (2023), S. 95–106. DOI: 10.1016/j.eehl.2023.06.001.

[95] P. Borm, F. Cassee und G. Oberdörster. „Lung particle overload: Old school -new insights?“ In: *Part fibre toxicol.* 12.10 (Apr. 2015), S. 10. DOI: 10.1186/s12989-015-0086-4.

[96] G. Oberdörster, E. Oberdörster und J. Oberdörster. „Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles“. In: *Environ Health Perspect* 113.7 (2005), S. 823–839. DOI: 10.1289/ehp.7339.

[97] *Recommendation no. 14 - Default human factor values for use in exposure assessments for biocidal products*. Verfügbar unter https://echa.europa.eu/documents/10162/1154636/recom_14+_default+human_factor_values_biocidal+products_en.pdf. BPC Ad hoc Working Group on Human Exposure of the European Chemicals Agency, 2017.

[98] C. Money u. a. *TR 114: ECETOC TRA version 3: Background and Rationale for the Improvements*. Juli 2012.

[99] P. Bonate. „A Brief Introduction to Monte Carlo Simulation“. In: *Clin. Pharmacokinet.* 40.1 (2001), S. 15–22. DOI: 10.2165/00003088-200140010-00002.

[100] R. Franken u. a. *SysDEA: Systematic analysis of dermal exposure to hazardous chemical agents at the workplace. F2349*. 2019, S. 235. DOI: 10.21934/baua:bericht20190116.

[101] R. Foundation. *R Programming*. Version 4.4.2. 31. Okt. 2024.

[102] W. Chang u. a. *shiny: Web Application Framework for R*. R package version 1.11.1. 2025.

[103] J. Lamb u. a. *Evaluation of Tier 1 Exposure Assessment Models under REACH (eteam) Project. Final Overall Project Summary Report*. Research Report Project F 2303. www.baua.de/dok/6914104. 2015.

[104] H. Preuß. „Sensitivitätsanalyse“. In: *Kosten und Nutzen Olympischer Winterspiele in Deutschland: Eine Analyse von München 2018*. Wiesbaden: Gabler, 2011, S. 169–173. ISBN: 978-3-8349-6214-0. DOI: 10.1007/978-3-8349-6214-0_8.

[105] H. Kromhout, E. Symanski und S. M. Rappaport. „A comprehensive evaluation of within- and between-worker components of occupational exposure to chemical agents“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 37.3 (1993), S. 253–270. DOI: 10.1093/annhyg/37.3.253.

[106] M.-L. Henriks-Eckerman u. a. „Determination of Occupational Exposure to Alkanolamines in Metal-Working Fluids“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 51.2 (2006), S. 153–160. DOI: 10.1093/annhyg/mel079.

[107] *DGUV Information 209-066. Maschinen der Zerspanung*. Berufsgenossenschaft Holz und Metall, 2012.

[108] A. T. Simpson u. a. „Occupational Exposure to Metalworking Fluid Mist and Sump Fluid Contaminants“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 47.1 (2003), S. 17–30. DOI: 10.1093/annhyg/meg006.

[109] S. Viegas u. a. „HBM4EU Chromates Study: Determinants of Exposure to Hexavalent Chromium in Plating, Welding and Other Occupational Settings“. In: *Int J Environ Res Public Health* 19.6 (2022). DOI: 10.3390/ijerph19063683.

[110] A. Madsen und C. Matthiesen. „Exposure to aerosols during high-pressure cleaning and relationship with health effects“. In: *Ann. Agric. Environ. Med.* 20.3 (2013), S. 420–5.

[111] Y. H. Hwan u. a. „Using structural equation model to explore occupational lead exposure pathways“. In: *Sci Total Environ* 284.1-3 (2002), S. 95–108. DOI: 10.1016/s0048-9697(01)00870-1.

[112] Y. H. Hwang u. a. „Lip lead as an alternative measure for lead exposure assessment of lead battery assembly workers“. In: *Aihaj* 61.6 (2000), S. 825–31. DOI: 10.10801529866000898459 3.

[113] O. Hanser u. a. „Occupational exposure to metals among battery recyclers in France: Biomonitoring and external dose measurements“. In: *Waste Manag.* 150 (2022), S. 122–130. DOI: 10.1016/j.wasman.2022.06.044.

[114] A. Straumfors u. a. „Exposure to Wood Dust, Microbial Components, and Terpenes in the Norwegian Sawmill Industry“. In: *Ann. Work Expo. Health* 62.6 (2018), S. 674–688. DOI: 10.1093/annweh/wxy041.

[115] M. Tischer u. a. „Evaluation of Tier One Exposure Assessment Models (ETEAM): Project Overview and Methods“. In: *Annals of Work Exposures and Health* 61.8 (Aug. 2017), S. 911–920. DOI: 10.1093/annweh/wxx066.

[116] M. Sinclair u. a. „Measuring water ingestion from spray exposures“. In: *Water Res* 99 (2016), S. 1–6. DOI: 10.1016/j.watres.2016.04.034.

[117] *Modulare Modellansätze zur Expositionsabschätzung für die Risikobewertung am Arbeitsplatz im Rahmen der Chemikaliensicherheit. F2467*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. 16. Okt. 2025. URL: https://www.baua.de/DE/Forschung/Forschungsprojekte/f2467.

[118] *Arbeitsplatz-Modell für die orale Expositionsroute (OMORE) – Projekt 2: Untersuchung von messtechnischen Methoden oraler Exposition. F2567*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. 16. Okt. 2025. URL: https://www.baua.de/DE/Forschung/Forschungsprojekte/f2567.

[119] W. E. Schnieder. „Orale Exposition am Arbeitsplatz: Entwicklung und Erprobung eines Ansatzes zur Sensibilisierung von Beschäftigten“. Masterarbeit. Hochschule Hamm-Lippstadt, 2026.

Anhang I

Systematische Informationsaufbereitung

I.1 Relevanz oraler Exposition

I.1.1 Dokumentation PRISMA-Methodik

Tabelle I.1: Testergebnisse der Suchstrategien zur Relevanz. Die Suchstrategien 1-7 entsprechen den in Tabelle I.2 dargestellten Strategien. Verf. - Verfügbar in der Datenbank, J - Ja, Publikation ist in Datenbank verfügbar bzw. wurde durch die Suchstrategie identifiziert. N - Nein, Publikation ist in Datenbank nicht verfügbar bzw. wurde durch die Suchstrategie nicht identifiziert.

	Web of Science								PubMed							
Publikation	**Verf.**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**Verf.**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Cherrie [1]	J	J	J	N	N	N	N	J	J	J	J	N	N	N	N	J
Christopher [2]	N	-	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-	-	-	-	-
Deubner [3]	N	-	-	-	-	-	-	-	J	J	N	N	N	N	N	N
Hwang [4]	J	J	J	N	N	N	N	N	J	J	J	N	N	N	N	N
Gorman Ng [5]	J	J	J	N	N	N	N	N	J	J	J	N	N	N	N	N
Gorman Ng [6]	J	J	J	N	N	N	N	N	J	J	J	N	N	N	N	N
Christopher [2]	N	-	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-	-	-	-	-
Sinclair [7]	J	N	N	N	N	N	N	J	J	J	J	N	J	J	N	N
Beattie [8]	J	J	J	J	N	N	N	N	J	J	J	J	N	N	N	N
Phanprasit [9]	N	-	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-	-	-	-	-
Viegas [10]	N	-	-	-	-	-	-	-	J	N	N	J	N	N	N	N
Verdonck [11]	J	N	N	J	N	N	N	N	J	N	N	J	N	N	N	N
Keen [12]	N	-	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-	-	-	-	
Connolly [13]	J	N	J	J	N	N	N	J	J	N	J	J	N	N	N	J
Hwang [14]	N	-	-	-	-	-	-	-	J	N	N	N	N	N	N	N

Tabelle I.2: Suchstrategien zur Relevanz. In den einzelnen Suchen muss der Basisterm entsprechend durch dessen Definition in der ersten Zeile ersetzt werden.

Nr.	Feld	Flüssigkeit	String
-	Basisterm	n.a.	(Occupa* OR Job OR Employ* OR Profession* OR Worker OR Workplace OR Industr*) AND (Oral* OR Ingest* OR inadvertent OR incidental OR perioral* OR peri-oral*) AND (Expos* OR Intake OR Uptake OR Ingest*)
1	Direkter Bezug	Nein	Basisterm AND (Relevan* OR Importan* OR Significan* OR Critical* OR Essential*)
2	Modell	Nein	Basisterm AND (Estimat* OR Calculat* OR Assess* OR Evaluat* OR Rate OR Rating OR Model* OR Explor* OR Measur* OR Monitor*)
3	Messung	Nein	Basisterm AND (Biomonitor* OR Total body burden OR Bio-monitor* OR (dermal AND inhalative AND (biomonitor* OR bio-monitor*)))
4	Direkter Bezug	Ja	Basisterm AND (Relevan* OR Importan* OR Significan* OR Critical* OR Essential*) AND (liquid OR fluid OR liquor OR Solution OR spray)
5	Modell	Ja	Basisterm AND (Estimat* OR Calculat* OR Assess* OR Evaluat* OR Rate OR Rating OR Model* OR Explor* OR Measur* OR Monitor*) AND (liquid OR fluid OR liquor OR Solution OR spray)
6	Messung	Ja	Basisterm AND (Biomonitor* OR Total body burden OR Bio-monitor* OR (dermal AND inhalative AND (biomonitor* OR bio-monitor*))) AND (liquid OR fluid OR liquor OR Solution OR spray)
7	Tätigkeit	Ja	(Oral* OR Ingest* OR inadvertent OR incidental OR perioral* OR peri-oral*) AND (Expos* OR Intake OR Uptake) AND (spray* OR paint* OR pesticide OR weld* OR print* OR lead OR electroplat*) AND (Occupa* OR Job OR Employ* OR Profession* OR Worker OR Workplace)

Tabelle I.3: Relevanz: Suchstrategien, Datenbanken bzw. Websites und Suchdaten.

Suchstrategie	Datenbank, Website	Suchdatum
1	WebOfScience	16.11.2022
2	WebOfScience	17.11.2022

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.3 – Fortführung

Suchstrategie	Datenbank, Website	Suchdatum
3	WebOfScience	17.11.2022
4	WebOfScience	17.11.2022
5	WebOfScience	17.11.2022
6	WebOfScience	18.11.2022
7	WebOfScience	18.11.2022
1	PubMed	14.11.2022
2	PubMed	17.11.2022
3	PubMed	17.11.2022
4	PubMed	17.11.2022
5	PubMed	17.11.2022
6	PubMed	18.11.2022
7	PubMed	18.11.2022
1 - 7	Cochrane	09.02.2023
1 - 7	Bergischbib	14.02.2023
1 - 7	Deutsche Nationalbibliothek	14.02.2023
Occupational ingestion	IOM	22.11.2022
Occupational oral Exposure	IOM	23.11.2022
Occupational oral intake	IOM	22.11.2022
Occupational oral Exposure	HSE	25.11.2022
Occupational ingestion	HSE	24.11.2022
Occupational oral intake	HSE	24.-25.11.2022
Occupational oral Exposure	BAuA	23.11.2022
Oral exposure workplace	BAuA	23.11.2022
Oral exposure worker	BAuA	23.11.2022
ingestion	RIVM	22.11.2022
oral	RIVM	23.11.2022
intake	RIVM	23.11.2022
Occupational ingestion	TNO	22.11.2022
Occupational oral exposure	TNO	22.11.2022
Occupational AND oral AND exposure	EPA	28.-29.11.2022
Occupational AND ingestion	EPA	28.-29.11.2022
Occupational AND oral AND exposure	NIOSH	29.11.2022
Occupational AND ingestion	NIOSH	29.11.2022
Occupational AND ingestion	OECD	30.11.2022
Occupational AND oral AND exposure	OECD	30.11.2022

Tabelle I.4: Eingeschlossene Studien zur Relevanz oraler Exposition sowie zugeordnete Arbeitsbereiche, Stoffgruppen und Schlussfolgerungen hinsichtlich der Relevanz. Pot.: Potenziell.

Erstautor	Jahr	Studie	Arbeitsbereich	Stoffgruppe	Irrelevanz	Pot. Relevanz	Relevanz
Abebe Debela	2021	[15]	Recycling (E-Schrott)	Boden		x	x
Aitken	2004	[16]	Sonstige Industrie	Nanopartikel		x	
Ali	2017	[17]	Werkstatt	Staub / Pulver, Organische Verbindungen		x	x
Allaouat	2020	[18]	n.a.	Metalle			x
Alsohaimi	2020	[19]	Außenbereiche	Metalle, Staub / Pulver		x	x
Amoah	2022	[20]	Abfallbehandlung	Biostoffe / Pathogene / Mikroorganismen, (Ab-) Wasser		x	x
Aribou	2022	[21]	Schädlingsbekämpfung	Pestizide			x
Bakhmutsky	2011	[22]	Umgang mit Waffen / Munition	Radioisotope / Strahlung		x	x
Barker	2017	[23]	Innenräume	(Ab-) Wasser, Biostoffe / Pathogene / Mikroorganismen		x	
Beattie	2017	[8]	Metallverarbeitung	Metalle		x	x
Beyer	2014	[24]	Werkstatt	Metalle	x	x	x
Bousoumah	2021	[25]	Polymersektor	Organische Verbindungen		x	
Bühl	2017	[26]	Sonstige Industrie	Metalle		x	
Burton	2020	[27]	Krankenpflege	Biostoffe / Pathogene / Mikroorganismen		x	
Caballero-Casero	2022	[28]	Landwirtschaft	Staub / Pulver		x	x
Chang	2003	[29]	Labor	Andere	x	x	x

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.4 – Fortführung

Erstautor	Jahr	Studie	Arbeitsbereich	Stoffgruppe	Irrelevanz	Pot. Relevanz	Relevanz
Chen	2019	[30]	Innenräume, Recycling (E-Schrott), Sonstige Industrie, Werkstatt	Staub / Pulver, Flammschutzmittel		x	x
Cherrie	2006	[1]	n.a.	Metalle, Hochmolekulare Allergene, Pharmazeutika, Pestizide, Biostoffe / Pathogene / Mikroorganismen, Radioisotope / Strahlung		x	x
Chiang	2009	[31]	Innenräume	Organische Verbindungen			x
Chou	2016	[32]	Innenräume, Sonstige Industrie	Staub / Pulver		x	x
Choy	2004	[33]	Sonstige Industrie	Metalle		x	x
Christopher	2007	[2]	n.a.	Metalle, Biostoffe / Pathogene / Mikroorganismen, Hochmolekulare Allergene, Pharmazeutika, Pestizide, Radioisotope / Strahlung		x	x
Ciani	2021	[34]	Innenräume	Staub / Pulver		x	x
Connolly	2018	[35]	Schädlingsbekämpfung	Pestizide		x	
Connolly	2019	[13]	Schädlingsbekämpfung	Pestizide		x	
Cote	2018	[36]	Schädlingsbekämpfung	Pestizide		x	x
da Cunha	2002	[37]	Sonstige Industrie	Staub / Pulver		x	x
Dai	2020	[38]	Recycling (E-Schrott)	Organische Verbindungen			x
Damian	2011	[39]	Energiesektor	Metalle	x	x	x
Deubner	2001	[3]	n.a.	Metalle		x	

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.4 – Fortführung

Erstautor	Jahr	Studie	Arbeitsbereich	Stoffgruppe	Irrelevanz	Pot. Relevanz	Relevanz
Die	2019	[40]	Recycling (E-Schrott)	Staub / Pulver, Flammschutzmittel			x
Dor	2003	[41]	Energiesektor	Boden		x	
Ellis	2018	[42]	Umgang mit Waffen / Munition	Staub / Pulver, Radioisotope / Strahlung	x		x
Enander	2004	[43]	Werkstatt	Metalle, Staub / Pulver		x	x
Fang	2013	[44]	Recycling (E-Schrott)	Metalle, Staub / Pulver			x
Ferland	2015	[45]	Schädlingsbekämpfung	Pestizide		x	
Fernandez-Caliani	2019	[46]	Landwirtschaft, Sonstige Industrie	Metalle, Flammschutzmittel		x	x
Fernandez-Landero	2021	[47]	Landwirtschaft	Metalle, Boden		x	x
Flack	2012	[48]	Metallverarbeitung, Schädlingsbekämpfung	Metalle, Pestizide		x	
Folarin	2022	[49]	Energiesektor	Boden		x	
Fong	2014	[50]	Polymersektor	Weichmacher	x	x	
Fréry	2020	[51]	Polymersektor	Weichmacher		x	
Galea	2021	[52]	Metallverarbeitung	Metalle			x
Gao	2015	[53]	Innenräume	Metalle, Staub / Pulver		x	x
Georgia Department of Public Health	2017	[54]	Recycling (E-Schrott), Sonstige Industrie, Umgang mit Waffen / Munition	Metalle			x
Geraldino	2021	[55]	Außenbereiche	Organische Verbindungen			x

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.4 – Fortführung

Erstautor	Jahr	Studie	Arbeitsbereich	Stoffgruppe	Irrelevanz	Pot. Relevanz	Relevanz
Gerritsen-Ebben	2007	[56]	Landwirtschaft	Pestizide		x	
Gorce	2015	[57]	Akkumulatoren	Metalle		x	
Gorman Ng	2011	[58]	Schädlingsbekämpfung	Pestizide		x	
Gorman Ng	2012	[5]	n.a.	Staub / Pulver, Organische Verbindungen, Biostoffe / Pathogene / Mikroorganismen, Radioisotope / Strahlung		x	
Gorman Ng	2016	[59]	n.a.	Andere		x	
Gorman Ng	2017	[6]	Metallverarbeitung	Metalle		x	
Gulson	2005	[60]	Außenbereiche	Metalle, Staub / Pulver, Radioisotope / Strahlung		x	
Guney	2016	[61]	n.a.	Staub / Pulver, Weichmacher		x	x
Guo	2019	[62]	Sonstige Industrie	Organische Verbindungen		x	x
Gwenzi	2020	[63]	Innenräume	Biostoffe / Pathogene / Mikroorganismen		x	x
Hamilton	2004	[64]	Sonstige Industrie	Staub / Pulver, Radioisotope / Strahlung		x	
Hardt	2003	[65]	Schädlingsbekämpfung	Pestizide		x	
Harrison	2003	[66]	n.a.	Radioisotope / Strahlung		x	
Heinala	2017	[67]	Sonstige Industrie	Staub / Pulver		x	
Hu	2020	[68]	Sonstige Industrie	Metalle		x	x

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.4 – Fortführung

Erstautor	Jahr	Studie	Arbeitsbereich	Stoffgruppe	Irrelevanz	Pot. Relevanz	Relevanz
Huang	2017	[69]	Bauarbeiten	Metalle, Organische Verbindungen, Pestizide		x	x
Hubbard	2022	[70]	n.a.	Staub / Pulver, Boden, Biostoffe / Pathogene / Mikroorganismen		x	
Hughson	2005	[71]	Sonstige Industrie	Metalle		x	
Hwang	2000	[72]	Akkumulatoren	Metalle		x	x
Hwang	2000	[73]	Labor	Metalle		x	
Hwang	2002	[4]	Akkumulatoren	Metalle		x	x
Iwegbue	2020	[74]	Werkstatt	Metalle, Staub / Pulver		x	x
Jackson	2018	[75]	Umgang mit Waffen / Munition	Metalle		x	
Jaga	2006	[76]	Schädlingsbekämpfung	Pestizide			x
Jandard	2018	[77]	n.a.	Pharmazeutika		x	
Jones-Otazo	2005	[78]	Recycling (E-Schrott)	Staub / Pulver, Flammschutzmittel			x
Julander	2020	[79]	Metallverarbeitung	Metalle		x	x
Julian	2018	[80]	Landwirtschaft	Biostoffe / Pathogene / Mikroorganismen		x	
Kademoglou	2017	[81]	Innenräume	Staub / Pulver, Flammschutzmittel		x	
Kamal	2014	[82]	Sonstige Industrie	Staub / Pulver, Organische Verbindungen		x	x
Kapka-Skrzypczak	2011	[83]	Schädlingsbekämpfung	Pestizide	x	x	

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.4 – Fortführung

Erstautor	Jahr	Studie	Arbeitsbereich	Stoffgruppe	Irrelevanz	Pot. Relevanz	Relevanz
Klous	2016	[84]	Landwirtschaft	Biostoffe / Pathogene / Mikroorganismen		x	
Koh	2020	[85]	n.a.	Organische Verbindungen		x	
Krzyzanoswki	2016	[86]	Landwirtschaft	(Ab-) Wasser, Biostoffe / Pathogene / Mikroorganismen		x	x
Lau	2014	[87]	Werkstatt, Recycling (E-Schrott)	Metalle, Staub / Pulver		x	x
Leso	2022	[88]	Krankenpflege	Pharmazeutika		x	
Li	2015	[89]	Innenräume	Staub / Pulver, Flammschutzmittel		x	x
Li	2016	[90]	Abfallbehandlung	Staub / Pulver, Boden, Organische Verbindungen, Food		x	x
Li	2022	[91]	Recycling (E-Schrott)	Staub / Pulver, Flammschutzmittel			x
Liu	2013	[92]	Innenräume	Staub / Pulver		x	
Liu	2018	[93]	Innenräume	Organische Verbindungen		x	x
Liu	2018	[94]	Außenbereiche, Innenräume	Staub / Pulver, Flammschutzmittel		x	x
Lupolt	2022	[95]	Landwirtschaft	Boden		x	x
Lurker	2014	[96]	Schädlingsbekämpfung, Umgang mit Waffen / Munition	Staub / Pulver, Pestizide			x
Ndaw	2021	[97]	Landwirtschaft	Staub / Pulver		x	
Ndaw	2022	[98]	Metallverarbeitung	Metalle		x	
Nduka	2016	[99]	Werkstatt	Metalle, Staub / Pulver		x	
Nduka	2019	[100]	Werkstatt	Metalle, Staub / Pulver		x	
Nguyen	2019	[101]	Recycling (E-Schrott)	Staub / Pulver, Flammschutzmittel		x	
Obiri	2016	[102]	Recycling (E-Schrott)	Metalle, Staub / Pulver, Boden		x	

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.4 – Fortführung

Erstautor	Jahr	Studie	Arbeitsbereich	Stoffgruppe	Irrelevanz	Pot. Relevanz	Relevanz
Obiri	2016	[103]	Außenbereiche	Metalle			x
Ohajinwa	2019	[104]	Recycling (E-Schrott)	Metalle		x	x
Othman	2018	[105]	Innenräume	Metalle, Staub / Pulver			x
Panagiotou	2022	[106]	Landwirtschaft	(Ab-) Wasser, Boden, Biostoffe / Pathogene / Mikroorganismen			x
Pedroso	2022	[107]	Schädlingsbekämpfung	Pestizide		x	
Pendergrass	2000	[108]	Schädlingsbekämpfung	Pestizide		x	
Perry	2006	[109]	Landwirtschaft, Schädlingsbekämpfung	Pestizide	x		
Protano	2022	[110]	n.a.	Andere		x	
Qin	2021	[111]	Recycling (E-Schrott)	Staub / Pulver, Flammschutzmittel		x	x
Qu	2012	[112]	Außenbereiche, Innenräume, Sonstige Industrie	Metalle		x	x
Ritchie	2001	[113]	Energiesektor	Organische Verbindungen	x	x	x
Rocha	2021	[114]	Krankenpflege	Pharmazeutika		x	x
Roldan-Tapia	2005	[115]	Landwirtschaft	Pestizide			x
Santonen	2019	[116]	Metallverarbeitung	Metalle		x	
Santonen	2022	[117]	Metallverarbeitung, Sonstige Industrie	Metalle		x	
Schecter	2009	[118]	Recycling (E-Schrott)	Staub / Pulver		x	
Scheepers	2021	[119]	Recycling (E-Schrott)	Metalle, Flammschutzmittel, Weichmacher		x	

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.4 – Fortführung

Erstautor	Jahr	Studie	Arbeitsbereich	Stoffgruppe	Irrelevanz	Pot. Relevanz	Relevanz
Semerjian	2018	[120]	Landwirtschaft	Pharmazeutika, (Ab-) Wasser		x	
Sen	2002	[121]	Bauarbeiten	Metalle, Staub / Pulver		x	x
Sewell	2006	[122]	Schädlingsbekämpfung	Pestizide		x	
Shankar	2017	[123]	Polymersektor	Organische Verbindungen		x	
Shen	2019	[124]	Recycling (E-Schrott)	Staub / Pulver, Flammschutzmittel		x	x
Shen	2022	[125]	Energiesektor	Metalle, Staub / Pulver		x	x
Sinclair	2016	[7]	Innenräume	(Ab-) Wasser		x	
Sklar	2021	[126]	Krankenpflege			x	
Stewart	2009	[127]	Labor	Biostoffe / Pathogene / Mikroorganismen	x	x	x
Su	2022	[128]	Außenbereiche, Innenräume	Staub / Pulver		x	x
Szrom	2009	[129]	Umgang mit Waffen / Munition	Radioisotope / Strahlung		x	
Talaska	2014	[130]	Sonstige Industrie	Organische Verbindungen		x	
Tao	2015	[131]	Recycling (E-Schrott)	Metalle,Staub / Pulver		x	
Tavares	2022	[132]	Metallverarbeitung	Metalle			x
Thompson	2021	[133]	Krankenpflege	Pharmazeutika		x	
Tran	2022	[134]	Innenräume, Sonstige Industrie	Staub / Pulver		x	x
Vandebroek	2019	[135]	Umgang mit Waffen / Munition	Metalle		x	
Verdonck	2021	[11]	Metallverarbeitung, Sonstige Industrie	Metalle		x	
Viegas	2022	[10]	Metallverarbeitung	Metalle		x	x
Waheed	2017	[136]	Sonstige Industrie	Staub / Pulver, Pestizide			x
Wannomai	2020	[137]	Recycling (E-Schrott)	Staub / Pulver, Flammschutzmittel		x	x

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.4 – Fortführung

Erstautor	Jahr	Studie	Arbeitsbereich	Stoffgruppe	Irrelevanz	Pot. Relevanz	Relevanz
WHO	2001	[138]	Umgang mit Waffen / Munition	Staub / Pulver		x	
Wittsiepe	2017	[139]	Recycling (E-Schrott)	Metalle		x	
Xia	2018	[140]	Innenräume	Organische Verbindungen			x
Xing	2011	[141]	Recycling (E-Schrott)	Staub / Pulver		x	
Xu	2016	[142]	n.a.	Staub / Pulver, Flammschutzmittel			x
Zhang	2019	[143]	Recycling (E-Schrott)	Organische Verbindungen, Flammschutzmittel			x
Zhang	2021	[144]	Recycling (E-Schrott)	Staub / Pulver		x	x
Zhang	2021	[145]	Metallverarbeitung	Metalle		x	
Zhao	2022	[146]	Recycling (E-Schrott)	Staub / Pulver		x	
Zhou	2014	[147]	Sonstige Industrie	Staub / Pulver, Flammschutzmittel, (Ab-) Wasser		x	x
Zhu	2021	[148]	Abfallbehandlung	Boden		x	x
Zou	2020	[149]	Energiesektor	Metalle, Boden		x	x
Zou	2021	[150]	Energiesektor	Organische Verbindungen, Boden		x	x

Literatur

[1] J. W. Cherrie u. a. „How Important is Inadvertent Ingestion of Hazardous Substances at Work?“ In: *Ann. Occup. Hyg.* 50.7 (2006), S. 693–704. DOI: 10.1093/annhyg/mel035.

[2] Y. Christopher. „Inadvertent ingestion exposure to hazardous substances in the workplace“. Dissertation. Aberdeen: University of Aberdeen, 2008.

[3] D. C. Deubner u. a. „Contribution of incidental exposure pathways to total beryllium exposures“. In: *Appl Occup Environ Hyg* 16.5 (2001), S. 568–78. DOI: 10.1080/10473220120136.

[4] Y. H. Hwan u. a. „Using structural equation model to explore occupational lead exposure pathways“. In: *Sci Total Environ* 284.1-3 (2002), S. 95–108. DOI: 10.1016/s0048-9697(01)00870-1.

[5] M. Gorman Ng u. a. „The relationship between inadvertent ingestion and dermal exposure pathways: a new integrated conceptual model and a database of dermal and oral transfer efficiencies“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 56.9 (2012), S. 1000–1012. DOI: 10.1093/annhyg/mes041.

[6] M. Gorman Ng u. a. „Field measurements of inadvertent ingestion exposure to metals“. In: *Ann. Work Expo. Health* 61.9 (2017), S. 1097–1107. DOI: 10.1093/annweh/wxx071.

[7] M. Sinclair u. a. „Measuring water ingestion from spray exposures“. In: *Water Res* 99 (2016), S. 1–6. DOI: 10.1016/j.watres.2016.04.034.

[8] H. Beattie u. a. „The use of bio-monitoring to assess exposure in the electroplating industry“. In: *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 27.1 (2017), S. 47–55. DOI: doi.org/10.1038/jes.2015.67.

[9] W. Phanprasit u. a. „Inhalation and dermal exposure to toluene among printing workers in a plastic bag factory“. In: *J. Health Res.* 33.1 (2019), S. 68–79. DOI: 10.1108/JHR-06-2018-0031.

[10] S. Viegas u. a. „HBM4EU Chromates Study: Determinants of Exposure to Hexavalent Chromium in Plating, Welding and Other Occupational Settings“. In: *Int J Environ Res Public Health* 19.6 (2022). DOI: 10.3390/ijerph19063683.

[11] J. Verdonck u. a. „Systematic review of biomonitoring data on occupational exposure to hexavalent chromium“. In: *Int J Hyg Environ Health* 236 (2021), S. 113799. DOI: 10.1016/j.ijheh.2021.113799.

[12] C. Keen u. a. *Exposure to hexavalent chromium, nickel and cadmium compounds in the electroplating industry*. Research Report RR963. https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20241206191249/https://www.hse.gov.uk/research/rrhtm/rr963.htm. Health und Safety Executive, 2013.

[13] A. Connolly u. a. „Evaluating Glyphosate Exposure Routes and Their Contribution to Total Body Burden: A Study Among Amenity Horticulturalists“. In: *Ann Work Expo Health* 63.2 (2019), S. 133–147. DOI: 10.1093annwehwxy104.10.1093/annweh/wxy104.

[14] Y.-H. Hwang u. a. „Monitoring of arsenic exposure with speciated urinary inorganic arsenic metabolites for ion implanter maintenance engineers“. In: *Environ. Res.* 90.3 (2002), S. 207–216. ISSN: 0013-9351. DOI: https://doi.org/10.1016/S0013-9351(02)00005-1.

[15] S. A. Debela u. a. „Assessment of Perceptions and Cancer Risks of Workers at a Polychlorinated Biphenyl-Contaminated Hotspot in Ethiopia“. In: *J Health Pollut* 11.30 (2021), S. 210609. DOI: 10.5696/2156-9614-11.30.210609.

[16] R. Aitken, K. S. Creely und C. L. Tran. „Nanoparticles: An occupational hygiene review“. In: (2004). https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20241208024903/https://www.hse.gov.uk/research/rrhtm/rr274.htm.

[17] N. Ali u. a. „Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the settled dust of automobile workshops, health and carcinogenic risk evaluation“. In: *Sci. Total Environ.* 601 (2017), S. 478–484. ISSN: 0048-9697. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.110.

[18] S. Allaouat u. a. „Educational interventions for preventing lead poisoning in workers“. In: *Cochrane Database of Systematic Reviews* 8 (2020). DOI: 10.1002/14651858.CD013097.pub2.

[19] I. H. Alsohaimi u. a. „Assessment of Trace Elements in Urban Road Dust of a City in a Border Province Concerning Their Levels, Sources, and Related Health Risks“. In: *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 79.1 (2020), S. 23–38. DOI: 10.1007/s00244-020-00737-8.

[20] I. D. Amoah, S. Kumari und F. Bux. „A probabilistic assessment of microbial infection risks due to occupational exposure to wastewater in a conventional activated sludge wastewater treatment plant“. In: *Sci Total Environ* 843 (2022), S. 156849. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.156849.

[21] Z. M. Aribou und W. T. Ng. „Targeted medical examinations for workers exposed to fumigants“. In: *J Occup Med Toxicol* 17.1 (2022), S. 20. DOI: 10.1186s12995-022-00361-3.10.1186/s12995-022-00361-3.

[22] M. V. Bakhmutsky u. a. „Long term depleted uranium exposure in Gulf War I veterans does not cause elevated numbers of micronuclei in peripheral blood lymphocytes“. In: *Mutat Res* 720.1-2 (2011), S. 53–7. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2010.12.002.

[23] S. F. Barker u. a. „Endotoxin health risk associated with high pressure cleaning using reclaimed water“. In: *Microb. Risk Anal.* 5 (2017), S. 65–70. DOI: 10.1016/j.mran.2016.06.004.

[24] L. A. Beyer, G. Greenberg und B. D. Beck. „Evaluation of Potential Exposure to Metals in Laundered Shop Towels“. In: *Hum. Ecol. Risk Assess.* 20.1 (2014), S. 111–136. DOI: 10.1080/10807039.2013.770350.

[25] R. Bousoumah u. a. „Biomonitoring of occupational exposure to bisphenol A, bisphenol S and bisphenol F: A systematic review“. In: *Sci Total Environ* 783 (2021), S. 146905. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146905.

[26] V. Bühl u. a. „Biomonitoring of arsenic in woodworkers exposed to CCA and evaluation of other non-occupational sources in Uruguay“. In: *Int J Occup Environ Health* 23.1 (2017), S. 71–80. DOI: 10.1080/10773525.2018.1425654.

[27] M. J. Burton u. a. „Use of antimicrobial mouthwashes (gargling) and nasal sprays by healthcare workers to protect them when treating patients with suspected or confirmed COVID-19 infection“. In: *Cochrane Database of Systematic Reviews* 9 (2020). DOI: 10.1002/14651858.CD013626.pub2.

[28] N. Caballero-Casero und S. Rubio. „Identification of bisphenols and derivatives in greenhouse dust as a potential source for human occupational exposure“. In: *Anal Bioanal Chem* 414.18 (2022), S. 5397–5409. DOI: 10.1007/s00216-021-03863-x.

[29] S. J. Chang und S. H. Lamm. „Human health effects of sodium azide exposure: A literature review and analysis“. In: *Int. J. Toxicol.* 22.3 (2003), S. 175–186. DOI: 10.1080/10915810305109.

[30] M. Q. Chen u. a. „Grain size distribution and exposure evaluation of organophosphorus and brominated flame retardants in indoor and outdoor dust and PM10 from Chengdu, China“. In: *J. Hazard. Mater.* 365 (2019), S. 280–288. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2018.10.082.

[31] K. C. Chiang u. a. „Assessing hazardous risks of human exposure to temple airborne polycyclic aromatic hydrocarbons“. In: *J Hazard Mater* 166.2-3 (2009), S. 676–85. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.11.084.

[32] H. M. Chou u. a. „Levels of Polybrominated Diphenyl Ethers in Air-Conditioner Filter Dust Used to Assess Health Risks in Clinic and Electronic Plant Employees“. In: *Aerosol air qual. res.* 16.1 (2016), S. 184–194. DOI: 10.4209/aaqr.2015.09.0541.

[33] K. D. Choy, H. S. Lee und C. H. Tan. „Blood lead monitoring in a decorative ceramic tiles factory in Singapore“. In: *Singapore Med J* 45.4 (2004), S. 176–9.

[34] F. Ciani u. a. „Particle-Bound Mercury Characterization in the Central Italian Herbarium of the Natural History Museum of the University of Florence (Italy)“. In: *Toxics* 9.6 (2021). DOI: 10.3390toxics9060141. 10.3390/toxics9060141.

[35] A. Connolly u. a. „Characterising glyphosate exposures among amenity horticulturists using multiple spot urine samples“. In: *Int J Hyg Environ Health* 221.7 (2018), S. 1012–1022. DOI: 10.1016/j.ijheh.2018.06.007.

[36] J. Cote und M. Bouchard. „Dose reconstruction in workers exposed to two major pyrethroid pesticides and determination of biological reference values using a toxicokinetic model“. In: *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 28.6 (2018), S. 599–614. DOI: 10.1038/s41370-017-0004-y.

[37] K. D. da Cunha u. a. „Study of worker's exposure to thorium, uranium and niobium mineral dust“. In: *Water Air Soil Pollut* 137.1-4 (2002), S. 45–61. DOI: 10.1023/A:1015599406550.

[38] Q. Dai u. a. „Severe dioxin-like compound (DLC) contamination in e-waste recycling areas: An under-recognized threat to local health“. In: *Environ Int* 139 (2020), S. 105731. DOI: 10.1016/j.envint.2020.105731.

[39] P. Damian. „Development of a health risk-based surface contamination cleanup standard for occupational exposure to beryllium“. In: *Toxicol. Mech. Methods.* 21.2 (2011), S. 97–102. DOI: 10.3109/15376516.2010.499257.

[40] Q. Die u. a. „Concentrations and occupational exposure assessment of polybrominated diphenyl ethers in modern Chinese e-waste dismantling workshops“. In: *Chemosphere* 214 (2019), S. 379–388. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.09.130.

[41] F. Dor u. a. „Validation of multimedia models assessing exposure to PAHs–the SOLEX study“. In: *Risk Anal* 23.5 (2003), S. 1047–57. DOI: 10.11111539-6924.00380.10.1111/1539-6924.00380.

[42] E. D. Ellis u. a. „Dosimetry is Key to Good Epidemiology: Workers at Mallinckrodt Chemical Works had Seven Different Source Exposures“. In: *Health Phys* 114.4 (2018), S. 386–397. DOI: 10.1097HP.0000000000000847.10.1097/hp.0000000000000847.

[43] R. T. Enander u. a. „Lead and methylene chloride exposures among automotive repair technicians“. In: *J. Occup. Environ. Hyg.* 1.2 (2004), S. 119–125. DOI: 10.1080/15459620490275911.

[44] W. Fang, Y. Yang und Z. Xu. „PM10 and PM2.5 and health risk assessment for heavy metals in a typical factory for cathode ray tube television recycling“. In: *Environ Sci Technol* 47.21 (2013), S. 12469–76. DOI: 10.1021/es4026613.

[45] S. Ferland u. a. „Detailed Urinary Excretion Time Courses of Biomarkers of Exposure to Permethrin and Estimated Exposure in Workers of a Corn Production Farm in Quebec, Canada“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 59.9 (2015), S. 1152–1167. DOI: 10.1093/annhyg/mev059.

[46] J. C. Fernández-Caliani, M. I. Giráldez und C. Barba-Brioso. „Oral bioaccessibility and human health risk assessment of trace elements in agricultural soils impacted by acid mine drainage“. In: *Chemosphere* 237 (2019), S. 124441. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.124441.

[47] S. Fernandez-Landero, I. Giraldez und J. C. Fernandez-Caliani. „Predicting the relative oral bioavailability of naturally occurring As, Cd and Pb from in vitro bioaccessibility measurement: implications for human soil ingestion exposure assessment“. In: *Environ. Geochem. Health.* 43.10 (2021), S. 4251–4264. DOI: 10.1007/s10653-021-00911-4.

[48] S. Flack und L. A. Nylander-French. „Occupational chemicals: metabolism, toxicity, and mode of action“. In: *Prog Mol Biol Transl Sci* 112 (2012), S. 163–207. DOI: 10.1016/b978-0-12-415813-9.00006-4.

[49] B. T. Folarin u. a. „Concentrations and Toxic Implications of Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls in Soil Samples from Electrical Power Stations in Lagos, Nigeria“. In: *Environ Toxicol Chem* 41.3 (2022), S. 800–809. DOI: 10.1002/etc.5277.

[50] J. P. Fong u. a. „Estimating the contribution of inhalation exposure to di-2-ethylhexyl phthalate (DEHP) for PVC production workers, using personal air sampling and urinary metabolite monitoring“. In: *Int J Hyg Environ Health* 217.1 (2014), S. 102–9. DOI: 10.1016/j.ijheh.2013.04.002.

[51] N. Fréry u. a. „Biomonitoring of occupational exposure to phthalates: A systematic review“. In: *Int J Hyg Environ Health* 229 (2020), S. 113548. DOI: 10.1016/j.ijheh.2020.113548.

[52] K. S. Galea u. a. „HBM4EU chromates study - Reflection and lessons learnt from designing and undertaking a collaborative European biomonitoring study on occupational exposure to hexavalent chromium“. In: *Int J Hyg Environ Health* 234 (2021), S. 113725. DOI: 10.1016/j.ijheh.2021.113725.

[53] P. Gao u. a. „Assessment on the occupational exposure of urban public bus drivers to bioaccessible trace metals through resuspended fraction of settled bus dust“. In: *Sci. Total Environ.* 508 (2015), S. 37–45. ISSN: 0048-9697. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.11.067.

[54] *Georgia occupational health indicator: elevated blood lead levels (BLL) among adults, 2010-2015*. https://dph.georgia.gov/georgia-workplace-safety. 2017.

[55] B. R. Geraldino u. a. „Risks related to the domestic laundering of filling station attendant uniforms: advances and uncertainties“. In: *Rev Bras Med Trab* 19.2 (2021), S. 240–248. DOI: 10.47626/1679-4435-2020-590.

[56] M. G. Gerritsen-Ebben, D. H. Brouwer und J. J. van Hemmen. „Personal protective equipment for registration purposes of pesticides“. In: *Commun Agric Appl Biol Sci* 72.2 (2007), S. 87–93. ISSN: 1379-1176 (Print).

[57] J. P. Gorce und M. Roff. „Hand Self-Wiping Protocol for the Investigation of Lead Exposure in the Workplace“. In: *J Occup Environ Hyg* 12.10 (2015), S. 699–707. DOI: 10.1080/15459624.2015.1043052.

[58] M. Gorman Ng u. a. „Exposure to pesticides and metal contaminants of fertilizer among tree planters“. In: *Ann Occup Hyg* 55.7 (2011), S. 752–63. DOI: 10.1093/annhyg/mer029.

[59] M. Gorman Ng u. a. „Inadvertent ingestion exposure: hand- and object-to-mouth behavior among workers“. In: *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 26.1 (2016), S. 9–16. DOI: 10.1038/jes.2014.71.

[60] B. L. Gulson u. a. „The effect of exposure to employees from mining and milling operations in a uranium mine on lead isotopes–a pilot study“. In: *Sci Total Environ* 339.1-3 (2005), S. 267–72. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2004.11.006.

[61] M. Guney und G. J. Zagury. „Bioaccessibility and other key parameters in assessing oral exposure to PAH-contaminated soils and dust: A critical review“. In: *Hum. Ecol. Risk Assess.* 22.6 (2016), S. 1396–1417. DOI: 10.1080/10807039.2016.1185691.

[62] J. Guo u. a. „Assessment of volatile methylsiloxanes in environmental matrices and human plasma“. In: *Sci Total Environ* 668 (2019), S. 1175–1182. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.092.

[63] W. Gwenzi. „The 'thanato-resistome' - The funeral industry as a potential reservoir of antibiotic resistance: Early insights and perspectives“. In: *Sci Total Environ* 749 (2020), S. 141120. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141120.

[64] I. S. Hamilton u. a. „Radiological assessment of petroleum pipe scale from pipe-rattling operations“. In: *Health Physics* 87.4 (2004), S. 382–396. DOI: 10.1097/01.Hp.0000128580.09991.05.

[65] J. Hardt und J. Angerer. „Biological monitoring of workers after the application of insecticidal pyrethroids“. In: *Int Arch Occup Environ Health* 76.7 (2003), S. 492–498. DOI: 10.1007/s00420-003-0451-8.

[66] J. D. Harrison und C. R. Muirhead. „Quantitative comparisons of cancer induction in humans by internally deposited radionuclides and external radiation“. In: *Int J Radiat Biol* 79.1 (2003), S. 1–13. DOI: 10.1080/0955300021000038671.

[67] M. Heinala u. a. „Assessment of Occupational Exposure to Bisphenol A in Five Different Production Companies in Finland“. In: *Ann. Work Expo. Health* 61.1 (2017), S. 44–55. DOI: 10.1093/annweh/wxw006.

[68] L. Hu u. a. „Contamination level and potential health risk assessment of hexavalent chromium in soils from a coal chemical industrial area in Northwest China“. In: *Hum. Ecol. Risk Assess.* 26.5 (2020), S. 1300–1312. DOI: 10.1080/10807039.2019.1573632.

[69] S. Huang u. a. „Pollution of hazardous substances in industrial construction and demolition wastes and their multi-path risk within an abandoned pesticide manufacturing plant“. In: *FRONT ENV SCI ENG.* 11.1 (2017), S. 13. DOI: 10.1007/s11783-017-0901-2.

[70] H. Hubbard u. a. „Model-based predictions of soil and dust ingestion rates for U.S. adults using the stochastic human exposure and dose simulation soil and dust model“. In: *Sci Total Environ* 846 (2022), S. 157501. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157501.

[71] G. W. Hughson. *An occupational hygiene assessment of dermal inorganic lead exposures in primary and intermediate user industries*. Research Report TM/04/06. https://www.iom-world.org/wp-content/uploads/2024/04/IOM_TM0406.pdf. 2005.

[72] Y. H. Hwang u. a. „Lip lead as an alternative measure for lead exposure assessment of lead battery assembly workers“. In: *Aihaj* 61.6 (2000), S. 825–31. DOI: 10.10801529866000898459 3.

[73] Y. H. Hwang und S. C. Chen. „Monitoring of low level arsenic exposure during maintenance of ion implanters“. In: *Arch Environ Health* 55.5 (2000), S. 347–54. DOI: 10.1080/00039890009604027.

[74] C. M. A. Iwegbue u. a. „Risk assessment of human exposure to potentially toxic metals in indoor dust from some small and medium scale enterprise workplace environments in southern Nigeria“. In: *Indoor Built Environ.* 29.8 (2020), S. 1137–1154. DOI: 10.1177/1420326x19876007.

[75] D. A. Jackson u. a. „Notes from the Field: Lead Exposures Among Employees at a Bullet Manufacturing Company - Missouri, 2017“. In: *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 67.39 (2018), S. 1103. DOI: 10.15585/mmwr.mm6739a7.

[76] K. Jaga und C. Dharmani. „Ocular toxicity from pesticide exposure: A recent review“. In: *Environ Health Prev Med* 11.3 (2006), S. 102–7. DOI: 10.1265/ehpm.11.102.

[77] C. Jandard u. a. „Applicability of surface sampling and calculation of surface limits for pharmaceutical drug substances for occupational health purposes“. In: *Regul Toxicol Pharmacol* 95 (2018), S. 434–441. DOI: 10.1016/j.yrtph.2017.12.020.

[78] H. A. Jones-Otazo u. a. „Is house dust the missing exposure pathway for PBDEs? An analysis of the urban fate and human exposure to PBDEs“. In: *Environ Sci Technol* 39.14 (2005), S. 5121–30. DOI: 10.1021/es048267b.

[79] A. Julander u. a. „A Case Study of Brass Foundry Workers' Estimated Lead (Pb) Body Burden from Different Exposure Routes“. In: *Ann. Work Expo. Health* 64.9 (2020), S. 970–981. DOI: 10.1093/annweh/wxaa061.

[80] T. R. Julian u. a. „High time-resolution simulation of E. coli on hands reveals large variation in microbial exposures amongst Vietnamese farmers using human excreta for agriculture“. In: *Sci Total Environ* 635 (2018), S. 120–131. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.100.

[81] K. Kademoglou u. a. „Legacy and alternative flame retardants in Norwegian and UK indoor environment: Implications of human exposure via dust ingestion“. In: *Environ Int* 102 (2017), S. 48–56. DOI: 10.1016/j.envint.2016.12.012.

[82] A. Kamal u. a. „Cancer risk evaluation of brick kiln workers exposed to dust bound PAHs in Punjab province (Pakistan)“. In: *Sci. Total Environ.* 493 (2014), S. 562–570. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.05.140.

[83] L. Kapka-Skrzypczak u. a. „Biomonitoring and biomarkers of organophosphate pesticides exposure - state of the art“. In: *Ann Agric Environ Med* 18.2 (2011), S. 294–303. ISSN: 1232-1966.

[84] G. Klous u. a. „Human-livestock contacts and their relationship to transmission of zoonotic pathogens, a systematic review of literature“. In: *One Health* 2 (2016), S. 65–76. DOI: 10.1016/j.onehlt.2016.03.001.

[85] D. H. Koh u. a. „Comparison of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Exposure Across Occupations Using Urinary Metabolite 1-Hydroxypyrene“. In: *Ann Work Expo Health* 64.4 (2020), S. 445–454. DOI: 10.1093/annweh/wxaa014.

[86] J. Krzyzanowski F. u. a. „Assessing the probability of infection by Salmonella due to sewage sludge use in agriculture under several exposure scenarios for crops and soil ingestion“. In: *Sci Total Environ* 568 (2016), S. 66–74. DOI: 0.1016/j.scitotenv.2016.05.129.

[87] W. K. Y. Lau u. a. „Human health risk assessment based on trace metals in suspended air particulates, surface dust, and floor dust from e-waste recycling workshops in Hong Kong, China“. In: *Environ. Sci. Pollut. Res.* 21.5 (2014), S. 3813–3825. DOI: 10.1007/s11356-013-2372-8.

[88] V. Leso u. a. „Exposure to Antineoplastic Drugs in Occupational Settings: A Systematic Review of Biological Monitoring Data“. In: *Int J Environ Res Public Health* 19.6 (2022). DOI: 10.3390/ijerph19063737.

[89] Y. Li u. a. „Characterizing distribution, sources, and potential health risk of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in office environment“. In: *Environ Pollut* 198 (2015), S. 25–31. DOI: 10.1016/j.envpol.2014.12.024.

[90] J. F. Li u. a. „Composition profiles, monthly changes and health risk of PCDD/F in fly ash discharged from a municipal solid waste incinerator (MSWI) in Northeast China“. In: *RSC Advances* 6.113 (2016), S. 111966–75. DOI: 10.1039/c6ra21462b.

[91] J. Li u. a. „Elevated emissions of melamine and its derivatives in the indoor environments of typical e-waste recycling facilities and adjacent communities and implications for human exposure“. In: *J Hazard Mater* 432 (2022), S. 128652. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2022.128652.

[92] N. N. Liu u. a. „Occupational exposure to synthetic musks in barbershops, compared with the common exposure in the dormitories and households“. In: *Chemosphere* 93.9 (2013), S. 1804–1810. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.06.027.

[93] N. N. Liu, L. Xu und Y. Q. Cai. „Methyl siloxanes in barbershops and residence indoor dust and the implication for human exposures“. In: *Sci. Total Environ.* 618 (2018), S. 1324–1330. ISSN: 0048-9697. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.250.

[94] X. Liu u. a. „Estimation of Exposure to Organic Flame Retardants via Hand Wipe, Surface Wipe, and Dust: Comparability of Different Assessment Strategies“. In: *Environ Sci Technol* 52.17 (2018), S. 9946–9953. DOI: 10.1021/acs.est.8b02723.

[95] S. N. Lupolt u. a. „A qualitative characterization of meso-activity factors to estimate soil exposure for agricultural workers“. In: *J Expo Sci Environ Epidemiol* 33 (2022), S. 140–154. DOI: 10.1038/s41370-022-00484-z.

[96] P. A. Lurker u. a. „Post-Vietnam military herbicide exposures in UC-123 Agent Orange spray aircraft“. In: *Environ. Res.* 130 (2014), S. 34–42. DOI: 10.1016/j.envres.2014.02.004.

[97] S. Ndaw u. a. „Investigating Multi-Mycotoxin Exposure in Occupational Settings: A Biomonitoring and Airborne Measurement Approach“. In: *Toxins (Basel)* 13.1 (2021). DOI: 10.3390/toxins13010054.

[98] S. Ndaw u. a. „HBM4EU chromates study- Usefulness of measurement of blood chromium levels in the assessment of occupational Cr(VI) exposure“. In: *Environ. Res.* 214 (2022), S. 10. DOI: 10.1016/j.envres.2022.113758.

[99] J. K. Nduka u. a. „Human health risk assessment of lead, manganese and copper from scrapped car paint dust from automobile workshops in Nigeria“. In: *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23.20 (2016), S. 20341–49. DOI: 10.1007/s11356-016-7219-7.

[100] J. K. Nduka, H. I. Kelle und J. O. Amuka. „Health risk assessment of cadmium, chromium and nickel from car paint dust from used automobiles at auto-panel workshops in Nigeria“. In: *Toxicol Rep* 6 (2019), S. 449–456. DOI: 10.1016/j.toxrep.2019.05.007.

[101] L. V. Nguyen u. a. „Exposure of Canadian electronic waste dismantlers to flame retardants“. In: *Environ Int* 129 (2019), S. 95–104. DOI: 10.1016/j.envint.2019.04.056.

[102] S. Obiri u. a. „Exposure to toxicants in soil and bottom ash deposits in Agbogbloshie, Ghana: human health risk assessment“. In: *Environ Monit Assess* 188.10 (2016), S. 583. DOI: 10.1007/s10661-016-5575-x.

[103] S. Obiri u. a. „Human Health Risk Assessment of Artisanal Miners Exposed to Toxic Chemicals in Water and Sediments in the Prestea Huni Valley District of Ghana“. In: *Int J Environ Res Public Health* 13.1 (2016). DOI: 10.3390/ijerph13010139.

[104] C. M. Ohajinwa u. a. „Health Risks of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) and Metals at Informal Electronic Waste Recycling Sites“. In: *Int. J. Environ. Res. Public Health* 16.6 (2019), S. 19. DOI: 10.3390/ijerph16060906.

[105] M. Othman, M. T. Latif und A. F. Mohamed. „Health impact assessment from building life cycles and trace metals in coarse particulate matter in urban office environments“. In: *Ecotoxicol Environ Saf* 148 (2018), S. 293–302. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2017.10.034.

[106] C. F. Panagiotou u. a. „Quantitative microbial risk assessment (QMRA) for setting health-based performance targets during soil aquifer treatment“. In: *Environ Sci Pollut Res Int* 30.6 (2022). DOI: 10.1007/s11356-022-22729-y.

[107] T. M. A. Pedroso u. a. „Cancer and occupational exposure to pesticides: a bibliometric study of the past 10 years“. In: *Environ Sci Pollut Res Int* 29.12 (2022), S. 17464–17475. DOI: 10.1007/s11356-021-17031-2.

[108] S. M. Pendergrass, A. M. Krake und L. B. Jaycox. „Development of a versatile method for the detection of nicotine in air“. In: *Aihaj* 61.4 (2000), S. 469–72. DOI: 10.1080/15298660008984557.

[109] M. J. Perry, A. Marbella und P. M. Layde. „Nonpersistent Pesticide Exposure Self-report versus Biomonitoring in Farm Pesticide Applicators“. In: *Ann. Epidemiol.* 16.9 (2006), S. 701–707. DOI: 10.1016/j.annepidem.2005.12.004.

[110] C. Protano u. a. „The Carcinogenic Effects of Formaldehyde Occupational Exposure: A Systematic Review“. In: *Cancers* 14.1 (2022), S. 12. DOI: 10.3390/cancers14010165.

[111] R. X. Qin u. a. „Organophosphate flame retardants and diesters in the urine of e-waste dismantling workers: associations with indoor dust and implications for urinary biomonitoring“. In: *Environ. Sci. Process Impacts* 23.2 (2021), S. 357–366. DOI: 10.1039/d0em00439a.

[112] C. S. Qu u. a. „Monte Carlo Simulation-Based Health Risk Assessment of Heavy Metal Soil Pollution: A Case Study in the Qixia Mining Area, China“. In: *Hum. Ecol. Risk Assess.* 18.4 (2012), S. 733–750. DOI: 10.1080/10807039.2012.688697.

[113] G. D. Ritchie u. a. „A review of the neurotoxicity risk of selected hydrocarbon fuels“. In: *J. Toxicol. Environ. Health-Part B-Critical Reviews* 4.3 (2001), S. 223–312. DOI: 10.1080/109374001301419728.

[114] S. D. Rocha u. a. „Handling of antineoplastic drugs: a health concern among health care workers“. In: *Rev Bras Med Trab* 18.4 (2021), S. 407–414. DOI: 10.47626/1679-4435-2020-527.

[115] L. Roldán-Tapia, T. Parrón und F. Sánchez-Santed. „Neuropsychological effects of long-term exposure to organophosphate pesticides“. In: *Neurotoxicol Teratol* 27.2 (2005), S. 259–66. DOI: 10.1016/j.ntt.2004.12.002.

[116] T. Santonen u. a. „Setting up a collaborative European human biological monitoring study on occupational exposure to hexavalent chromium“. In: *Environ Res* 177 (2019), S. 108583. DOI: 10.1016/j.envres.2019.108583.

[117] T. Santonen u. a. „HBM4EU chromates study - Overall results and recommendations for the biomonitoring of occupational exposure to hexavalent chromium“. In: *Environ Res* 204.Pt A (2022), S. 111984. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111984.

[118] A. Schecter u. a. „A Newly Recognized Occupational Hazard for US Electronic Recycling Facility Workers: Polybrominated Diphenyl Ethers“. In: *J. Occup. Environ. Med.* 51.4 (2009), S. 435–440. DOI: 10.1097/JOM.0b013e31819b8c09.

[119] P. T. J. Scheepers u. a. „HBM4EU Occupational Biomonitoring Study on e-Waste-Study Protocol“. In: *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18.24 (2021), S. 17. DOI: 10.3390/ijerph182412987.

[120] L. Semerjian u. a. „Human health risk assessment of pharmaceuticals in treated wastewater reused for non-potable applications in Sharjah, United Arab Emirates“. In: *Environ Int* 121.Pt 1 (2018), S. 325–331. DOI: 10.1016/j.envint.2018.08.048.

[121] D. Sen, H. Wolfson und M. Dilworth. „Lead exposure in scaffolders during refurbishment construction activity–an observational study“. In: *Occup Med (Lond)* 52.1 (2002), S. 49–54. DOI: 10.1093occmed52.1.49.10.1093/occmed/52.1.49.

[122] C. Sewell u. a. *Epidemiological study of the relationships between exposure to organophosphate pesticides and indices of chronic peripheral neuropathy, and neuropsychological abnormalities in sheep farmers and dippers. Phase 1. Development and validation of an organophosphate uptake model for sheep dippers*. Research Report TM/99/02a. https://www.iom-world.org/wp-content/uploads/2024/04/IOM_TM9902a.pdf. 2006.

[123] K. Shankar u. a. „Exposure to 4,4'-methylene bis (2-chloroaniline) (MbOCA) in New South Wales, Australia". In: *J Occup Health* 59.3 (2017), S. 296–303. DOI: 10.1539/joh.16-0254-BR.

[124] M. Shen u. a. „Occurrence of two novel triazine-based flame retardants in an E-waste recycling area in South China: Implication for human exposure". In: *Sci Total Environ* 683 (2019), S. 249–257. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.264.

[125] Y. W. Shen u. a. „Insight of the size dependent bioavailability and health risk assessment of arsenic in resuspended fly ash from power plants". In: *Fuel* 327 (2022), S. 9. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.125049.

[126] R. Sklar u. a. „Risk of adenovirus and Cryptosporidium ingestion to sanitation workers in a municipal scale non-sewered sanitation process: a case study from Kigali, Rwanda". In: . *Water Sanit. Hyg. Dev.* 11.4 (2021), S. 570–578. DOI: 10.2166/washdev.2021.241.

[127] I. Stewart u. a. „Occupational and environmental hazard assessments for the isolation, purification and toxicity testing of cyanobacterial toxins". In: *Environ Health* 8.52 (2009), S. 52. DOI: 10.1186/1476-069x-8-52.

[128] C. K. Su u. a. „Polybrominated Dibenzo-p-dioxins/Furans (PBDD/Fs) and Diphenyl Ethers (PBDEs) in the Indoor and Outdoor of Gymnasiums". In: *Aerosol air qual. res.* 22.9 (2022), S. 16. DOI: 10.4209/aaqr.220264.

[129] F. Szrom u. a. „Inhalation and ingestion intakes with associated dose estimates for level II and level III personnel using Capstone study data". In: *Health Phys* 96.3 (2009), S. 363–79. DOI: 10.1097/01.HP.0000334063.95622.f9.

[130] G. Talaska u. a. „Biomarkers of polycyclic aromatic hydrocarbon exposure in European coke oven workers". In: *Toxicol Lett* 231.2 (2014), S. 213–6. DOI: 10.1016/j.toxlet.2014.10.025.

[131] X. Q. Tao u. a. „Bioaccessibility and health risk of heavy metals in ash from the incineration of different e-waste residues". In: *Environ Sci Pollut Res Int* 22.5 (2015), S. 3558–69. DOI: 10.1007/s11356-014-3562-8.

[132] A. Tavares u. a. „HBM4EU Chromates Study-Genotoxicity and Oxidative Stress Biomarkers in Workers Exposed to Hexavalent Chromium". In: *Toxics* 10.8 (2022). DOI: 10.3390/toxics10080483.

[133] R. A. Thompson u. a. „Perceptions of opioid and other illicit drug exposure reported among first responders in the southeast, 2017 to 2018". In: *Health Sci Rep* 4.3 (2021), e335. DOI: 10.1002/hsr2.335.

[134] L. T. Tran u. a. „Polybrominated diphenyl ethers in indoor dusts from industrial factories, offices, and houses in northern Vietnam: Contamination characteristics and human exposure". In: *Environ Geochem Health* 44.8 (2022), S. 2375–2388. DOI: 10.1007/s10653-021-01026-6.

[135] E. Vandebroek u. a. „Occupational Exposure to Metals in Shooting Ranges: A Biomonitoring Study". In: *Saf Health Work* 10.1 (2019), S. 87–94. DOI: 10.1016/j.shaw.2018.05.006.

[136] S. Waheed u. a. „Pesticides contaminated dust exposure, risk diagnosis and exposure markers in occupational and residential settings of Lahore, Pakistan". In: *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 56 (2017), S. 375–382. DOI: 10.1016/j.etap.2017.11.003.

[137] T. Wannomai u. a. „Bioaccessibility and exposure assessment of flame retardants via dust ingestion for workers in e-waste processing workshops in northern Vietnam“. In: *Chemosphere* 251 (2020), S. 126632. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.126632.

[138] *Depleted uranium : sources, Expo. Health effects*. WHO/SDE/PHE/01.1. https://apps.who.int/iris/handle/10665/66930. World Health Organization, 2001.

[139] J. Wittsiepe u. a. „Pilot study on the internal exposure to heavy metals of informal-level electronic waste workers in Agbogbloshie, Accra, Ghana“. In: *Environ Sci Pollut Res Int* 24.3 (2017), S. 3097–3107. DOI: 10.1007/s11356-016-8002-5.

[140] M. Xia u. a. „Occupational exposure assessment of phthalate esters in indoor and outdoor microenvironments“. In: *J Environ Sci (China)* 72 (2018), S. 75–88. DOI: 10.1016/j.jes.2017.12.013.

[141] G. H. Xing u. a. „Exposure to PCBs, through inhalation, dermal contact and dust ingestion at Taizhou, China–a major site for recycling transformers“. In: *Chemosphere* 83.4 (2011), S. 605–11. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2010.12.018.

[142] F. Xu u. a. „Levels, distributions and correlations of polybrominated diphenyl ethers in air and dust of household and workplace in Shanghai, China: implication for daily human exposure“. In: *Environ Sci Pollut Res Int* 23.4 (2016), S. 3229–38. DOI: 10.1007/s11356-015-5559-3.

[143] M. Zhang u. a. „Occupational exposure characteristics and health risk of PBDEs at different domestic e-waste recycling workshops in China“. In: *Ecotoxicol Environ Saf* 174 (2019), S. 532–539. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.03.010.

[144] Q. Y. Zhang u. a. „Occurrence of novel organophosphate esters derived from organophosphite antioxidants in an e-waste dismantling area: Associations between hand wipes and dust“. In: *Environ. Int.* 157 (2021), S. 8. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106860.

[145] L. Zhang u. a. „Study of the micromorphology and health risks of arsenic in copper smelting slag tailings for safe resource utilization“. In: *Ecotoxicol Environ Saf* 219 (2021), S. 112321. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.112321.

[146] L. C. Zhao u. a. „E-waste dismantling-related occupational and routine exposure to melamine and its derivatives: Estimating exposure via dust ingestion and hand-to-mouth contact“. In: *Environ. Int.* 165 (2022), S. 10. DOI: 10.1016/j.envint.2022.107299.

[147] X. Zhou u. a. „Tetrabromobisphenol A contamination and emission in printed circuit board production and implications for human exposure“. In: *J Hazard Mater* 273 (2014), S. 27–35. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2014.03.003.

[148] W. H. Zhu u. a. „Investigation and Systematic Risk Assessment in a Typical Contaminated Site of Hazardous Waste Treatment and Disposal“. In: *Front. Public Health* 9 (2021), S. 12. DOI: 10.3389/fpubh.2021.764788.

[149] Y. P. Zou u. a. „Health risk assessment of arsenic in soils from three thermal power plants in Southwest China“. In: *Hum. Ecol. Risk Assess.* 26.5 (2020), S. 1221–1233. DOI: 10.1080/10807039.2018.1561244.

[150] Y. P. Zou u. a. „Health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the soil around thermal power plants in southwest China“. In: *J. Environ. Sci. Health. Part a-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering* 56.7 (2021), S. 786–796. DOI: 10.1080/10934529.2021.1927597.

I.2 Verhalten und Arbeitshygiene

I.2.1 Dokumentation PRISMA-Methodik

Tabelle I.5: Evaluierung der Suchstrategien zu Arbeitshygiene und Verhalten.

Suchstrategie	Studie	Web of Science		PubMed	
		Verfügbar	Identifiziert	Verfügbar	Identifiziert
1	[1]	x	x	x	x
1	[2]	x	x	x	x
1	[3]	x	x	x	x
1	[4]	x	x	x	x
1	[5]	x	x	x	x
1	[6]	x	x	x	x
1	[7]	x	x	x	x
2	[8]	x	x	x	x
2	[9]	x	x	x	x
2	[10]	x	x	x	/
2	[11]	x	x	x	x
2	[12]	x	x	x	x
3	[13]	x	x	x	x
4	[14]	x	x	x	x
5	[15]	x	x	x	x
5	[16]	x	x	x	x

Tabelle I.6: Suchstrings zur systematischen Literaturrecherche über Arbeitshygiene und relevante Verhaltensweisen.

Nr.	Thema	Standard-Suchstring
1	Relevantes Verhalten	(profession* OR participant* OR Worker OR office) AND („contact rate“ OR „contact frequenc*“ OR Behav* OR self-touch*) AND (peri-oral* OR perioral* OR face) AND (hand OR hands)
2	Arbeitshygienische Praxis	(employee OR Worker OR office) AND (((„hand wash*“ OR handwash*) AND (questionnaire OR pract* OR frequenc* OR often OR observ*)) OR („occupational hygiene“ AND (practic* OR observ* OR questionnaire OR implement*))) NOT („hand wash sampl*“)
		Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.6 – Fortführung

Nr.	Thema	Standard-Suchstring
3	Schulungen	(employee OR Worker OR office) AND („occupational hygiene“ OR OSH OR OHS) AND (training) AND (effect* OR improv* OR deteriorat* OR degrad*)
4	Kontrollierbarkeit	touch* AND face AND (reason OR trigger OR awareness)
5	Variabilität	(between-worker OR within-worker) AND variabil* AND expos*

Tabelle I.7: Arbeitshygiene und Verhalten: Suchstrategien, Datenbanken bzw. Websites und Suchdaten. Nummerierte Suchstrategien beziehen sich auf Tabelle I.6

Themenbereich	Suchstrategie	Datenbank, Website	Suchdatum
Relevantes Verhalten	1	Web of Science	04.01.23
Relevantes Verhalten	1	PubMed	04.01.23
Relevantes Verhalten	behavior; behaviour; contact face; ingestion	IOM	01.04 & 01.05.2023
Relevantes Verhalten	behaviour of worker; hand mouth contact	HSE	05.01.23
Relevantes Verhalten	Kontakt Gesicht; Verschlucken	BAuA	01.05 & 01.06.2023
Relevantes Verhalten	behavior AND work; behaviour AND work; hand AND mouth AND contact	RIVM	06.01.23
Relevantes Verhalten	(„contact rate“ OR „contact frequenc*“ OR Behav* OR self-touch*) AND (peri-oral* OR perioral* OR face); contact mouth	TNO	06.01.23
Relevantes Verhalten	1	EPA	06.01.23
Relevantes Verhalten	behavior work; behaviour work; hand mouth contact	NIOSH	09.01.23

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.7 – Fortführung

Themenbereich	Suchstrategie	Datenbank, Website	Suchdatum
Relevantes Verhalten	behavior AND work; behaviour AND work; hand AND face AND contact	WHO	01.09 & 01.11.2023
Relevantes Verhalten	behavior AND work; hand AND face AND contact	OECD	11.01.23
Relevantes Verhalten	1	COCHRANE	13.01.23
Relevantes Verhalten	(Kontakt OR Verhalten OR Berührung) AND (Gesicht OR oral) AND (Hand OR Hände)	Deutsche Nationalbibliothek	13.02.23
Relevantes Verhalten	1	bergischbib	13.02.23
Relevantes Verhalten	(Kontakt OR Verhalten OR Berührung) AND (Gesicht OR oral) AND (Hand OR Hände)	bergischbib	13.02.23
Relevantes Verhalten	1	PubPsych	13.02.23
Arbeitshygienische Praxis	2	Web of Science	04.01.23
Arbeitshygienische Praxis	2	PubMed	04.01.23
Arbeitshygienische Praxis	occupational hygiene	IOM	05.01.23
Arbeitshygienische Praxis	occupational hygiene	HSE	05.01.23
Arbeitshygienische Praxis	Arbeitshygiene	BAuA	01.05 & 01.06.23
Arbeitshygienische Praxis	hygiene AND work	RIVM	06.01.23
Arbeitshygienische Praxis	2; occupational hygiene	TNO	06.01.23
Arbeitshygienische Praxis	(employee OR Worker OR office) AND („hand wash*“ OR handwash* OR „occupational hygiene“)	EPA	06.01.23

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.7 – Fortführung

Themenbereich	Suchstrategie	Datenbank, Website	Suchdatum
Arbeitshygienische Praxis	occupational-hygiene	NIOSH	09.01.23
Arbeitshygienische Praxis	occupational hygiene	WHO	11.01.23
Arbeitshygienische Praxis	„occupational hygiene“	OECD	11.01.23
Arbeitshygienische Praxis	2	COCHRANE	13.01.23
Arbeitshygienische Praxis	(Arbeitshygiene) OR (Arbeit* AND (Händewaschen OR „Hände waschen“))	Deutsche Nationalbibliothek	13.02.23
Arbeitshygienische Praxis	2	bergischbib	13.02.23
Arbeitshygienische Praxis	(Arbeitshygiene) OR (Arbeit* AND (Händewaschen OR „Hände waschen“))	bergischbib	13.02.23
Schulungen	3	Web of Science	04.01.23
Schulungen	3	PubMed	04.01.23
Schulungen	training effect	IOM	05.01.23
Schulungen	training effect	HSE	05.01.23
Schulungen	Schulung Effekt	BAuA	01.05 & 01.06.23
Schulungen	training AND effect	RIVM	06.01.23
Schulungen	3; training AND effect AND work	TNO	06.01.23
Schulungen	3	EPA	06.01.23
Schulungen	training effect	NIOSH	09.01.23
Schulungen	occupation AND training AND effect	WHO	11.01.23
Schulungen	occupation AND training AND effect	OECD	11.01.23
Schulungen	3	COCHRANE	13.01.23

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.7 – Fortführung

Themenbereich	Suchstrategie	Datenbank, Website	Suchdatum
Schulungen	Arbeitshygiene AND Schulung	Deutsche Nationalbibliothek	13.02.23
Schulungen	3	bergischbib	13.02.23
Schulungen	Arbeitshygiene AND Schulung	bergischbib	13.02.23
Schulungen	3	PubPsych	13.02.23
Kontrollierbarkeit	4	Web of Science	04.01.23
Kontrollierbarkeit	4	PubMed	04.01.23
Kontrollierbarkeit	psychology; touch face; trigger	IOM	05.01.23
Kontrollierbarkeit	psychology touch	HSE	05.01.23
Kontrollierbarkeit	Psychologie Berührung; Berührung Gesicht	BAuA	06.01.23
Kontrollierbarkeit	psychology touch; touch face; trigger	RIVM	06.01.23
Kontrollierbarkeit	psychology touch; touch face	TNO	06.01.23
Kontrollierbarkeit	4	EPA	06.01.23
Kontrollierbarkeit	touch face	NIOSH	09.01.23
Kontrollierbarkeit	reason AND touch	WHO	11.01.23
Kontrollierbarkeit	reason AND touch	OECD	11.01.23
Kontrollierbarkeit	4	COCHRANE	13.01.23
Kontrollierbarkeit	Berührung AND Gesicht AND Bewusst*	Deutsche Nationalbibliothek	13.02.23
Kontrollierbarkeit	4	bergischbib	13.02.23
Kontrollierbarkeit	Berührung AND Gesicht AND Bewusst*	bergischbib	13.02.23
Kontrollierbarkeit	4	PubPsych	13.02.23
Variabilität	5	Web of Science	04.01.23
Variabilität	5	PubMed	04.01.23

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.7 – Fortführung

Themenbereich	Suchstrategie	Datenbank, Website	Suchdatum
Variabilität	variability exposure	IOM	05.01.23
Variabilität	variability exposure	HSE	05.01.23
Variabilität	Variabilität Exposition	BAuA	05.01. & 06.01.23
Variabilität	variability exposure	RIVM	06.01.2023
Variabilität	(between-worker OR within-worker) AND variability	TNO	06.01.23
Variabilität	5	EPA	06.01.2023
Variabilität	variability occupational exposure	NIOSH	09.01.23
Variabilität	variability AND „occupational exposure “	WHO	11.01.23
Variabilität	variability AND „occupational exposure“	OECD	11.01.23
Variabilität	5	COCHRANE	11.01.2023
Variabilität	Variab* AND Exposition AND Arbeit	Deutsche Nationalbibliothek	13.02.23
Variabilität	5	bergischbib	13.02.2023
Variabilität	Variab* AND Exposition AND Arbeit	bergischbib	13.02.23

Tabelle I.8: Eingeschlossene Studien zu Arbeitshygiene und relevanten Verhaltensweisen sowie Kategorie der enthaltenen Informationen und Arbeitsbereiche. Qual.: qualitativ, Quan.: Quantitativ.

			Grobkategorie						**Arbeitsbereiche**																	
Erstautor	Jahr	Studie	Kontakthäufigkeit	Qual. Maßnahmen	Quan. Maßnahmen	Schulung	Variabilität	Kontrollierbarkeit	n.a.	Abfall	Akkumulatoren	Außenbereiche	Bauarbeiten	Energiesektor	Innenräume	Krankenpflege	Labor	Landwirtschaft	Metallverarbeitung	Lebensmittel	Polymersektor	Recycling (E-Schrott)	Schädlingsbekämpfung	Sonstige Industrie	Umgang mit Waffen / Munition	Werkstätten
Abbas	2020	[17]				x										x										
Adams	2015	[18]				x												x								
Akyol	2007	[19]			x											x										
Albright	2018	[11]			x											x										
Almerud	2017	[20]					x																	x		
Aryal	2019	[21]				x						x			x											
Bakke	2014	[22]					x						x													
Bartnicka	2021	[23]				x																		x		
Bauer	2018	[24]			x	x																				
Beine	2022	[25]			x																					
Berumen-Flucker	2019	[26]				x						x						x								
Blanco	2005	[27]		x			x											x								

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.8 – Fortführung

			Grobkategorie						Arbeitsbereiche																	
Erstautor	Jahr	Studie	Kontakthäufigkeit	Qual. Maßnahmen	Quan. Maßnahmen	Schulung	Variabilität	Kontrollierbarkeit	n.a.	Abfall	Akkumulatoren	Außenbereiche	Bauarbeiten	Energiesektor	Innenräume	Krankenpflege	Labor	Landwirtschaft	Metallverarbeitung	Lebensmittel	Polymersektor	Recycling (E-Schrott)	Schädlingsbekämpfung	Sonstige Industrie	Umgang mit Waffen / Munition	Werkstätten
Boudigaard	2022	[28]					x						x						x					x		
Burns	2021	[29]			x											x										
Burstyn	2000	[30]					x						x													
Cherrie	2006	[31]	x												x		x						x	x		
Christensen	2021	[32]	x					x	x																	
Christopher	2008	[33]	x													x		x	x							
Clemmensen	2015	[34]			x	x									x	x										
Cocker	2006	[35]					x																	x		
Curwin	2005	[36]			x													x								
Curwin	2003	[37]			x													x								
das Neves	2006	[38]				x										x										
Deepak; Faujdar	2020	[39]			x											x										
Duran	2013	[40]						x	x																	

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.8 – Fortführung

			Grobkategorie						Arbeitsbereiche																	
Erstautor	Jahr	Studie	Kontakthäufigkeit	Qual. Maßnahmen	Quan. Maßnahmen	Schulung	Variabilität	Kontrollierbarkeit	n.a.	Abfall	Akkumulatoren	Außenbereiche	Bauarbeiten	Energiesektor	Innenräume	Krankenpflege	Labor	Landwirtschaft	Metallverarbeitung	Lebensmittel	Polymersektor	Recycling (E-Schrott)	Schädlingsbekämpfung	Sonstige Industrie	Umgang mit Waffen / Munition	Werkstätten
Durmusoglu	2020	[41]			x																					
Egeghy	2002	[42]					x																			x
Elder	2014	[43]	x		x			x								x										
Findik	2011	[44]			x											x										
Fitzpatrick	2011	[45]				x										x										
Formisano	2001	[46]					x						x						x						x	
Fuhrimann	2020	[47]					x											x								
Fustinoni	2010	[48]					x																	x		
Galea	2013	[49]					x					x														
Gijsbers	2004	[50]					x		x																	
Gorman Ng	2016	[1]	x					x						x			x		x					x		x
Gould	2007	[51]				x										x										
Green	2005	[52]			x															x						
Grunwald	2014	[53]						x							x											

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.8 – Fortführung

			Grobkategorie						Arbeitsbereiche																	
Erstautor	Jahr	Studie	Kontakthäufigkeit	Qual. Maßnahmen	Quan. Maßnahmen	Schulung	Variabilität	Kontrollierbarkeit	n.a.	Abfall	Akkumulatoren	Außenbereiche	Bauarbeiten	Energiesektor	Innenräume	Krankenpflege	Labor	Landwirtschaft	Metallverarbeitung	Lebensmittel	Polymersektor	Recycling (E-Schrott)	Schädlingsbekämpfung	Sonstige Industrie	Umgang mit Waffen / Munition	Werkstätten
Grzywacz	2022	[54]				x												x								
Gu	2015	[55]			x										x											
Hagstrom	2008	[56]					x																	x		
Hamid	2018	[57]			x											x										
Hamnerius	2018	[58]			x											x										
Hasylin	2022	[59]		x																						x
Healy	2014	[60]					x					x														x
Hedmer	2014	[61]					x												x							
Hedmer	2017	[62]					x						x													
Hertsenberg	2007	[63]					x																			x
Hines	2001	[64]					x					x			x											
Hwang	2013	[65]					x																	x		
Hwang	2017	[66]					x																	x		
Jensen	2015	[67]			x															x						

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.8 – Fortführung

			Grobkategorie						Arbeitsbereiche																		
Erstautor	Jahr	Studie	Kontakthäufigkeit	Qual. Maßnahmen	Quan. Maßnahmen	Schulung	Variabilität	Kontrollierbarkeit	n.a.	Abfall	Akkumulatoren	Außenbereiche	Bauarbeiten	Energiesektor	Innenräume	Krankenpflege	Labor	Landwirtschaft	Metallverarbeitung	Lebensmittel	Polymersektor	Recycling (E-Schrott)	Schädlingsbekämpfung	Sonstige Industrie	Umgang mit Waffen / Munition	Werkstätten
Johnston	2014	[68]	x		x												x									
Jones	2016	[69]					x					x	x													
Joshi	2017	[70]				x										x										
Karaoglu	2018	[71]				x										x										
Korinth	2007	[72]			x																			x		
Kromhout	2004	[73]					x		x																	
Kromhout	2001	[16]					x					x						x						x		
Kwok	2015	[74]	x												x											
Lazovich	2002	[75]					x																			x
Lee	2013	[76]			x											x										
Lewis	2021	[7]	x						x																	
Lewné	2017	[77]					x													x						
Lewné	2011	[78]					x																			
Liebst	2022	[79]						x				x														

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.8 – Fortführung

			Grobkategorie						Arbeitsbereiche																	
Erstautor	Jahr	Studie	Kontakthäufigkeit	Qual. Maßnahmen	Quan. Maßnahmen	Schulung	Variabilität	Kontrollierbarkeit	n.a.	Abfall	Akkumulatoren	Außenbereiche	Bauarbeiten	Energiesektor	Innenräume	Krankenpflege	Labor	Landwirtschaft	Metallverarbeitung	Lebensmittel	Polymersektor	Recycling (E-Schrott)	Schädlingsbekämpfung	Sonstige Industrie	Umgang mit Waffen / Munition	Werkstätten
Liljelind	2009	[80]					x																			
Liljelind	2003	[81]					x																	x		
Löffler	2006	[82]				x										x										
Luong Thanh	2016	[83]				x			x				x			x		x								
MacFarlane	2015	[84]			x											x										
Malhotra	2008	[85]				x														x						
Mamuya	2006	[86]					x																	x		
Manghisi	2020	[87]						x	x																	
McNally	2014	[88]					x		x																	
Meding	2006	[89]			x																					
Mueller	2019	[5]						x	x																	
Mwaiselage	2005	[90]					x																	x		
Naikoba	2001	[91]				x										x										

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.8 – Fortführung

			Grobkategorie						Arbeitsbereiche																		
Erstautor	Jahr	Studie	Kontakthäufigkeit	Qual. Maßnahmen	Quan. Maßnahmen	Schulung	Variabilität	Kontrollierbarkeit	n.a.	Abfall	Akkumulatoren	Außenbereiche	Bauarbeiten	Energiesektor	Innenräume	Krankenpflege	Labor	Landwirtschaft	Metallverarbeitung	Lebensmittel	Polymersektor	Recycling (E-Schrott)	Schädlingsbekämpfung	Sonstige Industrie	Umgang mit Waffen / Munition	Werkstätten
Natnael	2022	[92]			x										x											
Nicas	2008	[2]	x												x											
Nik Husain	2018	[93]				x														x						
Noto	2018	[94]					x																	x		
Oh	2021	[95]	x												x											
Ozyazicioğlu	2010	[96]			x											x										
Peretz	2002	[97]					x											x						x		
Peretz	2003	[98]					x											x						x		
Picheansathian	2004	[99]			x											x										
Ralph	2022	[100]	x					x							x											
Rappaport	2003	[101]					x						x													
Roberts	2022	[102]				x														x						
Rosenthal	2003	[103]				x										x										

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.8 – Fortführung

			Grobkategorie						Arbeitsbereiche																		
Erstautor	Jahr	Studie	Kontakthäufigkeit	Qual. Maßnahmen	Quan. Maßnahmen	Schulung	Variabilität	Kontrollierbarkeit	n.a.	Abfall	Akkumulatoren	Außenbereiche	Bauarbeiten	Energiesektor	Innenräume	Krankenpflege	Labor	Landwirtschaft	Metallverarbeitung	Lebensmittel	Polymersektor	Recycling (E-Schrott)	Schädlingsbekämpfung	Sonstige Industrie	Umgang mit Waffen / Munition	Werkstätten
Sadeghi-Moghaddam	2015	[104]				x										x										
Samadi	2018	[105]					x											x								
Sanguan-chaiyakrit	2014	[106]					x																	x		
Sharma	2021	[107]			x										x											
Shepherd	2013	[108]					x						x													
Shi	2017	[109]			x										x											
Shiraly	2020	[110]	x					x				x			x											
Sobus	2009	[111]					x					x	x													
Soon	2012	[112]				x												x		x						
Spaan	2007	[113]					x			x								x								
Spaan	2008	[114]					x			x								x						x		
Spaan	2008	[115]					x																			

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.8 – Fortführung

			Grobkategorie						Arbeitsbereiche																		
Erstautor	Jahr	Studie	Kontakthäufigkeit	Qual. Maßnahmen	Quan. Maßnahmen	Schulung	Variabilität	Kontrollierbarkeit	n.a.	Abfall	Akkumulatoren	Außenbereiche	Bauarbeiten	Energiesektor	Innenräume	Krankenpflege	Labor	Landwirtschaft	Metallverarbeitung	Lebensmittel	Polymersektor	Recycling (E-Schrott)	Schädlingsbekämpfung	Sonstige Industrie	Umgang mit Waffen / Munition	Werkstätten
Spille	2022	[116]	x					x							x											
Spille	2021	[14]						x	x																	
Spille	2022	[117]						x							x											
Steiner	2011	[118]			x															x						
Strohbehn	2008	[8]			x															x						
Surakka	2000	[10]			x																			x		
Symanski	2006	[15]					x						x	x	x			x	x	x			x	x		x
Symanski	2001	[119]					x																	x		
Szabó	2015	[120]			x											x										
Tang	2022	[121]	x					x							x											
Tao	2020	[122]	x												x											
Teker	2015	[123]				x										x										
Tielemans	2007	[124]					x											x								
Tjoe Nij	2004	[125]					x						x													

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.8 – Fortführung

			Grobkategorie						Arbeitsbereiche																		
Erstautor	Jahr	Studie	Kontakthäufigkeit	Qual. Maßnahmen	Quan. Maßnahmen	Schulung	Variabilität	Kontrollierbarkeit	n.a.	Abfall	Akkumulatoren	Außenbereiche	Bauarbeiten	Energiesektor	Innenräume	Krankenpflege	Labor	Landwirtschaft	Metallverarbeitung	Lebensmittel	Polymersektor	Recycling (E-Schrott)	Schädlingsbekämpfung	Sonstige Industrie	Umgang mit Waffen / Munition	Werkstätten
Todd	2010	[126]			x															x						
Van Tongeren	2000	[127]					x																	x		
Van Tongeren	2005	[128]					x																	x		
Var	2020	[129]				x										x										
Vermeulen	2001	[9]			x																			x		
Viegas	2022	[130]				x													x							
Vinnikov	2020	[131]					x					x														
Vinzents	2001	[132]					x																	x		
Visser	2011	[133]			x											x										
Watkins	2011	[12]			x										x											
Wiener	2021	[134]	x					x								x										
Wouters	2006	[135]					x			x																

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.8 – Fortführung

			Grobkategorie						Arbeitsbereiche																	
Erstautor	Jahr	Studie	Kontakthäufigkeit	Qual. Maßnahmen	Quan. Maßnahmen	Schulung	Variabilität	Kontrollierbarkeit	n.a.	Abfall	Akkumulatoren	Außenbereiche	Bauarbeiten	Energiesektor	Innenräume	Krankenpflege	Labor	Landwirtschaft	Metallverarbeitung	Lebensmittel	Polymersektor	Recycling (E-Schrott)	Schädlingsbekämpfung	Sonstige Industrie	Umgang mit Waffen / Munition	Werkstätten
Zack	2018	[136]			x										x	x								x		
Zhang	2020	[3]	x												x											
Zilaout	2023	[137]					x																	x		
Zivich	2021	[4]			x										x											

I.2.2 Kumulative Häufigkeitsverteilungen

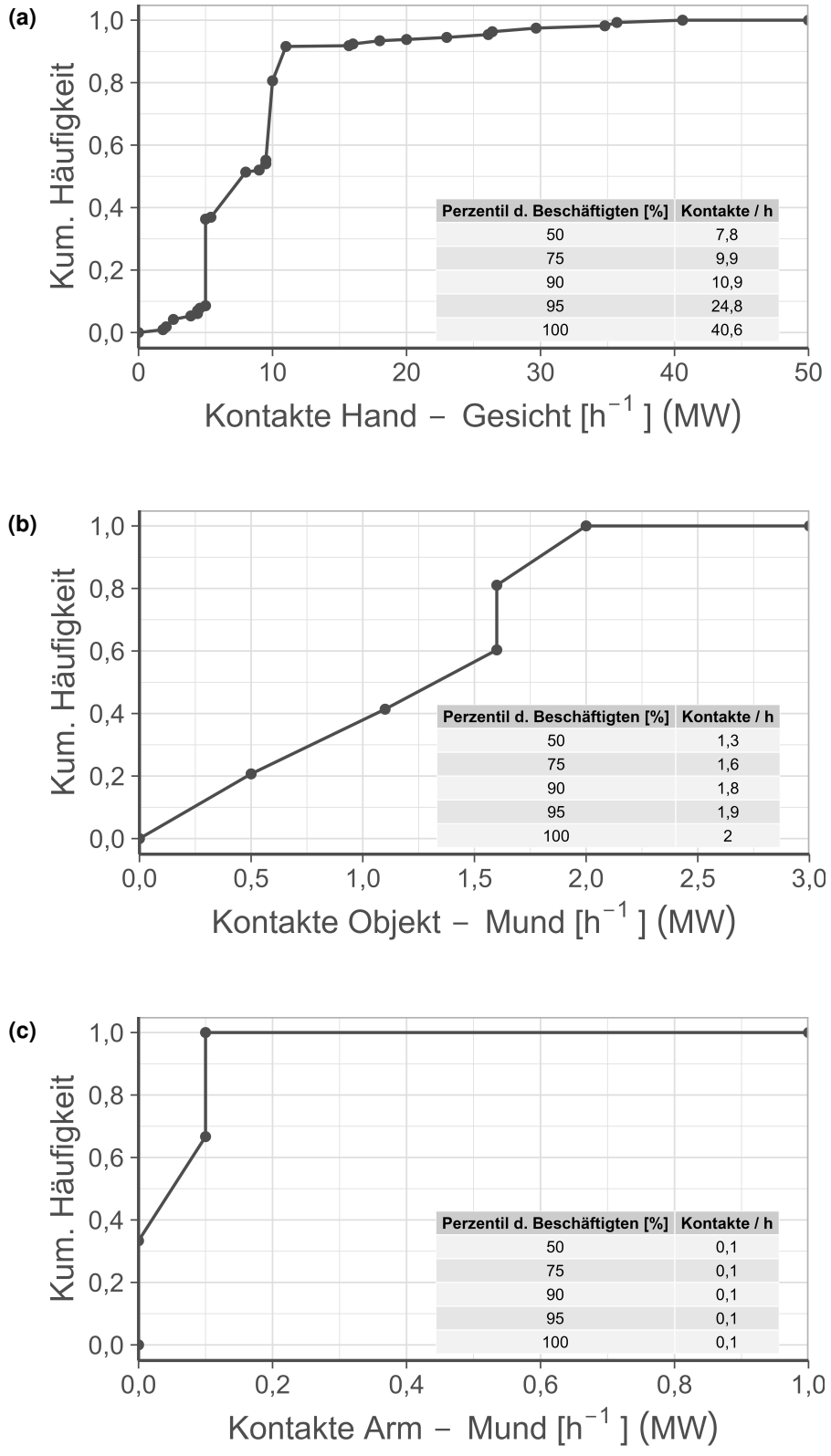
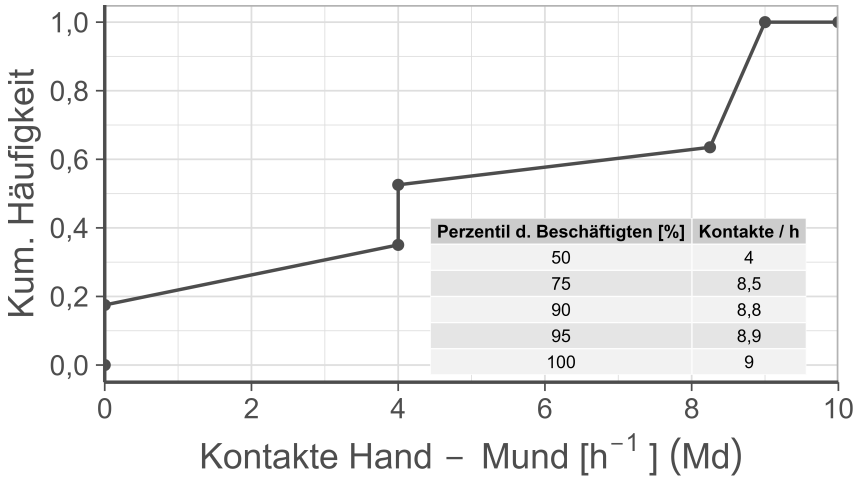


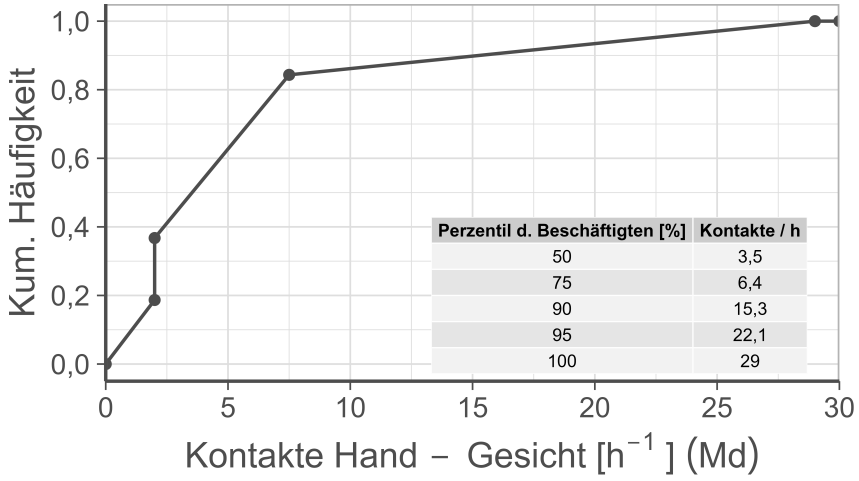
Abbildung I.1: Kumulative (kum.) Verteilfunktionen der (a) Hand-Gesicht, (b) Objekt-Mund und (c) Arm-Mund Kontakte basierend auf in der Literatur dokumentierten Mittelwerten (MW).

(a)



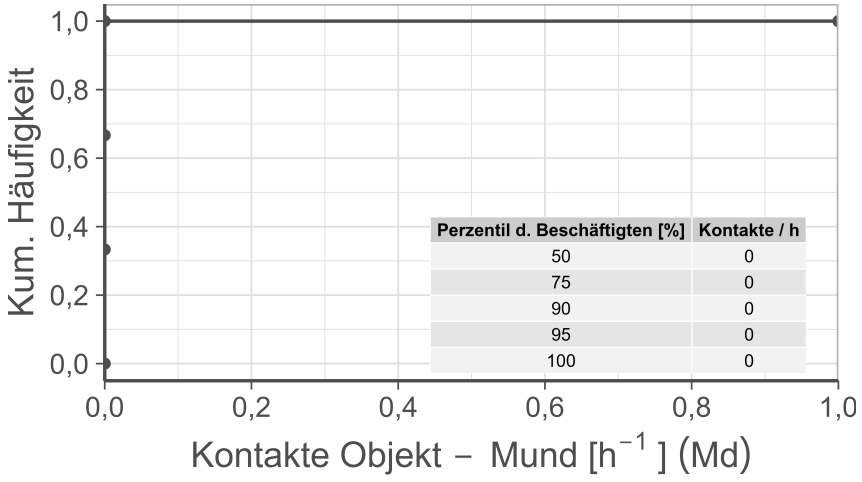
Perzentil d. Beschäftigten [%]	Kontakte / h
50	4
75	8,5
90	8,8
95	8,9
100	9

(b)



Perzentil d. Beschäftigten [%]	Kontakte / h
50	3,5
75	6,4
90	15,3
95	22,1
100	29

(c)



Perzentil d. Beschäftigten [%]	Kontakte / h
50	0
75	0
90	0
95	0
100	0

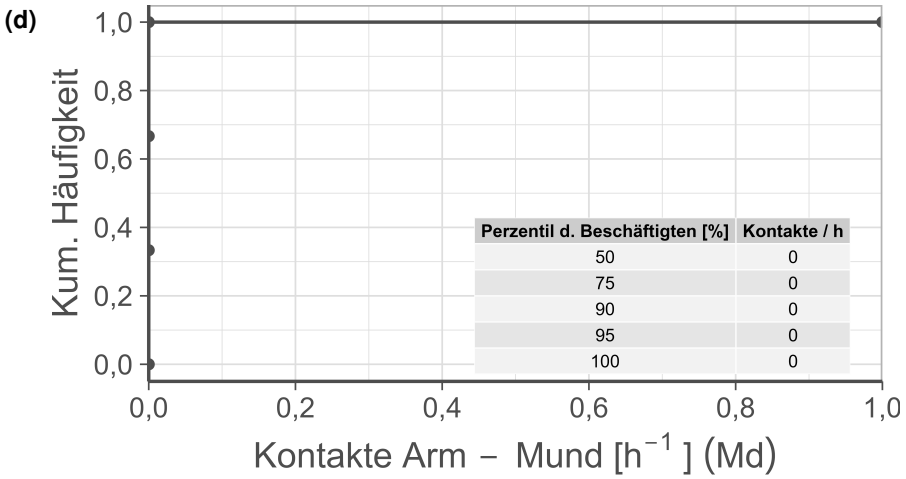
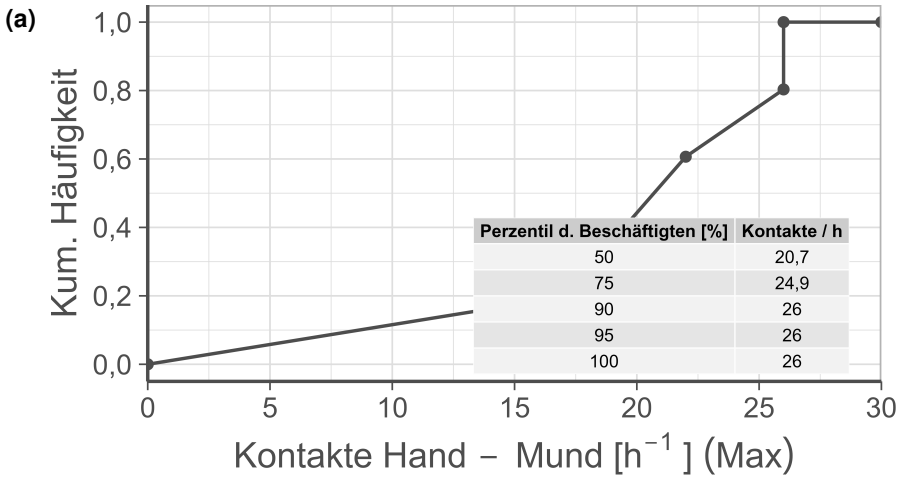
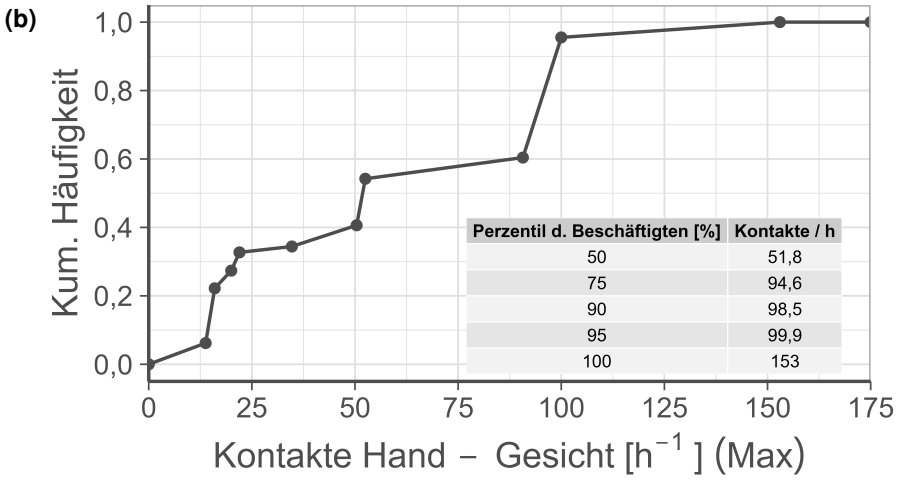
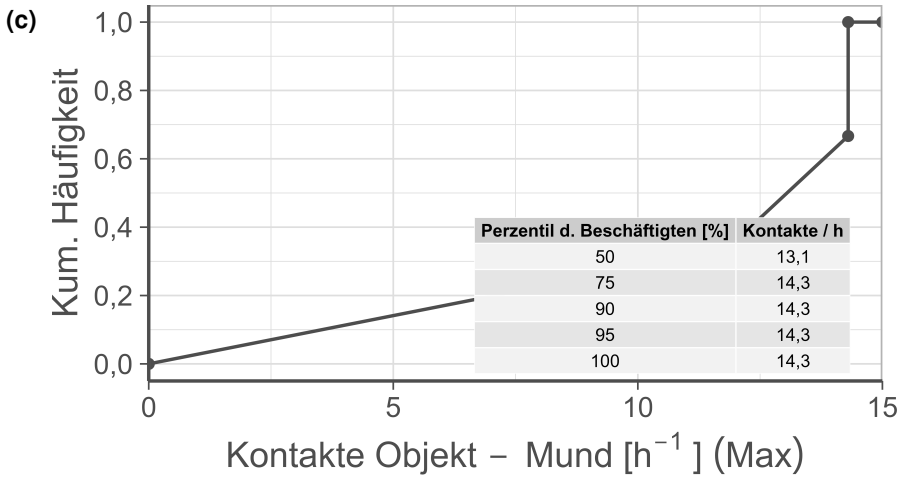


Abbildung I.2: Kumulative (kum.) Verteilfunktion der (a) Hand-Mund, (b) Hand-Gesicht, (c) Objekt-Mund und (d) Arm-Mund Kontakte basierend auf in der Literatur dokumentierten Medianen (Md).







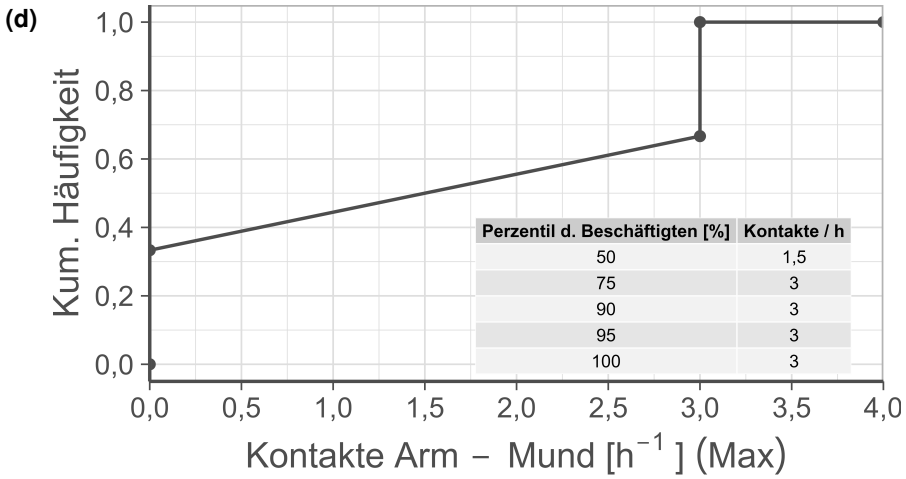


Abbildung I.3: Kumulative (kum.) Verteilfunktion der (a) Hand-Mund, (b) Hand-Gesicht, (c) Objekt-Mund und (d) Arm-Mund Kontakte basierend auf in der Literatur dokumentierten Maxima (Max).

I.2.3 Fehlerfortpflanzung

Zu den Intervallen, in denen Schutzmaßnahmen oder arbeitshygienische Praktiken angegeben werden, werden anhand der Anzahl der Beschäftigten gewichtete Mittelwerte $\bar{x}$ berechnet:

$$\bar{x} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{M} \frac{1}{t_i} \cdot \frac{I_i n_i}{n_{ges}} \tag{I.1}$$

Dabei gibt M die Anzahl der Intervalle, t_i die Beobachtungsdauer pro Intervall, I_i die Intervallmitte, n_i die Anzahl der Beschäftigten des Intervalls und n_{ges} die Gesamtzahl der Beschäftigten der Beobachtungsstudie an. Die Intervallmitte berechnet sich dabei aus der unteren Intervallgrenze $I_{\textit{untere Grenze}}$ und der Intervallbreite *Intervallbreite*$_i$ gemäß

$$I_i = I_{\textit{untere Grenze}} + \frac{\textit{Intervallbreite}_i}{2} \tag{I.2}$$

Ist für das letzte Intervall keine obere Grenze angegeben (bspw. mind. 8 Kontakte pro Tag) wird die Intervallmitte anhand der mittleren Intervallbreite der verbleibenden Intervalle der Studie angenähert. Die Intervallmitte entspricht dabei jedoch nicht dem genauen Wert der vorliegenden Kontakte und ist deshalb fehlerbehaftet. Die maximale Abweichung vom wahren Wert und der Intervallmitte liegt bei

$$\Delta\bar{x}_i = \pm\frac{1}{2}\textit{Intervallbreite}_i \tag{I.3}$$

Gemäß Gaußscher Fehlerfortpflanzung ist der Fehler durch die Annahme der Intervallmitte

$$\Delta\bar{x} = \sqrt{\sum_{i=1}^{M} (\Delta\bar{x}_i)^2 \cdot (\frac{\partial\bar{x}}{\partial I_i})^2} \tag{I.4}$$

mit

$$\frac{\partial\bar{x}}{\partial I_i} = \frac{1}{M}\frac{1}{t_i}\frac{1}{n_{ges}} n_i \tag{I.5}$$

sodass Häufigkeiten insgesamt als

$$\bar{x} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{M} \frac{1}{t_i} \cdot \frac{I_i n_i}{n_{ges}} \pm \Delta\bar{x} \tag{I.6}$$

beschrieben werden können.

Literatur

[1] M. Gorman Ng u. a. „Inadvertent ingestion exposure: hand- and object-to-mouth behavior among workers“. In: *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 26.1 (2016), S. 9–16. DOI: 10.1038/jes.2014.71.

[2] M. Nicas und D. Best. „A study quantifying the hand-to-face contact rate and its potential application to predicting respiratory tract infection“. In: *J. Occup. Environ. Hyg.* 5.6 (2008), S. 347–352. DOI: 10.1080/15459620802003896.

[3] N. Zhang u. a. „Most self-touches are with the nondominant hand“. In: *Sci Rep* 10.1 (2020), S. 10457. DOI: 10.1038/s41598-020-67521-5.

[4] P. N. Zivich u. a. „Measuring office workplace interactions and hand hygiene behaviors through electronic sensors: A feasibility study“. In: *PLOS ONE* 16.1 (2021), e0243358. DOI: 10.1371/journal.pone.0243358.

[5] S. M. Mueller, S. Martin und M. Grunwald. „Self-touch: Contact durations and point of touch of spontaneous facial self-touches differ depending on cognitive and emotional load“. In: *PLOS ONE* 14.3 (2019), e0213677. DOI: 10.1371/journal.pone.0213677.

[6] J. Rahman, J. Mumin und B. Fakhruddin. „How Frequently Do We Touch Facial T-Zone: A Systematic Review“. In: *Ann. Glob. Health* 86.1 (2020). DOI: 10.5334/aogh.2956.

[7] R. C. Lewis, R. Rauschenberger und R. Kalmes. „Hand-to-mouth and other hand-to-face touching behavior in a quasi-naturalistic study under controlled conditions“. In: *J Toxicol Environ Health A* 84.2 (2021), S. 49–55. DOI: 10.1080/15287394.2020.1830457.

[8] C. Strohbehn u. a. „Hand washing frequencies and procedures used in retail food services“. In: *J Food Prot* 71.8 (2008), S. 1641–50. DOI: 10.4315/0362-028x-71.8.1641.

[9] R. Vermeulen u. a. „Dermal exposure, handwashing, and hand dermatitis in the rubber manufacturing industry“. In: *Epidemiology* 12.3 (2001), S. 350–4. DOI: 10.1097/00001648-200105000-00016.

[10] J. Surakka u. a. „Workers' dermal exposure to UV-curable acrylates in the furniture and parquet industry“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 44.8 (2000), S. 635–644. DOI: 10.1016/S0003-4878(00)00011-9.

[11] J. Albright u. a. „Use patterns and frequency of hand hygiene in healthcare facilities: Analysis of electronic surveillance data“. In: *Am J Infect Control* 46.10 (2018), S. 1104–1109. DOI: 10.1016/j.ajic.2018.04.205.

[12] D. J. Watkins u. a. „Exposure to PBDEs in the office environment: evaluating the relationships between dust, handwipes, and serum“. In: *Environ Health Perspect* 119.9 (2011), S. 1247–52. DOI: 10.1289/ehp.1003271.

[13] L. S. Robson u. a. „A systematic review of the effectiveness of occupational health and safety training“. In: *Scand J Work Environ Health* 38.3 (2012), S. 193–208. DOI: 10.5271/sjweh.3259.

[14] J. L. Spille u. a. „Stop touching your face! A systematic review of triggers, characteristics, regulatory functions and neuro-physiology of facial self touch“. In: *Neurosci. Biobehav. Rev.* 128 (2021), S. 102–116. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2021.05.030.

[15] E. Symanski, S. Maberti und W. Chan. „A meta-analytic approach for characterizing the within-worker and between-worker sources of variation in occupational exposure“. In: *Ann Occup Hyg* 50.4 (2006), S. 343–57. DOI: 10.1093/annhyg/mel006.

[16] H. Kromhout und R. Vermeulen. „Temporal, personal and spatial variability in dermal exposure“. In: *Ann Occup Hyg* 45.4 (2001), S. 257–73. ISSN: 0003-4878 (Print) 0003-4878.

[17] K. Abbas u. a. „A web-based health education module and its impact on the preventive practices of health-care workers during the COVID-19 pandemic“. In: *Health Educ Res* 35.5 (2020), S. 353–361. DOI: 10.1093/her/cyaa034.

[18] W. C. Adams. „Conducting Semi-Structured Interviews“. In: *Handbook of Practical Program Evaluation*. John Wiley und Sons, Ltd, 2015. Kap. 19, S. 492–505. DOI: https://doi.org/10.1002/9781119171386.ch19.

[19] A. D. Akyol. „Hand hygiene among nurses in Turkey: opinions and practices“. In: *J Clin Nurs* 16.3 (2007), S. 431–7. DOI: 10.1111/j.1365-2702.2005.01543.x.

[20] P. Almerud u. a. „Low personal exposure to benzene and 1,3-butadiene in the Swedish petroleum refinery industry“. In: *Int Arch Occup Environ Health* 90.7 (2017), S. 713–724. DOI: 10.1007/s00420-017-1234-y.

[21] A. Aryal, M. Parish und D. S. Rohlman. „Generalizability of Total Worker Health® Online Training for Young Workers“. In: *Int. J. Environ. Res. Public Health* 16.4 (2019), S. 577. DOI: 10.3390/ijerph16040577.

[22] B. Bakke u. a. „Characterization of Occupational Exposure to Air Contaminants in Modern Tunnelling Operations“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 58.7 (2014), S. 818–829. DOI: 10.1093/annhyg/meu034.

[23] J. Bartnicka u. a. „Evaluation of the Effectiveness of Employers and H&S Services in Relation to the COVID-19 System in Polish Manufacturing Companies“. In: *Int J Environ Res Public Health* 18.17 (2021). DOI: 10.3390/ijerph18179302.

[24] A. Bauer u. a. „Interventions for preventing occupational irritant hand dermatitis“. In: *Cochrane Database Syst Rev* 4.4 (2018), S. Cd004414. DOI: 10.1002/14651858.CD004414.pub3.

[25] A. Beine u. a. „Skin symptoms in veterinary assistant staff and veterinarians: A cross-sectional study“. In: *Contact Dermat.* 87.3 (2022), S. 247–257. DOI: 10.1111/cod.14146.

[26] B. Berumen-Flucker u. a. „Evaluation of Safety Management and Leadership Training Using Mobile Technologies among Logging Supervisors“. In: *J Agromedicine* 24.2 (2019), S. 197–204. DOI: 10.1080/1059924x.2019.1567420.

[27] L. E. Blanco u. a. „Determinants of Dermal Exposure among Nicaraguan Subsistence Farmers during Pesticide Applications with Backpack Sprayers“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 49.1 (2005), S. 17–24. DOI: 10.1093/annhyg/meh084.

[28] S. H. Boudigaard u. a. „Determinants of Respirable Quartz Exposure Concentrations Across Occupations in Denmark, 2018“. In: *Ann Work Expo Health* 66.4 (2022), S. 472–480. DOI: 10.1093/annweh/wxab116.

[29] E. S. Burns, P. Pathmarajah und V. Muralidharan. „Physical and psychological impacts of handwashing and personal protective equipment usage in the COVID-19 pandemic: A UK based cross-sectional analysis of healthcare workers“. In: *Dermatol Ther* 34.3 (2021), e14885. DOI: 10.1111/dth.14885.

[30] I. Burstyn und H. Kromhout. „Are the members of a paving crew uniformly exposed to bitumen fume, organic vapor, and benzo(a)pyrene?“ In: *Risk Anal* 20.5 (2000), S. 653–63. DOI: 10.1111/0272-4332.205059.

[31] J. W. Cherrie u. a. „How Important is Inadvertent Ingestion of Hazardous Substances at Work?“ In: *Ann. Occup. Hyg.* 50.7 (2006), S. 693–704. DOI: 10.1093/annhyg/mel035.

[32] P. A. Christensen u. a. „The role of facial contact in infection control: Renewed import in the age of coronavirus“. In: *Am. J. Infect. Control* 49.6 (2021), S. 663–673. DOI: 10.1016/j.ajic.2020.10.017.

[33] Y. Christopher. „Inadvertent ingestion exposure to hazardous substances in the workplace“. Dissertation. Aberdeen: University of Aberdeen, 2008.

[34] K. K. Clemmensen u. a. „Evidence-based training as primary prevention of hand eczema in a population of hospital cleaning workers“. In: *Contact Dermat.* 72.1 (2015), S. 47–54. DOI: 10.1111/cod.12304.

[35] J. Cocker u. a. „Biomonitoring for chromium and arsenic in timber treatment plant workers exposed to CCA wood Preservatives“. In: *Ann Occup Hyg* 50.5 (2006), S. 517–25. DOI: 10.1093/annhyg/mel009.

[36] B. D. Curwin u. a. „Nicotine exposure and decontamination on tobacco harvesters' hands“. In: *Ann Occup Hyg* 49.5 (2005), S. 407–13. DOI: 10.1093/annhyg/meh112.

[37] B. D. Curwin u. a. „Acephate exposure and decontamination on tobacco harvesters' hands“. In: *J EXPO SCI ENV EPID* 13.3 (2003), S. 203–210. DOI: 10.1038/sj.jea.7500271.

[38] Z. C. das Neves u. a. „Hand hygiene: The impact of incentive strategies on adherence among healthcare workers from a newborn intensive care unit“. In: *Rev Lat Am Enfermagem* 14.4 (2006), S. 546–52. DOI: 10.1590/s0104-11692006000400012.

[39] Deepak u. a. „Hand hygiene knowledge, attitude, practice and hand microflora analysis of staff nurses in a rural tertiary care hospital“. In: *J Family Med Prim Care* 9.9 (2020), S. 4969–4973. DOI: 10.4103/jfmpc.jfmpc_773_20.

[40] N. D. Duran u. a. „Exploring the movement dynamics of deception“. In: *Front Psychol* 4 (2013), S. 140. DOI: 10.3389/fpsyg.2013.00140.

[41] H. Durmuşoğlu u. a. „Effects of workers' hand washing and knife disinfection practices on microbiological quality of small animal carcasses in slaughterhouse environment“. In: *J. Food Process. Preserv.* 44.12 (2020). DOI: 10.1111/jfpp.14918.

[42] P. P. Egeghy u. a. „Self-collected breath sampling for monitoring low-level benzene exposures among automobile mechanics“. In: *Ann Occup Hyg* 46.5 (2002), S. 489–500. ISSN: 0003-4878 (Print) 0003-4878.

[43] N. C. Elder u. a. „Hand hygiene and face touching in family medicine offices: a Cincinnati Area Research and Improvement Group (CARInG) network study“. In: *J Am Board Fam Med* 27.3 (2014), S. 339–46. DOI: 10.3122/jabfm.2014.03.130242.

[44] U. Y. Findik u. a. „Evaluation of handwashing behaviors and analysis of hand flora of intensive care unit nurses“. In: *Asian Nurs Res (Korean Soc Nurs Sci)* 5.2 (2011), S. 99–107. DOI: 10.1016/s1976-1317(11)60018-2.

[45] M. Fitzpatrick u. a. „A novel educational programme to improve knowledge regarding health care-associated infection and hand hygiene“. In: *Int J Nurs Pract* 17.3 (2011), S. 269–74. DOI: 10.1111/j.1440-172X.2011.01934.x.

[46] J. Formisano J. A. u. a. „Application of statistical models for secondary data usage of the US Navy's Occupational Exposure Database (NOED)“. In: *Appl Occup Environ Hyg* 16.2 (2001), S. 201–9. DOI: 10.1080/104732201460343.

[47] S. Fuhrimann u. a. „Variability and predictors of weekly pesticide exposure in applicators from organic, sustainable and conventional smallholder farms in Costa Rica“. In: *Occup Environ Med* 77.1 (2020), S. 40–47. DOI: 10.1136/oemed-2019-105884.

[48] S. Fustinoni u. a. „Assessing variability and comparing short-term biomarkers of styrene exposure using a repeated measurements approach“. In: *Toxicol Lett* 192.1 (2010), S. 40–4. ISSN: 0378-4274. DOI: 10.1016/j.toxlet.2009.02.004.

[49] K. Galea u. a. „Determination of the potential for dermal exposure from transfer of lubricants and fuels bu consumers“. In: *ISEE Conference Abstracts* 2013 (2013), S. 3751. DOI: 10.1289/isee.2013.P-2-08-06.

[50] J. H. Gijsbers u. a. „Dermal exposure during filling, loading and brushing with products containing 2-(2-butoxyethoxy)ethanol“. In: *Ann Occup Hyg* 48.3 (2004), S. 219–27. DOI: 10.1093/annhyg/meh008.

[51] D. J. Gould u. a. „Interventions to improve hand hygiene compliance in patient care“. In: *Cochrane Database Syst Rev* 9.9 (2017), S. Cd005186. DOI: 10.1002/14651858.CD005186.pub4.

[52] L. Green u. a. „Food service workers' self-reported food preparation practices: an EHS-Net study“. In: *Int J Hyg Environ Health* 208.1-2 (2005), S. 27–35. DOI: 10.1016/j.ijheh.2005.01.005.

[53] M. Grunwald u. a. „EEG changes caused by spontaneous facial self-touch may represent emotion regulating processes and working memory maintenance“. In: *Brain Res* 1557 (2014), S. 111–26. DOI: 10.1016/j.brainres.2014.02.002.

[54] J. G. Grzywacz u. a. „Comparative Effectiveness of Training Alternatives for the EPA's Worker Protection Standard Regulation Among Immigrant Latino Farmworkers“. In: *J Occup Environ Med* 64.2 (2022), S. 140–145. DOI: 10.1097/jom.0000000000002368.

[55] J. Gu u. a. „Preventive Behaviors and Mental Distress in Response to H1N1 Among University Students in Guangzhou, China“. In: *Asia Pac. J. Public Health* 27.2 (2015), NP1867–NP1879. DOI: 10.1177/1010539512443699.

[56] K. Hagström u. a. „Variability and determinants of wood dust and resin acid exposure during wood pellet production: measurement strategies and bias in assessing exposure-response relationships“. In: *Ann Occup Hyg* 52.8 (2008), S. 685–94. DOI: 10.1093/annhyg/men052.

[57] K. M. Hamid u. a. „Knowledge, attitude and practice of medical laboratory practitioners in the fight against Ebola virus disease“. In: *J Virus Erad* 4.1 (2018), S. 1–5.

[58] N. Hamnerius u. a. „Wet work exposure and hand eczema among healthcare workers: a cross-sectional study“. In: *Br J Dermatol* 178.2 (2018), S. 452–461. DOI: 10.1111/bjd.15813.

[59] H. Hasylin u. a. „A Preliminary Assessment of Health and Safety in the Automobile Industry in Brunei Darussalam: Workers' Knowledge and Practice of Organic Solvents“. In: *Int. J. Environ. Res. Public Health* 19.23 (2022), S. 1–14. DOI: 10.3390/ijerph192315469.

[60] C. B. Healy u. a. „Determinants of respirable crystalline silica exposure among stoneworkers involved in stone restoration work“. In: *Ann Occup Hyg* 58.1 (2014), S. 6–18. DOI: 10.1093/annhyg/met045.

[61] M. Hedmer u. a. „Exposure to respirable dust and manganese and prevalence of airways symptoms, among Swedish mild steel welders in the manufacturing industry“. In: *Int Arch Occup Environ Health* 87.6 (2014), S. 623–634. DOI: 10.1007/s00420-013-0896-3.

[62] M. Hedmer u. a. „Diesel Exhaust Exposure Assessment Among Tunnel Construction Workers-Correlations Between Nitrogen Dioxide, Respirable Elemental Carbon, and Particle Number“. In: *Ann Work Expo Health* 61.5 (2017), S. 539–553. DOI: 10.1093/annweh/wxx024.

[63] S. Hertsenberg u. a. „Quantitative self-assessment of exposure to solvents among shoe repair men“. In: *Ann Occup Hyg* 51.1 (2007), S. 45–51. DOI: 10.1093/annhyg/mel058.

[64] C. J. Hines und J. A. Deddens. „Determinants of chlorpyrifos exposures and urinary 3,5,6-trichloro-2-pyridinol levels among termiticide applicators“. In: *Ann Occup Hyg* 45.4 (2001), S. 309–21.

[65] J. Hwang u. a. „Comprehensive assessment of exposures to elongate mineral particles in the taconite mining industry“. In: *Ann Occup Hyg* 57.8 (2013), S. 966–78. DOI: 10.1093/annhyg/met026.

[66] J. Hwang u. a. „A comprehensive assessment of exposures to respirable dust and silica in the taconite mining industry“. In: *J Occup Environ Hyg* 14.5 (2017), S. 377–388. DOI: 10.1080/15459624.2016.1263392.

[67] D. A. Jensen u. a. „Quantifying the effect of hand wash duration, soap use, ground beef debris, and drying methods on the removal of Enterobacter aerogenes on hands“. In: *J Food Prot* 78.4 (2015), S. 685–90. DOI: 10.4315/0362-028x.Jfp-14-245.

[68] J. D. Johnston u. a. „The influence of risk perception on biosafety level-2 laboratory workers' hand-to-face contact behaviors“. In: *J. Occup. Environ. Hyg.* 11.9 (2014), S. 625–632. DOI: 10.1080/15459624.2014.887206.

[69] R. M. Jones und I. Burstyn. „Cross-classified occupational exposure data“. In: *J Occup Environ Hyg* 13.9 (2016), S. 668–74. DOI: 10.1080/15459624.2016.1165913.

[70] S. Joshi u. a. „Handwashing Practices in Neonatal Intensive Care Unit, Paediatric Intensive Care Unit and Neonatal Nurseries in Patan Hospital“. In: *J Nepal Health Res Counc* 15.1 (2017), S. 56–60. DOI: 10.3126/jnhrc.v15i1.18028.

[71] M. K. Karaoglu und S. Akin. „Effectiveness of Hygienic Hand Washing Training on Hand Washing Practices and Knowledge: A Nonrandomized Quasi-Experimental Design“. In: *J Contin Educ Nurs* 49.8 (2018), S. 360–371. DOI: 10.3928/00220124-20180718-07.

[72] G. Korinth u. a. „Percutaneous absorption of aromatic amines in rubber industry workers: impact of impaired skin and skin barrier creams“. In: *Occup Environ Med* 64.6 (2007), S. 366–72. DOI: 10.1136/oem.2006.027755.

[73] H. Kromhout u. a. „Variability of task-based dermal exposure measurements from a variety of workplaces“. In: *Ann Occup Hyg* 48.3 (2004), S. 187–96. DOI: 10.1093/annhyg/meh030.

[74] Y. L. Kwok, J. Gralton und M. L. McLaws. „Face touching: a frequent habit that has implications for hand hygiene“. In: *Am J Infect Control* 43.2 (2015), S. 112–4. DOI: 10.1016/j.ajic.2014.10.015.

[75] D. Lazovich u. a. „Sample size considerations for studies of intervention efficacy in the occupational setting“. In: *Ann Occup Hyg* 46.2 (2002), S. 219–27. DOI: 10.1093/annhyg/mef028.

[76] S. W. Lee u. a. „Occupational hand eczema among nursing staffs in Korea: Self-reported hand eczema and contact sensitization of hospital nursing staffs“. In: *J Dermatol* 40.3 (2013), S. 182–7. DOI: 10.1111/1346-8138.12036.

[77] M. Lewné u. a. „Exposure to Particles, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and Nitrogen Dioxide in Swedish Restaurant Kitchen Workers“. In: *Ann Work Expo Health* 61.2 (2017), S. 152–163. DOI: 10.1093/annweh/wxw027.

[78] M. Lewné u. a. „Occupational exposure to motor exhaust in Stockholm, Sweden-Different grouping strategies using variability in NO2 to create homogenous groups“. In: *Int. J. Hyg. Environ.* 214.1 (2011), S. 47–52. DOI: 10.1016/j.ijheh.2010.07.001.

[79] L. S. Liebst u. a. „Face-touching behaviour as a possible correlate of mask-wearing: A video observational study of public place incidents during the COVID-19 pandemic“. In: *Transbound Emerg Dis* 69.3 (2022), S. 1319–1325. DOI: 10.1111/tbed.14094.

[80] I. E. Liljelind, A. Hagenbjörk-Gustafsson und L. O. Nilsson. „Potential dermal exposure to methyl methacrylate among dental technicians; variability and determinants in a field study“. In: *J. Environ. Monit.* 11.1 (2009), S. 160–165. DOI: 10.1039/B810355K.

[81] I. Liljelind u. a. „Exposure assessment of monoterpenes and styrene: a comparison of air sampling and biomonitoring“. In: *Occup Environ Med* 60.8 (2003), S. 599–603. DOI: 10.1136/oem.60.8.599.

[82] H. Löffler u. a. „Primary prevention in health care employees: a prospective intervention study with a 3-year training period“. In: *Contact Dermat.* 54.4 (2006), S. 202–9. DOI: 10.1111/j.0105-1873.2006.00825.x.

[83] B. Y. Luong Thanh u. a. „Behavioural interventions to promote workers' use of respiratory protective equipment“. In: *Cochrane Database of Systematic Reviews* 12 (2016). DOI: 10.1002/14651858.CD010157.pub2.

[84] E. MacFarlane u. a. „Use of antiseptic hand rubs in the health and community services industry: an Australian population-based survey“. In: *Contact Dermat.* 73.3 (2015), S. 157–62. DOI: 10.1111/cod.12399.

[85] R. Malhotra u. a. „Evaluation of a Health Education Intervention on Knowledge and Attitudes of Food Handlers Working in a Medical College in Delhi, India“. In: *Asia Pac. J. Public Health* 20.4 (2008), S. 277–286. DOI: 10.1177/1010539508322242.

[86] S. H. D. Mamuya u. a. „Variability of Exposure and Estimation of Cumulative Exposure in a Manually Operated Coal Mine“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 50.7 (2006), S. 737–745. DOI: 10.1093/annhyg/mel031.

[87] V. M. Manghisi u. a. „A Body Tracking-Based Low-Cost Solution for Monitoring Workers' Hygiene Best Practices during Pandemics“. In: *Sensors (Basel)* 20.21 (2020). DOI: 10.3390/s20216149.

[88] K. McNally u. a. „Advanced REACH Tool: a Bayesian model for occupational exposure assessment“. In: *Ann Occup Hyg* 58.5 (2014), S. 551–65. DOI: 10.1093/annhyg/meu017.

[89] B. Meding u. a. „Occupational skin exposure and hand eczema among dental technicians-need for improved prevention“. In: *Scand J Work Environ Health* 32.3 (2006), S. 219–24. DOI: 10.5271/sjweh.1002.

[90] J. Mwaiselage u. a. „Variability in dust exposure in a cement factory in Tanzania“. In: *Ann Occup Hyg* 49.6 (2005), S. 511–9. DOI: 10.1093/annhyg/mei013.

[91] S. Naikoba und A. Hayward. „The effectiveness of interventions aimed at increasing handwashing in healthcare workers - A systematic review“. In: *J. Hosp. Infect.* 47.3 (2001), S. 173–80. DOI: 10.1053/jhin.2000.0882.

[92] T. Natnael, M. Adane und S. Goraw. „Hand hygiene practices during the COVID-19 pandemic and associated factors among barbers and beauty salon workers in Ethiopia“. In: *PLoS One* 17.7 (2022), e0269225. DOI: 10.1371/journal.pone.0269225.

[93] N. Nik Husain u. a. „The Effect of Food Safety Education on Handwashing Practices in School Canteens' Food Handlers“. In: *Sains Malaysiana* 47.9 (2018), S. 2119–2128. DOI: 10.17576/jsm-2018-4709-21.

[94] H. Notø u. a. „Job Tasks as Determinants of Thoracic Aerosol Exposure in the Cement Production Industry“. In: *Ann. Work Expo. Health* 62.1 (2017), S. 88–100. DOI: 10.1093/annweh/wxx085.

[95] H. S. Oh, M. Ryu und Y. Yang. „Hand-to-face contact behaviors during indoor activities in daily life among Korean adults: an observational pilot study using videotaping“. In: *Epidemiol Health* 43 (2021), e2021030. DOI: 10.4178/epih.e2021030.

[96] N. Ozyazicioğlu, S. Sürenler und G. Tanriverdi. „Hand dermatitis among paediatric nurses“. In: *J Clin Nurs* 19.11-12 (2010), S. 1597–603. DOI: 10.1111/j.1365-2702.2010.03194.x.

[97] C. Peretz u. a. „Application of Mixed-effects Models for Exposure Assessment“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 46.1 (2002), S. 69–77. DOI: 10.1093/annhyg/mef009.

[98] C. Peretz. „Modeling repeated measurement data for occupational exposure assessment and epidemiology“. Dissertation. Utrecht: Utrecht University, 2003.

[99] W. Picheansathian. „A systematic review on the effectiveness of alcohol-based solutions for hand hygiene“. In: *Int J Nurs Pract* 10.1 (2004), S. 3–9. DOI: 10.1111/j.1440-172x.2003.00457.x.

[100] F. Ralph u. a. „U can't touch this! Face touching behaviour whilst driving: implications for health, hygiene and human factors“. In: *Ergonomics* 65.7 (2022), S. 943–959. DOI: 10.1080/00140139.2021.2004241.

[101] S. M. Rappaport u. a. „Excessive exposure to silica in the US construction industry“. In: *Ann Occup Hyg* 47.2 (2003), S. 111–22. DOI: 10.1093/annhyg/meg025.

[102] K. R. Roberts u. a. „Impact of Training on Employees' Handwashing Behaviors in School Nutrition Programs“. In: *J Acad Nutr Diet* 123.5 (2022), 770–782.e4. DOI: 10.1016/j.jand.2022.11.009.

[103] V. D. Rosenthal u. a. „Effect of education and performance feedback on handwashing: the benefit of administrative support in Argentinean hospitals“. In: *Am J Infect Control* 31.2 (2003), S. 85–92. DOI: 10.1067/mic.2003.63.

[104] P. Sadeghi-Moghaddam u. a. „Does training improve compliance with hand hygiene and decrease infections in the neonatal intensive care unit? A prospective study“. In: *J Neonatal Perinatal Med* 8.3 (2015), S. 221–5. DOI: 10.3233/npm-15915001.

[105] S. Samadi u. a. „Bovine Allergens in a Ruminant Clinic and Dairy Barns: Exposure Levels, Determinants, and Variability“. In: *Ann. Work Expo. Health* 62.6 (2018), S. 663–673. DOI: 10.1093/annweh/wxy028.

[106] N. Sanguanchaiyakrit, A. C. Povey und F. de Vocht. „Personal exposure to inhalable dust and the specific latex aero-allergen, Hev b6.02, in latex glove manufacturing in Thailand“. In: *Ann Occup Hyg* 58.5 (2014), S. 542–50. DOI: 10.1093/annhyg/meu013.

[107] M. Sharma u. a. „Explaining Handwashing Behavior in a Sample of College Students during COVID-19 Pandemic Using the Multi-Theory Model (MTM) of Health Behavior Change: A Single Institutional Cross-Sectional Survey“. In: *Healthcare (Basel)* 9.1 (2021), S. 1–15. DOI: 10.3390/healthcare9010055.

[108] S. Shepherd und S. Woskie. „Controlling dust from concrete saw cutting“. In: *J Occup Environ Hyg* 10.2 (2013), S. 64–70. DOI: 10.1080/15459624.2012.747129.

[109] W. Shi u. a. „Phthalate Esters on Hands of Office Workers: Estimating the Influence of Touching Surfaces“. In: *Environ. Sci. Technol. Letters* 4.1 (2017), S. 1–5. DOI: 10.1021/acs.estlett.6b00458.

[110] R. Shiraly, Z. Shayan und M.-L. McLaws. „Face touching in the time of COVID-19 in Shiraz, Iran“. In: *Am. J. Infect. Control* 48.12 (2020), S. 1559–1561. DOI: 10.1016/j.ajic.2020.08.009.

[111] J. R. Sobus u. a. „Comparing urinary biomarkers of airborne and dermal exposure to polycyclic aromatic compounds in asphalt-exposed workers“. In: *Ann Occup Hyg* 53.6 (2009), S. 561–71. DOI: 10.1093/annhyg/mep042.

[112] J. M. Soon und R. N. Baines. „Food safety training and evaluation of handwashing intention among fresh produce farm workers“. In: *Food Control* 23.2 (2012), S. 437–448. DOI: 10.1016/j.foodcont.2011.08.012.

[113] S. Spaan u. a. „Endotoxin: From database to measurement strategy“. In: *Gefahrst. Reinhalt. Luft* 67.9 (2007), S. 377–383.

[114] S. Spaan u. a. „Endotoxin exposure in sewage treatment workers: Investigation of exposure variability and comparison of analytical techniques“. In: *Ann. Agric. Environ. Med. : AAEM* 15.2 (2009), S. 251–61.

[115] S. Spaan u. a. „Variability in endotoxin exposure levels and consequences for exposure assessment“. In: *Ann Occup Hyg* 52.5 (2008), S. 303–16. DOI: 10.1093/annhyg/men024.

[116] J. L. Spille u. a. „The suppression of spontaneous face touch and resulting consequences on memory performance of high and low self-touching individuals“. In: *Sci. Rep.* 12.1 (2022), S. 8637. DOI: 10.1038/s41598-022-12044-4.

[117] J. L. Spille u. a. „Cognitive and emotional regulation processes of spontaneous facial self-touch are activated in the first milliseconds of touch: Replication of previous EEG findings and further insights“. In: *Cogn Affect Behav Neurosci* 22.5 (2022), S. 984–1000. DOI: 10.3758/s13415-022-00983-4.

[118] M. F. Steiner u. a. „High prevalence of skin symptoms among bakery workers“. In: *Occup Med (Lond)* 61.4 (2011), S. 280–2. DOI: 10.1093/occmed/kqr039.

[119] E. Symanski u. a. „Heterogeneity in sources of exposure variability among groups of workers exposed to inorganic mercury“. In: *Ann Occup Hyg* 45.8 (2001), S. 677–87. ISSN: 0003-4878.

[120] R. Szabó u. a. „Use of hand hygiene agents as a surrogate marker of compliance in Hungarian long-term care facilities: first nationwide survey“. In: *Antimicrob Resist Infect Control* 4 (2015), S. 32. DOI: 10.1186/s13756-015-0069-0.

[121] J. Tang u. a. „Effectiveness of a Brief Mindfulness-Based Intervention of “STOP touching your face” During the COVID-19 Pandemic: a Randomized Controlled Trial“. In: *Mindfulness (N Y)* 13.12 (2022), S. 3123–33. DOI: 10.1007/s12671-022-02019-x.

[122] Z. Y. Tao, J. Dong und R. Culleton. „The use of facemasks may not lead to an increase in hand-face contact“. In: *Transbound Emerg Dis* 67.6 (2020), S. 3038–3040. DOI: 10.1111/tbed.13698.

[123] B. Teker u. a. „Factors Affecting Hand Hygiene Adherence at a Private Hospital in Turkey“. In: *Eurasian J Med* 47.3 (2015), S. 208–12. DOI: 10.5152/eurasianjmed.2015.78.

[124] E. Tielemans u. a. „Exposure profiles of pesticides among greenhouse workers: implications for epidemiological studies“. In: *J Expo Sci Environ Epidemiol* 17.6 (2007), S. 501–9. DOI: 10.1038/sj.jes.7500544.

[125] E. T. Nij u. a. „Variability in Quartz Exposure in the Construction Industry: Implications for Assessing Exposure-Response Relations“. In: *J. Occup. Environ. Hyg.* 1.3 (2004), S. 191–198. DOI: 10.1080/15459620490424528.

[126] E. C. Todd u. a. „Outbreaks where food workers have been implicated in the spread of foodborne disease. Part 10. Alcohol-based antiseptics for hand disinfection and a comparison of their effectiveness with soaps“. In: *J Food Prot* 73.11 (2010), S. 2128–40. DOI: 10.4315/0362-028x-73.11.2128.

[127] M. J. van Tongeren, H. Kromhout und K. Gardiner. „Trends in levels of inhalable dust exposure, exceedance and overexposure in the European carbon black manufacturing industry“. In: *Ann Occup Hyg* 44.4 (2000), S. 271–80. DOI: 10.1016/S0003-4878(99)00109-X.

[128] M. van Tongeren u. a. „Are Variance Components of Exposure Heterogeneous Between Time Periods and Factories in the European Carbon Black Industry?“ In: *Ann. Occup. Hyg.* 50.1 (2005), S. 55–64. DOI: 10.1093/annhyg/mei041.

[129] C. Var u. a. „A Linked Community and Health Facility Intervention to Improve Newborn Health in Cambodia: the NICCI Stepped-Wedge Cluster-Randomized Controlled Trial“. In: *Int J Environ Res Public Health* 17.5 (2020). DOI: 10.3390/ijerph17051559.

[130] S. Viegas u. a. „HBM4EU Chromates Study: Determinants of Exposure to Hexavalent Chromium in Plating, Welding and Other Occupational Settings“. In: *Int J Environ Res Public Health* 19.6 (2022). DOI: 10.3390/ijerph19063683.

[131] D. Vinnikov, Z. Tulekov und A. Raushanova. „Occupational exposure to particulate matter from air pollution in the outdoor workplaces in Almaty during the cold season“. In: *PLOS ONE* 15.1 (2020), e0227447. DOI: 10.1371/journal.pone.0227447.

[132] P. S. Vinzents u. a. „Variations in exposure to inhalable wood dust in the Danish furniture industry. Within- and Between-worker and factory components estimated from passive dust sampling“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 45.7 (2001), S. 603–608. DOI: 10.1016/S0003-4878(01)00033-3.

[133] M. J. Visser u. a. „Quantification of wet-work exposure in nurses using a newly developed wet-work exposure monitor“. In: *Ann Occup Hyg* 55.7 (2011), S. 810–6. DOI: 10.1093/annhyg/mer041.

[134] R. Wiener u. a. „Face-touching Behavior during the COVID-19 Pandemic: Self-inoculation and transmission potentials“. In: *J. dent. hyg. : JDH / Am. Dent. Hyg. Assoc.* 95.5 (2021), S. 41–46.

[135] I. M. Wouters u. a. „Overview of personal occupational exposure levels to inhalable dust, endotoxin, beta(1–>3)-glucan and fungal extracellular polysaccharides in the Waste Manag. chain“. In: *Ann Occup Hyg* 50.1 (2006), S. 39–53. DOI: 10.1093/annhyg/mei047.

[136] B. Zack, V. Arrandale und D. L. Holness. „Skin-specific training experience of workers assessed for contact dermatitis“. In: *Occup Med (Lond)* 68.3 (2018), S. 203–206. DOI: 10.1093/occmed/kqy022.

[137] H. Zilaout, R. Houba und H. Kromhout. „Temporal Trends in Variability of Respirable Dust and Respirable Quartz Concentrations in the European Industrial Minerals Sector“. In: *Ann Work Expo Health* 67.3 (2023), S. 392–401. DOI: 10.1093/annweh/wxac093.

I.3 Mechanismen oraler Exposition

I.3.1 Dokumentation PRISMA-Methodik

Tabelle I.9: Suchstrings zur systematischen Literaturrecherche über Mechanismen oraler Exposition.

Nr.	Thema	Standard-Suchstring
1	Mechanismen	(oral OR ingest* OR inadvertent) AND (expos* OR ingest*) AND (mechanism* OR factor* OR emerge* OR appear* OR develop*) NOT (pain OR surg* OR drug OR disease OR vaccine OR injury OR tooth OR teeth OR dent* OR disorder OR taste OR symptom OR DNA OR intravenous OR emergency OR diabetes OR cancer) NOT (fertil* OR newborne OR reproductive) NOT (bioaccess* OR excret* OR pharmaco*) NOT (food OR feed* OR diet*) NOT (educat* OR ecosytem OR animal)
2	Transfer	(„transfer efficienc*“ OR (dermal AND transfer)) AND (dermal OR hand* OR arm* OR oral OR peri-oral OR perioral) NOT (virus OR bacteria OR fomite*) NOT (heat)
3	Aerosole	(„oral exposure“ OR ingestion OR gastrointestinal) AND (aerosol OR (airborne AND particle) OR (lung AND clear*)) NOT (rats OR mice) NOT (transplant* OR surgery OR marine OR endoscopy)

Tabelle I.10: Evaluierung der Suchstrategien zu Mechanismen oraler Exposition. Nummerierte Suchstrategien beziehen sich auf Tabelle I.9.

Suchstrategie	Publikation	Web of Science		PubMed	
		Verfügbar	Identifiziert	Verfügbar	Identifiziert
1	[1]	x	x	x	x
1	[2]	x	x	x	x
1	[3]	-	-	x	-
1	[4]	x	x	x	x
1	[5]	x	x	x	x
2	[6]	x	x	x	x
2	[7]	x	x	x	x
2	[8]	x	x	x	x
2	[9]	x	x	x	x
2	[10]	x	x	x	x
2	[11]	x	x	x	x

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.10 – Fortführung

Suchstrategie	Publikation	Web of Science		PubMed	
		Verfügbar	Identifiziert	Verfügbar	Identifiziert
3	[12]	x	x	x	x
3	[13]	x	x	x	x

Tabelle I.11: Mechanismen oraler Exposition: Suchstrategien, Datenbanken bzw. Websites und Suchdaten. Nummerierte Suchstrategien beziehen sich auf Tabelle I.9.

Themenbereich	Suchstrategie	Datenbank, Website	Suchdatum
Mechanismen	1	Web of Science	21.08.23
Mechanismen	1	PubMed	21.08.23
Mechanismen	mechanism oral exposure	IOM	22.08.23
Mechanismen	mechanism ingestion	HSE	22.08.23
Mechanismen	Mechanismen orale Exposition	BAuA	22.08.23
Mechanismen	Mechanismen orale Exposition	BAuA	22.08.23
Mechanismen	(oral OR ingest* OR inadvertent) AND (expos* OR ingest*) AND (mechanism* OR factor* OR emerge* OR appear* OR develop*)	RIVM	22.08.23
Mechanismen	1	TNO	22.08.23
Mechanismen	(mechanism AND „oral exposure“)	EPA	22.08.23
Mechanismen	oral AND exposure AND mechanism	NIOSH	22.08.23
Mechanismen	1	WHO	22.08.23
Mechanismen	1	OECD	22.08.23
Mechanismen	1	COCHRANE	22.08.23
Mechanismen	1	Deutsche Nationalbibliothek	22.08.23
Mechanismen	(oral OR ingest* OR inadvertent) AND (expos* OR ingest*) AND (mechanism* OR factor* OR emerge* OR appear* OR develop*)	bergischbib	22.08.23
Transfer	2	Web of Science	21.08.23
Transfer	2	PubMed	21.08.23

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.11 – Fortführung

Themenbereich	Suchstrategie	Datenbank, Website	Suchdatum
Transfer	dermal transfer efficiency	IOM	22.08.23
Transfer	ingestion transfer	HSE	22.08.23
Transfer	dermal Transfer	BAuA	22.08.23
Transfer	dermal Transfer	BAuA	22.08.23
Transfer	(„transfer efficienc*“ OR (dermal AND transfer)) AND (dermal OR hand* OR arm* OR oral OR peri-oral OR perioral)	RIVM	22.08.23
Transfer	2	TNO	22.08.23
Transfer	transfer efficiency	EPA	22.08.23
Transfer	transfer AND efficiency	NIOSH	22.08.23
Transfer	2	WHO	22.08.23
Transfer	(„transfer efficienc*“ OR (dermal AND transfer)) AND (dermal OR hand* OR arm* OR oral OR peri-oral OR perioral)	OECD	22.08.23
Transfer	2	COCHRANE	22.08.23
Transfer	2	Deutsche Nationalbibliothek	22.08.23
Transfer	(„transfer efficienc*“ OR (dermal AND transfer)) AND (dermal OR hand* OR arm* OR oral OR peri-oral OR perioral)	bergischbib	22.08.23
Aerosole	3	Web of Science	21.08.23
Aerosole	3	PubMed	21.08.23
Aerosole	oral exposure aerosol	IOM	22.08.23
Aerosole	ingestion aerosol	HSE	22.08.23
Aerosole	orale Exposition Aerosol	BAuA	22.08.23
Aerosole	orale Exposition Aerosol	BAuA	22.08.23
Aerosole	(„oral exposure“ OR ingestion OR gastrointestinal) AND (aerosol OR (airborne AND particle) OR (lung AND clear*))	RIVM	22.08.23

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.11 – Fortführung

Themenbereich	Suchstrategie	Datenbank, Website	Suchdatum
Aerosole	(„oral exposure“ OR ingestion OR gastrointestinal) AND (aerosol OR (airborne AND particle) OR (lung AND clear*))	TNO	22.08.23
Aerosole	oral exposure aerosol	EPA	22.08.23
Aerosole	oral AND exposure AND aerosol	NIOSH	22.08.23
Aerosole	3	WHO	22.08.23
Aerosole	(„oral exposure“ OR ingestion OR gastrointestinal) AND (aerosol OR (airborne AND particle) OR (lung AND clear*))	OECD	22.08.23
Aerosole	3	COCHRANE	22.08.23
Aerosole	(„oral exposure“ OR ingestion OR gastrointestinal) AND (aerosol OR (airborne AND particle) OR (lung AND clear*))	Deutsche Nationalbibliothek	22.08.23
Aerosole	(„oral exposure“ OR ingestion OR gastrointestinal) AND (aerosol OR (airborne AND particle) OR (lung AND clear*))	bergischbib	22.08.23

Tabelle I.12: Eingeschlossene Studien zu Mechanismen oraler Exposition sowie Kategorie der enthaltenen Informationen und Arbeitsbereiche.

Erstautor	Jahr	Studie	Stoffgruppe	Kontext	Kinder	Erwachsene	Beschäftigte	Mechanismen	Transfer	Aerosole
Abbott	2010	[14]	Sonstige	Verbraucherprodukte				x	-	-
Abrahams	2002	[15]	Boden / Erde / Lehm / Sand	Außenbereiche	x	-	-	x	-	-
Abuduwailil	2015	[16]	Metalle, Staub	Außenbereiche	x	x	-	x	-	-
Ahmad	2021	[17]	Biostoffe	Klärwerke, Weiterverwendung von Wasser	-	x	-	x	-	-
Ahmed	2010	[18]	Biostoffe	Klärwerke, Weiterverwendung von Wasser	-	x	-	x	-	-
Akland	2000	[19]	Schädlingsbekämpfungsmittel	Schädlingsbekämpfung	x	-	-	x	x	-
Akpeimeh	2021	[20]	Biostoffe	Abfall / Entsorgung	-	-	x	x	-	x
Al-Omran	2021	[21]	Flammschutzmittel, Staub	Innenräume	x	x	-	x	-	-
Aleksandropoulou	2013	[22]	PM	Außenbereiche, Innenräume	-	x	-	-	-	x
Alpofead	2017	[23]	PM	Sonstige	-	x	-	-	-	x
Amoah	2022	[24]	Biostoffe	Klärwerke, Weiterverwendung von Wasser	-	-	x	x	-	-
Api	2007	[25]	organische Verbindungen	Nachgestellte Szenarien	-	x	-	-	x	-
Ayuso-Gabella	2011	[26]	Biostoffe	Klärwerke, Weiterverwendung von Wasser	-	x	-	x	-	-
Barraj	2007	[27]	Metalle	Außenbereiche, Spielplätze	x	-	-	x	x	-
Beamer	2009	[9]	Schädlingsbekämpfungsmittel	Schädlingsbekämpfung	-	x	-	x	x	-

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.12 – Fortführung

Erstautor	Jahr	Studie	Stoffgruppe	Kontext	Kinder	Erwachsene	Beschäftigte	Mechanismen	Transfer	Aerosole
Beamer	2009	[28]	Schädlingsbekämpfungsmittel	Losgelöst	x	-	-	x	x	-
Benami	2016	[29]	Biostoffe	Klärwerke, Weiterverwendung von Wasser	-	-	-	x	-	x
Bernard	2008	[30]	Schädlingsbekämpfungsmittel	Nachgestellte Szenarien	x	x	-	x	x	-
Bernard	2001	[31]	Schädlingsbekämpfungsmittel	Außenbereiche	-	x	-	-	x	-
Bernier	2017	[32]	organische Verbindungen	Verbraucherprodukte	-	x	-	x	x	-
Bertram	2023	[33]	Metalle	Bergbauregionen / Industriestandorte	x	-	-	x	-	-
Bolch	2003	[34]	Radioaktive Stoffe	Radioaktivität	-	x	-	-	-	x
Bowerbank	2022	[35]	Sonstige	Außenbereiche	x	-	-	x	-	-
Brouwer	1999	[36]	Staub	Nachgestellte Szenarien	-	x	-	-	x	-
Brown	2013	[37]	Flammschutzmittel, Staub	Innenräume	x	x	-	x	-	-
Brudecki	2014	[38]	Radioaktive Stoffe	Radioaktivität	x	x	-	-	-	x
Caballero-Casero	2022	[39]	Sonstige, Staub	Gewerbliche / industrielle Arbeitsplätze	-	-	x	x	-	-
Chakraborty	2018	[40]	Metalle	Innenräume	x	-	-	x	-	-
Chalvatzaki	2014	[41]	PM	Außenbereiche	-	-	x	-	-	x
Chao	2014	[42]	Flammschutzmittel, Staub	Innenräume	x	-	-	x	-	-
Chatziprodromidou	2022	[43]	Biostoffe	Kindergarten / Schule / Spielplätze	x	-	-	x	-	-
Chen	2021	[44]	Biostoffe	Klärwerke, Weiterverwendung von Wasser	-	-	x	-	-	x

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.12 – Fortführung

Erstautor	Jahr	Studie	Stoffgruppe	Kontext	Kinder	Erwachsene	Beschäftigte	Mechanismen	Transfer	Aerosole
Cherrie	2006	[4]	Sonstige, Medikamente / Drogen, Metalle, Radioaktive Stoffe, Schädlingsbekämpfungsmittel	Gewerbliche / industrielle Arbeitsplätze	-	-	x	x	-	-
Chowdhury	2022	[45]	Metalle, PM	Abfall / Entsorgung	-	x	-	x	-	-
Clausen	2016	[46]	organische Verbindungen	Nachgestellte Szenarien	-	-	-	-	x	-
Cohen Hubal	2000	[47]	Boden / Erde / Lehm / Sand, Staub	Verhalten von Kindern	x	-	-	x	-	-
Cohen Hubal	2005	[11]	Sonstige, Schädlingsbekämpfungsmittel	Nachgestellte Szenarien	x	x	-	x	x	-
Cohen Hubal	2006	[48]	Schädlingsbekämpfungsmittel	Kindergarten / Schule / Spielplätze	x	-	-	x	-	-
Connor	2014	[49]	Metalle	Gewerbliche / industrielle Arbeitsplätze	-	-	x	x	x	-
Cushing	2007	[50]	Metalle	Kindergarten / Schule / Spielplätze	x	-	-	x	-	-
da Silva	2021	[51]	Biostoffe	Gewerbliche / industrielle Arbeitsplätze	x	x	-	x	-	-
Damian	2011	[52]	Metalle	Gewerbliche / industrielle Arbeitsplätze	-	-	x	x	x	-
Dartey	2014	[13]	Metalle	Gewerbliche / industrielle Arbeitsplätze	-	-	x	-	-	x
Davis	2021	[53]	Flammschutzmittel, organische Verbindungen	Innenräume	x	-	-	x	-	-

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.12 – Fortführung

Erstautor	Jahr	Studie	Stoffgruppe	Kontext	Kinder	Erwachsene	Beschäftigte	Mechanismen	Transfer	Aerosole
de Bruin-Hoegée	2020	[54]	Medikament / Droge	Gewerbliche / industrielle Arbeitsplätze	-	-	x	-	x	-
Dennehy	2000	[55]	Biostoffe	Gewerbliche / industrielle Arbeitsplätze	x	-	-	x	-	-
Driver	2013	[56]	Schädlingsbekämpfungsmittel	Verhalten von Kindern	x	-	-	x	x	-
Dujardin	2020	[57]	PM	Außenbereiche, Innenräume	-	x	-	-	-	x
English	2017	[58]	Flammschutzmittel	Innenräume	x	-	-	x	-	-
Eqani	2016	[59]	Metalle, Staub	Außenbereiche	x	x	-	x	-	-
Fan	2015	[60]	organische Verbindungen	Nachgestellte Szenarien	-	x	-	-	x	-
Fan	2022	[61]	Flammschutzmittel	Kindergarten / Schule / Spielplätze	x	-	-	x	-	-
Fantke	2016	[62]	losgelöst	Verbraucherprodukte	x	x	-	x	x	-
Fatunsin	2020	[63]	Flammschutzmittel	Verbraucherprodukte	x	-	-	x	-	-
Feng	2023	[64]	Metalle, Staub	Außenbereiche	x	-	-	x	-	-
Ferguson	2020	[65]	Boden / Erde / Lehm / Sand	Außenbereiche	x	-	-	x	-	-
Ferguson	2009	[66]	Boden / Erde / Lehm / Sand, Staub	Nachgestellte Szenarien	-	-	-	-	x	-
Ferguson	2008	[67]	Boden / Erde / Lehm / Sand	Nachgestellte Szenarien	x	x	-	x	x	-
Ferguson	2012	[68]	Sonstige	Nachgestellte Szenarien	-	x	-	-	x	-
Garrido	2019	[69]	organische Verbindungen	Innenräume	x	-	-	x	-	-
Gloekler	2021	[70]	Flammschutzmittel	Nachgestellte Szenarien	x	-	-	x	x	-
Goede	2019	[71]	Flüssigkeiten	Nachgestellte Szenarien	-	x	-	x	x	-

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.12 – Fortführung

Erstautor	Jahr	Studie	Stoffgruppe	Kontext	Kinder	Erwachsene	Beschäftigte	Mechanismen	Transfer	Aerosole
Goix	2016	[72]	Metalle	Bergbauregionen / Industriestandorte	x	-	-	x	x	x
Goncalves	2021	[73]	(Ab-)Wasser	Klärwerke, Weiterverwendung von Wasser	-	x	-	x	-	-
Gorman Ng	2016	[2]	losgelöst	Gewerbliche / industrielle Arbeitsplätze	-	-	x	x	-	-
Gorman Ng	2012	[1]	losgelöst	Gewerbliche / industrielle Arbeitsplätze	-	-	x	x	x	-
Gorman Ng	2013	[10]	Feststoffe, Flüssigkeiten	Nachgestellte Szenarien	-	x	-	-	x	-
Gorman Ng	2014	[6]	Feststoffe, Flüssigkeiten	Losgelöst	-	x	-	x	x	-
Gorman Ng	2017	[74]	Metalle	Gewerbliche / industrielle Arbeitsplätze	-	-	x	x	-	-
Gosselin	2008	[75]	Schädlingsbekämpfungsmittel	Schädlingsbekämpfung	x	x	-	x	-	-
Gray	2005	[76]	(Ab-)Wasser	Abfall / Entsorgung	-	-	x	x	-	-
Hamilton	2017	[77]	Biostoffe	Klärwerke, Weiterverwendung von Wasser	-	x	-	x	-	-
Harrad	2010	[78]	Flammschutzmittel, organische Verbindungen, Staub	Innenräume	x	x	-	x	-	-
Hemond	2004	[79]	Metalle	Kindergarten / Schule / Spielplätze	x	-	-	x	x	-
Hettiarachchi	2022	[80]	Staub	Außenbereiche, Innenräume	-	x	-	-	-	x
Heusinkveld	2021	[81]	Metalle	Bergbauregionen / Industriestandorte	x	-	-	x	-	-

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.12 – Fortführung

Erstautor	Jahr	Studie	Stoffgruppe	Kontext	Kinder	Erwachsene	Beschäftigte	Mechanismen	Transfer	Aerosole
Hristozov	2018	[82]	Schädlingsbekämpfungsmittel	Schädlingsbekämpfung	x	x	x	x	-	-
Hsi	2018	[83]	Boden / Erde / Lehm / Sand	Nachgestellte Szenarien	x	-	-	x	x	-
Huang	2022	[84]	Metalle, Staub	Außenbereiche	x	x	-	x	-	-
Huang	2017	[85]	losgelöst	Verbraucherprodukte	x	x	-	x	x	-
Hubal	2008	[86]	Sonstige, Schädlingsbekämpfungsmittel	Nachgestellte Szenarien	-	x	-	x	x	-
Hubbard	2022	[5]	Boden / Erde / Lehm / Sand, Staub	Außenbereiche, Innenräume	-	x	x	x	x	-
Hunt	2008	[87]	Metalle, Staub	Nachgestellte Szenarien	x	-	-	x	x	-
Ikegami	2014	[88]	Metalle, Boden / Erde / Lehm / Sand	Kindergarten / Schule / Spielplätze	x	-	-	x	x	-
Irvine	2014	[89]	Boden / Erde / Lehm / Sand	Außenbereiche	x	-	-	x	-	-
James	2012	[90]	Metalle, organische Verbindungen	Außenbereiche	-	x	-	x	-	x
Jiang	2022	[91]	Metalle	Bergbauregionen / Industriestandorte	x	-	-	x	-	-
Karwowski	2017	[92]	Metalle	Verbraucherprodukte	x	-	-	x	x	x
Kaur	2020	[93]	Metalle	Außenbereiche	x	-	-	x	-	-
Khokhryakov	2017	[94]	Radioaktive Stoffe	Radioaktivität	-	-	x	-	-	x
Kumar	2009	[95]	Metalle, Staub	Innenräume	x	-	-	x	-	-
Lacey	2010	[96]	Biostoffe	Gewerbliche / industrielle Arbeitsplätze	-	-	x	x	-	-
Li	2020	[97]	Metalle, Staub	Außenbereiche	x	-	-	x	-	-
Li	2023	[98]	Boden / Erde / Lehm / Sand, Staub	Außenbereiche, Innenräume	x	x	x	x	x	-

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.12 – Fortführung

Erstautor	Jahr	Studie	Stoffgruppe	Kontext	Kinder	Erwachsene	Beschäftigte	Mechanismen	Transfer	Aerosole
Lin	2015	[99]	Metalle, Staub	Innenräume	x	-	-	x	-	-
Liu	2014	[100]	Schädlingsbekämpfungsmittel	Schädlingsbekämpfung	x	-	-	x	-	-
Ljung	2006	[101]	Boden / Erde / Lehm / Sand, Metalle	Kindergarten / Schule / Spielplätze	x	-	-	x	-	-
Ma	2018	[102]	organische Verbindungen	Kindergarten / Schule / Spielplätze	x	-	-	x	x	-
Ma	2022	[103]	Biostoffe	Klärwerke, Weiterverwendung von Wasser	-	-	x	x	-	x
Mackevica	2018	[104]	Sonstige	Verbraucherprodukte	-	-	-	x	-	-
Madrid	2008	[105]	Metalle	Außenbereiche	x	-	-	x	-	-
Mammi-Galani	2017	[106]	PM	Außenbereiche, Innenräume	-	x	x	-	-	x
Matsubara	2019	[107]	Biostoffe	Klärwerke, Weiterverwendung von Wasser	-	-	x	x	-	-
Mbareche	2022	[108]	Biostoffe	Klärwerke, Weiterverwendung von Wasser	-	-	x	x	-	-
Moor	2021	[109]	Biostoffe	Gewerbliche / industrielle Arbeitsplätze	-	-	x	x	-	x
Moya	2014	[110]	Boden / Erde / Lehm / Sand, Staub	Außenbereiche, Innenräume	x	-	-	x	x	-
Ozkaynak	2011	[111]	Boden / Erde / Lehm / Sand, Staub	Losgelöst	x	-	-	x	x	-
Özkaynak	2022	[112]	Boden / Erde / Lehm / Sand, Staub	Außenbereiche, Innenräume	x	-	-	x	-	-
Pambianchi	2022	[113]	PM, Sonstige	Losgelöst	-	x	-	x	-	x
Pizzol	2013	[114]	Metalle	Abfall / Entsorgung	x	-	-	x	-	-

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.12 – Fortführung

Erstautor	Jahr	Studie	Stoffgruppe	Kontext	Kinder	Erwachsene	Beschäftigte	Mechanismen	Transfer	Aerosole
Platten	2016	[115]	Metalle	Nachgestellte Szenarien	x	-	-	x	x	-
Poothong	2019	[116]	organische Verbindungen	Innenräume	-	x	-	x	-	-
Preece	2021	[117]	Biostoffe	Außenbereiche	x	-	-	x	-	-
Rajaee	2015	[118]	Metalle	Bergbauregionen / Industriestandorte	x	x	x	x	-	-
Ramwell	2006	[119]	Schädlingsbekämpfungsmittel	Nachgestellte Szenarien	-	-	x	x	x	-
Rauert	2016	[120]	Flammschutzmittel	Nachgestellte Szenarien	-	-	-	-	x	-
Rocha	2021	[121]	Medikament / Droge	Gewerbliche / industrielle Arbeitsplätze	-	-	x	x	-	-
Rodes	2001	[122]	Staub	Nachgestellte Szenarien	-	x	-	-	x	-
Rohrer	2003	[123]	Schädlingsbekämpfungsmittel	Nachgestellte Szenarien	x	-	-	x	x	-
Roth	2006	[124]	Metalle	Gewerbliche / industrielle Arbeitsplätze	-	-	x	-	-	x
Rowbotham	2000	[125]	Metalle	Außenbereiche	x	x	-	x	-	-
Sahmel	2022	[126]	Metalle	Nachgestellte Szenarien	-	x	-	x	x	-
Sahmel	2015	[7]	Metalle	Nachgestellte Szenarien	x	x	x	x	x	-
Sahmel	2022	[8]	Metalle	Nachgestellte Szenarien	-	x	-	-	x	-
Salocks	2014	[127]	Medikament / Droge	Nachgestellte Szenarien	x	-	-	x	x	-
Sankaran	2015	[128]	Schädlingsbekämpfungsmittel	Schädlingsbekämpfung	-	-	x	-	x	-
Schirmer	2010	[129]	Radioaktive Stoffe	Sonstige, Radioaktivität	-	-	x	x	x	-
Schleier	2009	[130]	Schädlingsbekämpfungsmittel	Schädlingsbekämpfung	x	x	-	x	-	-

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.12 – Fortführung

Erstautor	Jahr	Studie	Stoffgruppe	Kontext	Kinder	Erwachsene	Beschäftigte	Mechanismen	Transfer	Aerosole
Schoen	2017	[131]	Biostoffe	Klärwerke, Weiterverwendung von Wasser	-	x	-	x	-	-
Schoen	2018	[132]	Biostoffe	Innenräume	-	x	-	x	-	-
Sen	2002	[133]	Metalle	Gewerbliche / industrielle Arbeitsplätze	-	-	x	x	-	-
Shankar	2017	[134]	Sonstige	Gewerbliche / industrielle Arbeitsplätze	-	-	x	x	-	-
Shay	2013	[135]	Metalle	Gewerbliche / industrielle Arbeitsplätze	-	-	x	x	-	-
Smith	2014	[136]	Radioaktive Stoffe	Losgelöst	-	x	-	-	-	x
Soltani	2021	[137]	Sonstige	Innenräume	x	-	-	x	-	-
Stefaniak	2021	[138]	Pulver / Partikel / Fasern	Nachgestellte Szenarien	-	x	-	-	x	-
Sturm	2007	[139]	Pulver / Partikel / Fasern	Losgelöst	-	x	-	-	-	x
Sturm	2006	[140]	Pulver / Partikel / Fasern	Losgelöst	-	x	-	-	-	x
Sturm	2009	[141]	Pulver / Partikel / Fasern	Losgelöst	-	x	-	-	-	x
Sugeng	2017	[142]	Flammschutzmittel	Innenräume	x	-	-	x	-	-
Swartjes	2016	[143]	Metalle	Außenbereiche	x	-	-	x	x	-
Teunis	2016	[144]	Biostoffe	Verhalten von Kindern	x	-	-	x	-	-
Tsakirakis	2018	[145]	Schädlingsbekämpfungsmittel	Nachgestellte Szenarien	-	x	x	-	x	-
Tsou	2018	[146]	Boden / Erde / Lehm / Sand	Außenbereiche	x	-	-	x	x	-

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.12 – Fortführung

Erstautor	Jahr	Studie	Stoffgruppe	Kontext	Kinder	Erwachsene	Beschäftigte	Mechanismen	Transfer	Aerosole
Tulve	2011	[147]	Schädlingsbekämpfungsmittel	Außenbereiche, Innenräume	x	-	-	x	-	-
Van Dyke	2014	[148]	Medikament / Droge	Nachgestellte Szenarien	-	x	x	-	x	-
Van Hooste	2010	[149]	Biostoffe	Klärwerke, Weiterverwendung von Wasser	-	-	x	x	-	-
Van Horne	2014	[150]	Metalle	Bergbauregionen / Industriestandorte	-	x	-	x	x	-
Walker	2022	[151]	Flüssigkeiten	Nachgestellte Szenarien	-	x	-	-	x	-
Wang	2011	[152]	Boden / Erde / Lehm / Sand, organische Verbindungen	Außenbereiche	x	-	-	x	-	-
Wang	2022	[153]	Flüssigkeiten	Bergbauregionen / Industriestandorte	-	-	x	-	x	-
Wang	2021	[154]	Metalle	Außenbereiche, Innenräume	x	-	-	x	-	-
Watson	2018	[155]	(Ab-)Wasser, Biostoffe	Sonstige	-	-	x	x	-	-
Weeks	2021	[156]	Boden / Erde / Lehm / Sand, Metalle	Außenbereiche	x	x	-	x	-	-
Weiss	2018	[157]	Weichmacher	Innenräume	x	-	-	x	-	-
Wensing	2005	[158]	Flammschutzmittel, Weichmacher	Innenräume	x	x	-	x	-	-
Williams	2008	[159]	Schädlingsbekämpfungsmittel	Innenräume	-	-	-	x	x	-
Wu	2022	[160]	Sonstige	Außenbereiche	-	x	-	x	-	-
Wu	2011	[161]	organische Verbindungen	Nachgestellte Szenarien	-	-	-	x	x	-
Xie	2016	[162]	Weichmacher	Verbraucherprodukte	-	-	-	-	x	-
Xu	2016	[163]	Flammschutzmittel	Innenräume	-	x	-	x	-	-
Xue	2007	[164]	losgelöst	Verhalten von Kindern	x	-	-	x	-	-

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.12 – Fortführung

Erstautor	Jahr	Studie	Stoffgruppe	Kontext	Kinder	Erwachsene	Beschäftigte	Mechanismen	Transfer	Aerosole
Xue	2006	[165]	Metalle	Kindergarten / Schule / Spielplätze	x	-	-	x	x	-
Yang	2020	[166]	Flammschutzmittel, organische Verbindungen	Innenräume	x	-	-	x	-	-
Yoshida-Ohuchi	2020	[167]	Staub	Innenräume	-	x	-	x	x	-
Yusuf	2023	[168]	Radioaktive Stoffe	Radioaktivität	-	-	x	x	-	x
Zartarian	2006	[169]	Metalle	Außenbereiche, Spielplätze	x	-	-	x	-	-
Zartarian	2012	[170]	Schädlingsbekämpfungsmittel	Schädlingsbekämpfung	x	-	-	x	-	-
Zhang	2023	[171]	Flammschutzmittel, Weichmacher	Verbraucherprodukte	x	-	-	x	-	-
Zhang	2022	[172]	organische Verbindungen	Außenbereiche	x	-	-	x	-	-
Zhao	2021	[173]	organische Verbindungen	Abfall / Entsorgung	-	-	x	x	-	-
Zhao	2023	[174]	organische Verbindungen	Abfall / Entsorgung	-	x	x	x	-	-
Zhao	2023	[175]	organische Verbindungen	Verbraucherprodukte	x	-	-	x	-	-
Zheng	2022	[176]	Metalle, Staub	Kindergarten / Schule / Spielplätze	x	-	-	x	-	-
Zhong	2020	[177]	Metalle	Außenbereiche	x	x	-	x	-	-

I.3.2 Mechanismen: Stoffe und Korrelationen beim Transfer

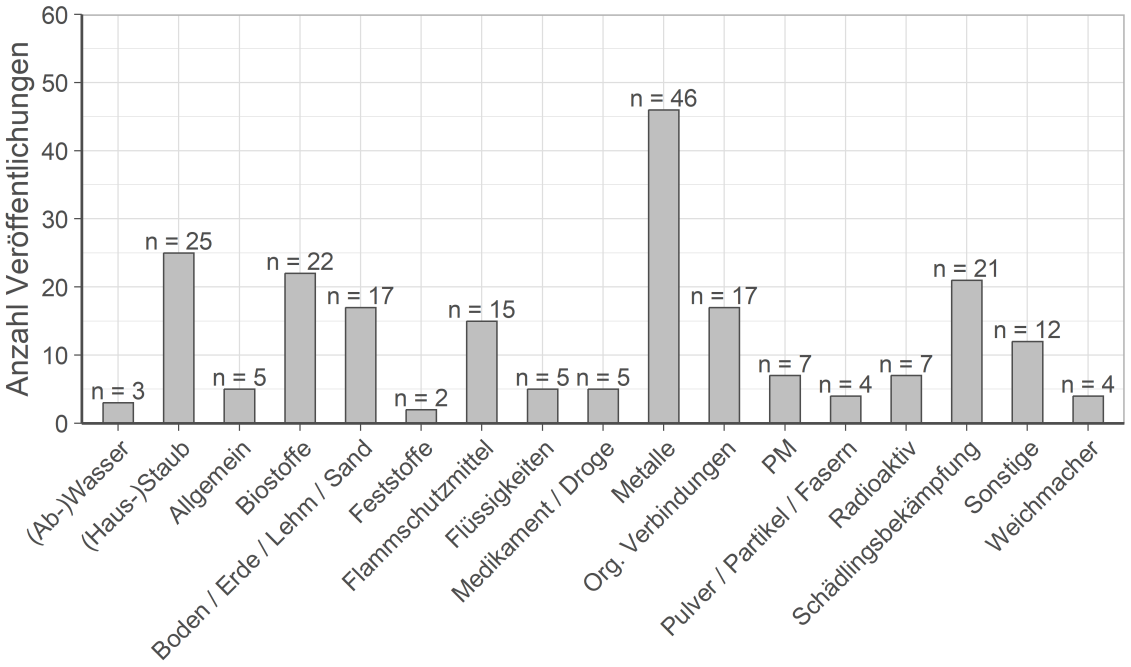
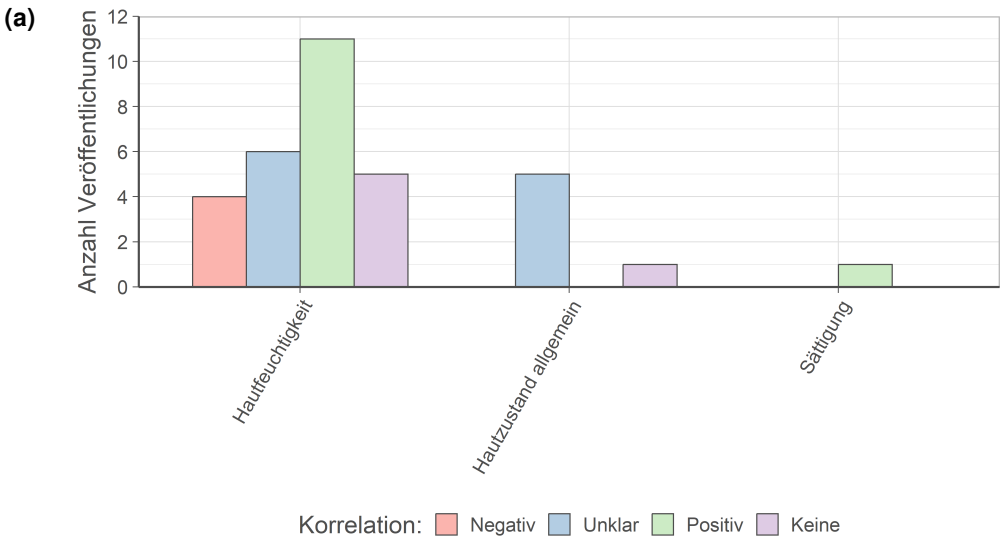


Abbildung I.4: Stoffgruppen, die in den Veröffentlichungen zu Mechanismen oraler Exposition repräsentiert sind.



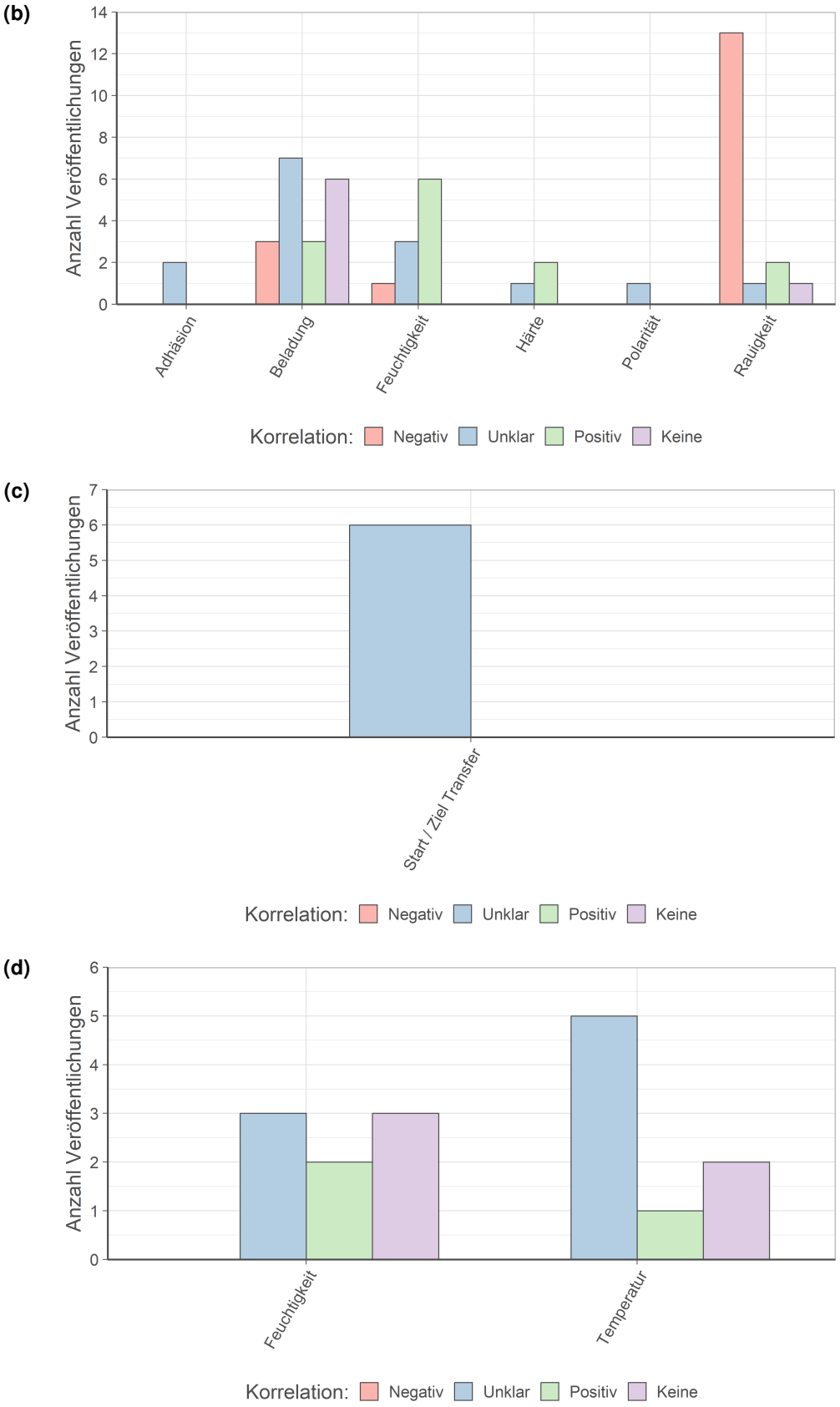


Abbildung I.5: Korrelationen der Parameter, die gemäß der identifizierten Veröffentlichungen Einflussparameter (a) der Haut, (b) der Oberfläche, (c) von Start und Ziel des Transferpfades und (d) der Umgebung beschreiben.

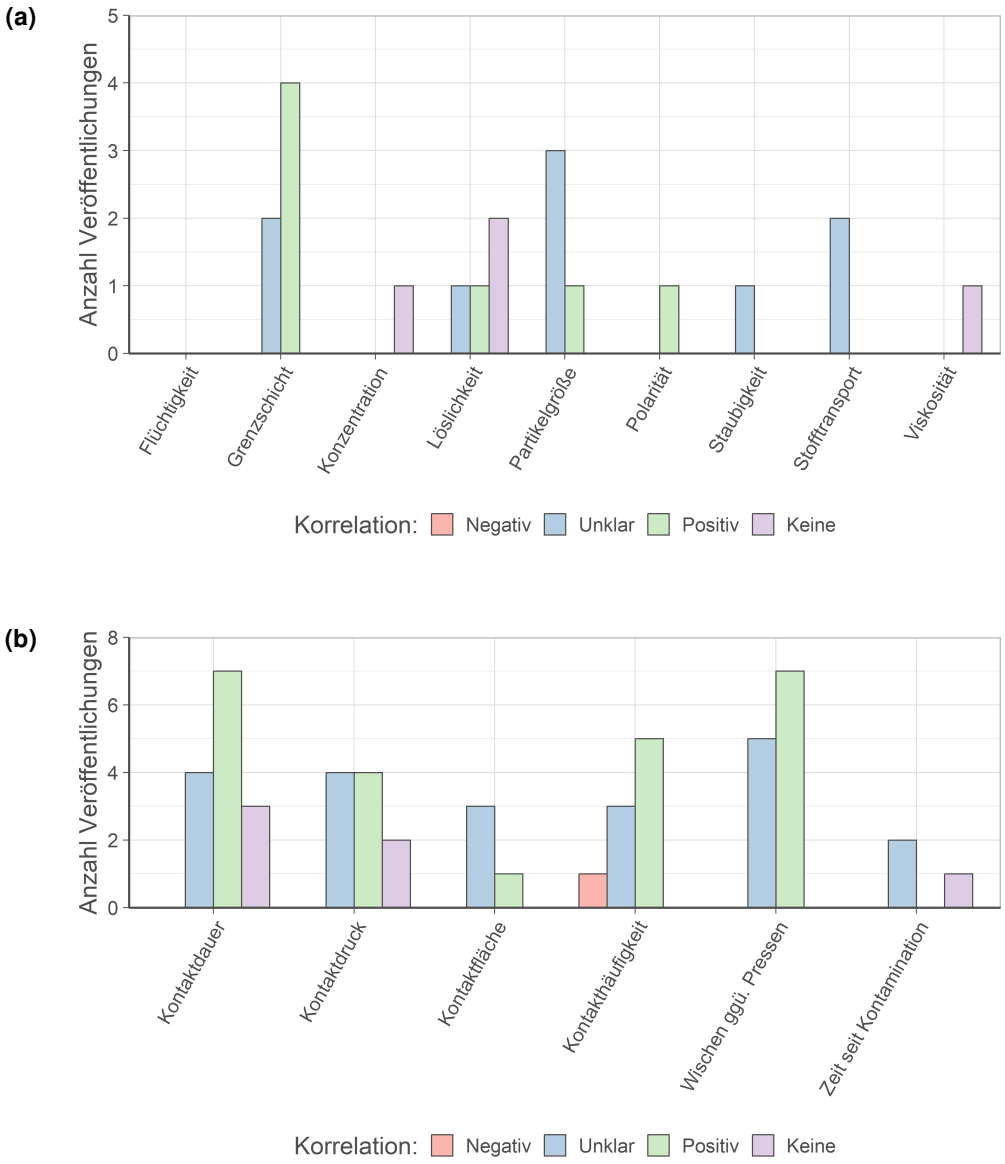


Abbildung I.6: Korrelationen der (a) stoffspezifischen und (b) kontaktspezifischen Einflussparameter ausschließlich basierend auf Informationen zu Transfereffizienzen.

Literatur

[1] M. Gorman Ng u. a. „The relationship between inadvertent ingestion and dermal exposure pathways: a new integrated conceptual model and a database of dermal and oral transfer efficiencies“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 56.9 (2012), S. 1000–1012. DOI: 10.1093/annhyg/mes041.

[2] M. Gorman Ng u. a. „Inadvertent ingestion exposure: hand- and object-to-mouth behavior among workers“. In: *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 26.1 (2016), S. 9–16. DOI: 10.1038/jes.2014.71.

[3] D. C. Deubner u. a. „Contribution of incidental exposure pathways to total beryllium exposures“. In: *Appl Occup Environ Hyg* 16.5 (2001), S. 568–78. DOI: 10.1080/10473220120136.

[4] J. W. Cherrie u. a. „How Important is Inadvertent Ingestion of Hazardous Substances at Work?“ In: *Ann. Occup. Hyg.* 50.7 (2006), S. 693–704. DOI: 10.1093/annhyg/mel035.

[5] H. Hubbard u. a. „Model-based predictions of soil and dust ingestion rates for U.S. adults using the stochastic human exposure and dose simulation soil and dust model“. In: *Sci Total Environ* 846 (2022), S. 157501. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157501.

[6] M. Gorman Ng, M. van Tongeren und S. Semple. „Simulated transfer of liquids and powders from hands and clothing to the mouth“. In: *J. Occup. Environ. Hyg.* 11.10 (2014), S. 633–644. DOI: 10.1080/15459624.2014.895373.

[7] J. Sahmel u. a. „Estimation of hand-to-mouth transfer efficiency of lead“. In: *Ann Occup Hyg* 59.2 (2015), S. 210–20. DOI: 10.1093/annhyg/meu088.

[8] J. Sahmel und G. Ramachandran. „Potential Influence of Skin Hydration and Transepidermal Water Loss on the Dermal Transfer and Loading of Elemental Metallic Lead“. In: *Ann Work Expo Health* 66.7 (2022), S. 923–936. DOI: 10.1093/annweh/wxac019.

[9] P. Beamer, R. A. Canales und J. O. Leckie. „Developing probability distributions for transfer efficiencies for dermal exposure“. In: *J Expo Sci Environ Epidemiol* 19.3 (2009), S. 274–83. DOI: 10.1038/jes.2008.16.

[10] M. Gorman Ng u. a. „Properties of liquids and dusts: how do they influence dermal loading during immersion, deposition, and surface contact exposure pathways?“ In: *Ann Occup Hyg* 57.5 (2013), S. 627–39. DOI: 10.1093/annhyg/mes101.

[11] E. A. Cohen Hubal u. a. „Characterizing residue transfer efficiencies using a fluorescent imaging technique“. In: *J Expo Anal Environ Epidemiol* 15.3 (2005), S. 261–70. DOI: 10.1038/sj.jea.7500400.

[12] F. Kastury u. a. „An inhalation-ingestion bioaccessibility assay (IIBA) for the assessment of exposure to metal(loid)s in PM10“. In: *Sci. Total Environ.* 631-632 (2018), S. 92–104. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.337.

[13] E. Dartey u. a. „Bioaccessibility of lead in airborne particulates from car battery repair work“. In: *Environ Sci Process Impacts* 16.12 (2014), S. 2782–8. DOI: 10.1039/c4em00455h.

[14] L. C. Abbott und A. D. Maynard. „Exposure Assessment Approaches for Engineered Nanomaterials“. In: *Risk anal.* 30.11 (2010), S. 1634–1644. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2010.01446.x.

[15] P. W. Abrahams. „Soils: their implications to human health“. In: *Sci Total Environ* 291.1-3 (2002), S. 1–32. DOI: 10.1016/s0048-9697(01)01102-0.

[16] J. Abuduwailil, Z. Zhaoyong und J. Fengqing. „Evaluation of the pollution and human health risks posed by heavy metals in the atmospheric dust in Ebinur Basin in Northwest China“. In: *Environ Sci Pollut Res Int* 22.18 (2015), S. 14018–31. DOI: 10.1007/s11356-015-4625-1.

[17] J. Ahmad u. a. „Prevalence of human pathogenic viruses in wastewater: A potential transmission risk as well as an effective tool for early outbreak detection for COVID-19“. In: *J Environ Manage* 298 (2021), S. 113486. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113486.

[18] W. Ahmed u. a. „Health risk from the use of roof-harvested rainwater in Southeast Queensland, Australia, as potable or nonpotable water, determined using quantitative microbial risk assessment“. In: *Appl Environ Microbiol* 76.22 (2010), S. 7382–91. DOI: 10.1128/aem.00944-10.

[19] G. G. Akland u. a. „Factors influencing total dietary exposures of young children“. In: *J Expo Anal Environ Epidemiol* 10.6 (2000), S. 710–22. DOI: 10.1038/sj.jea.7500129.

[20] G. F. Akpeimeh u. a. „Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) of Workers Exposure to Bioaerosols at MSW Open Dumpsites“. In: *Risk Anal* 41.10 (2021), S. 1911–1924. DOI: 10.1111/risa.13670.

[21] L. S. Al-Omran, S. Harrad und M. Abou-Elwafa Abdallah. „A meta-analysis of factors influencing concentrations of brominated flame retardants and organophosphate esters in indoor dust“. In: *Environ Pollut* 285 (2021), S. 117262. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.117262.

[22] V. Aleksandropoulou und M. Lazaridis. „Development and application of a model (ExDoM) for calculating the respiratory tract dose and retention of particles under variable exposure conditions“. In: *Air Qual. Atmos. Health* 6.1 (2013), S. 13–26. DOI: 10.1007/s11869-010-0126-z.

[23] J. A. H. Alpofead, C. M. Davidson und D. Littlejohn. „A novel two-step sequential bioaccessibility test for potentially toxic elements in inhaled particulate matter transported into the gastrointestinal tract by mucociliary clearance“. In: *Anal. Bioanal. Chem.* 409.12 (2017), S. 3165–3174. DOI: 10.1007/s00216-017-0257-2.

[24] I. D. Amoah, S. Kumari und F. Bux. „A probabilistic assessment of microbial infection risks due to occupational exposure to wastewater in a conventional activated sludge wastewater treatment plant“. In: *Sci Total Environ* 843 (2022), S. 156849. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.156849.

[25] A. M. Api u. a. „Skin contact transfer of three fragrance residues from candles to human hands“. In: *Regul Toxicol Pharmacol* 48.3 (2007), S. 279–83. DOI: 10.1016/j.yrtph.2007.03.008.

[26] N. Ayuso-Gabella u. a. „Quantifying the effect of Managed Aquifer Recharge on the microbiological human health risks of irrigating crops with recycled water“. In: *Agric. Water Manag.* 99.1 (2011), S. 93–102. DOI: 10.1016/j.agwat.2011.07.014.

[27] L. M. Barraj, J. S. Tsuji und C. G. Scrafford. „The SHEDS-Wood model: incorporation of observational data to estimate exposure to arsenic for children playing on CCA-treated wood structures“. In: *Environ Health Perspect* 115.5 (2007), S. 781–6. DOI: 10.1289/ehp.9741.

[28] P. I. Beamer u. a. „Farmworker children's residential non-dietary exposure estimates from micro-level activity time series“. In: *Environ. Int.* 35.8 (2009), S. 1202–1209. DOI: 10.1016/j.envint.2009.08.003.

[29] M. Benami u. a. „Quantification and risks associated with bacterial aerosols near domestic greywater-treatment systems“. In: *Sci Total Environ* 562 (2016), S. 344–352. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.03.200.

[30] C. E. Bernard u. a. „Sampling household surfaces for pesticide residues: Comparison between a Press Sampler and solvent-moistened wipes“. In: *Sci. Total Environ.* 389.2-3 (2008), S. 514–521. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2007.08.044.

[31] C. E. Bernard u. a. „Environmental residues and biomonitoring estimates of human insecticide exposure from treated residential turf“. In: *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 41.2 (2001), S. 237–240. DOI: 10.1007/s002440010243.

[32] M. R. Bernier und L. N. Vandenberg. „Handling of thermal paper: Implications for dermal exposure to bisphenol A and its alternatives“. In: *PLoS One* 12.6 (2017), e0178449. DOI: 10.1371/journal.pone.0178449.

[33] J. Bertram u. a. „Blood lead monitoring in a former mining area in Euskirchen, Germany: results of a representative random sample in 3- to 17-year-old children and minors“. In: *Environ Sci Pollut Res Int* 30.8 (2023), S. 20995–21009. DOI: 10.1007/s11356-022-23632-2.

[34] W. E. Bolch u. a. „Influences of parameter uncertainties within the ICRP-66 respiratory tract model: particle clearance“. In: *Health Phys* 84.4 (2003), S. 421–35. DOI: 10.1097/00004032-200304000-00002.

[35] S. L. Bowerbank, M. D. Gallidabino und J. R. Dean. „Plant Poisons in the Garden: A Human Risk Assessment“. In: *Separations* 9.10 (2022). DOI: 10.3390/separations9100308.

[36] D. H. Brouwer, R. Kroese und J. J. Van Hemmen. „Transfer of contaminants from surface to hands: experimental assessment of linearity of the exposure process, adherence to the skin, and area exposed during fixed pressure and repeated contact with surfaces contaminated with a powder“. In: *Appl Occup Environ Hyg* 14.4 (1999), S. 231–9. DOI: 10.1080/104732299303007.

[37] J. S. Brown u. a. „Thoracic and respirable particle definitions for human health risk assessment“. In: *Part Fibre Toxicol* 10 (2013), S. 12. DOI: 10.1186/1743-8977-10-12.

[38] K. Brudecki u. a. „Age-dependent inhalation doses to members of the public from indoor short-lived radon progeny“. In: *Radiat Environ Biophys* 53.3 (2014), S. 535–49. DOI: 10.1007/s00411-014-0543-8.

[39] N. Caballero-Casero und S. Rubio. „Identification of bisphenols and derivatives in greenhouse dust as a potential source for human occupational exposure“. In: *Anal Bioanal Chem* 414.18 (2022), S. 5397–5409. DOI: 10.1007/s00216-021-03863-x.

[40] D. Chakraborty und N. K. Mondal. „Assessment of Health Risk of Children from Traditional Biomass Burning in Rural Households“. In: *Expo. Health* 10.1 (2018), S. 15–26. DOI: 10.1007/s12403-017-0242-1.

[41] E. Chalvatzaki, V. Aleksandropoulou und M. Lazaridis. „A Case Study of Landfill Workers Exposure and Dose to Particulate Matter-Bound Metals“. In: *Water Air Soil Pollut* 225.1 (2014), S. 19. DOI: 10.1007/s11270-013-1782-z.

[42] H. R. Chao u. a. „Particle-Size Dust Concentrations of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Southern Taiwanese Houses and Assessment of the PBDE Daily Intakes in Toddlers and Adults“. In: *Aerosol air qual. res.* 14.4 (2014), S. 1299–1309. DOI: 10.4209/aaqr.2012.12.0342.

[43] I. P. Chatziprodromidou u. a. „Risk Factor Analysis of Children's Exposure to Microbial Pathogens in Playgrounds“. In: *Risk Anal* 42.2 (2022), S. 334–343. DOI: 10.1111/risa.13752.

[44] Y. H. Chen u. a. „Quantitative microbial risk assessment and sensitivity analysis for workers exposed to pathogenic bacterial bioaerosols under various aeration modes in two wastewater treatment plants“. In: *Sci Total Environ* 755.Pt 2 (2021), S. 142615. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142615.

[45] M. Chowdhury, S. Ghosh und P. K. Padhy. „Effects of indoor air pollution on tribal community in rural India and health risk assessment due to domestic biomass burning: a realistic approach using the lung deposition model“. In: *Environ Sci Pollut Res Int* 29.39 (2022), S. 59606–59618. DOI: 10.1007/s11356-022-19973-7.

[46] P. A. Clausen u. a. „Experimental estimation of migration and transfer of organic substances from consumer articles to cotton wipes: Evaluation of underlying mechanisms“. In: *J Expo Sci Environ Epidemiol* 26.1 (2016), S. 104–12. DOI: 10.1038/jes.2015.35.

[47] E. A. Cohen Hubal u. a. „Children's exposure assessment: a review of factors influencing Children's exposure, and the data available to characterize and assess that exposure“. In: *Environ Health Perspect* 108.6 (2000), S. 475–86. DOI: 10.1289/ehp.108-1638158.

[48] E. A. Cohen Hubal u. a. „Measuring potential dermal transfer of a pesticide to children in a child care center“. In: *Environ Health Perspect* 114.2 (2006), S. 264–9. DOI: 10.1289/ehp.8283.

[49] K. Connor und B. Magee. „A quantitative assessment of risks of heavy metal residues in laundered shop towels and their use by workers“. In: *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 70.1 (2014), S. 125–137. DOI: 10.1016/j.yrtph.2014.06.020.

[50] C. A. Cushing u. a. „Human health risk evaluation of ACQ-treated wood“. In: *Hum. Ecol. Risk Assess.* 13.5 (2007), S. 1014–1041. DOI: 10.1080/10807030701506173.

[51] F. A. F. da Silva u. a. „Transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 via fecal-oral: Current knowledge“. In: *World J Clin Cases* 9.28 (2021), S. 8280–8294. DOI: 10.12998/wjcc.v9.i28.8280.

[52] P. Damian. „Development of a health risk-based surface contamination cleanup standard for occupational exposure to beryllium“. In: *Toxicol. Mech. Methods.* 21.2 (2011), S. 97–102. DOI: 10.3109/15376516.2010.499257.

[53] A. Davis u. a. „Chemical exposures from upholstered furniture with various flame retardant technologies“. In: *Indoor Air* 31.5 (2021), S. 1473–1483. DOI: 10.1111/ina.12805.

[54] M. de Bruin-Hoegée u. a. „Contact transfer risk from fentanyl-contaminated RSDL® Kit“. In: *Toxicol Lett* 319 (2020), S. 237–241. DOI: 10.1016/j.toxlet.2019.11.013.

[55] P. H. Dennehy. „Transmission of rotavirus and other enteric pathogens in the home“. In: *Pediatr Infect Dis J* 19.10 Suppl (2000), S103–5. DOI: 10.1097/00006454-200010001-00003.

[56] J. Driver u. a. „Evaluation of predictive algorithms used for estimating potential postapplication, non-dietary ingestion exposures to pesticides associated with children's hand-to-mouth behavior“. In: *J Toxicol Environ Health A* 76.9 (2013), S. 556–86. DOI: 10.1080/15287394.2013.785347.

[57] C. E. Dujardin u. a. „Impact of air quality on the gastrointestinal microbiome: A review“. In: *Environ. Res.* 186 (2020). DOI: 10.1016/j.envres.2020.109485.

[58] K. English u. a. „Polybrominated diphenyl ether flame retardant concentrations in faeces from young children in Queensland, Australia and associations with environmental and behavioural factors“. In: *Environ Res* 158 (2017), S. 669–676. DOI: 10.1016/j.envres.2017.07.022.

[59] S. Eqani u. a. „Human lead (Pb) exposure via dust from different land use settings of Pakistan: A case study from two urban mountainous cities“. In: *Chemosphere* 155 (2016), S. 259–265. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.04.036.

[60] R. Fan u. a. „Levels of bisphenol-A in different paper products in Guangzhou, China, and assessment of human exposure via dermal contact“. In: *Environ Sci Process Impacts* 17.3 (2015), S. 667–73. DOI: 10.1039/c4em00621f.

[61] Y. Fan u. a. „Identifying dermal exposure as the dominant pathway of children's exposure to flame retardants in kindergartens“. In: *Sci Total Environ* 808 (2022), S. 152004. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152004.

[62] P. Fantke u. a. „Coupled near-field and far-field exposure assessment framework for chemicals in consumer products“. In: *Environ. Int.* 94 (2016), S. 508–518. DOI: 10.1016/j.envint.2016.06.010.

[63] O. T. Fatunsin u. a. „Children's exposure to hazardous brominated flame retardants in plastic toys“. In: *Sci Total Environ* 720 (2020), S. 137623. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137623.

[64] D. Feng u. a. „Risk assessment and source apportionment of heavy metals pollution from atmospheric deposition in Nanjing, China“. In: *Heliyon* 9.8 (2023), e18858. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e18858.

[65] A. Ferguson u. a. „Soil, Hand, and Body Adherence Measures across Four Beach Areas: Potential Influence on Exposure to Oil Spill Chemicals“. In: *Int J Environ Res Public Health* 17.12 (2020). DOI: 10.3390/ijerph17124196.

[66] A. Ferguson u. a. „Comparisons of computer-controlled chamber measurements for soil-skin adherence from aluminum and carpet surfaces“. In: *Environ. Res.* 109.3 (2009), S. 207–214. DOI: 10.1016/j.envres.2008.12.011.

[67] A. C. Ferguson u. a. „Soil-skin adherence from carpet: use of a mechanical chamber to control contact parameters“. In: *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng* 43.12 (2008), S. 1451–8. DOI: 10.1080/10934520802232253.

[68] A. Ferguson u. a. „Computer controlled chamber measurements for clay adherence relevant for potential dioxin exposure through skin“. In: *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng* 47.3 (2012), S. 382–8. DOI: 10.1080/10934529.2012.646098.

[69] J. A. Garrido u. a. „Exposure Assessment For Air-To-Skin Uptake of Semivolatile Organic Compounds (SVOCs) Indoors“. In: *Environ Sci Technol* 53.3 (2019), S. 1608–1616. DOI: 10.1021/acs.est.8b05123.

[70] L. E. Gloekler u. a. „A pilot study to characterize hand-to-mouth transfer efficiency of organophosphate flame retardants identified in infant products“. In: *Hum. Ecol. Risk Assess.* 27.9-10 (2021), S. 2288–2310. DOI: 10.1080/10807039.2021.1989662.

[71] H. A. Goede u. a. „Dermal Advanced REACH Tool (dART)—Development of a Dermal Exposure Model for Low-Volatile Liquids“. In: *Ann. Work Expo. Health* 63.6 (2019), S. 624–636. DOI: 10.1093/annweh/wxy106.

[72] S. Goix u. a. „Metal concentration and bioaccessibility in different particle sizes of dust and aerosols to refine metal exposure assessment“. In: *J Hazard Mater* 317 (2016), S. 552–562. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2016.05.083.

[73] R. F. Goncalves u. a. „Microbiological risk from non-potable reuse of greywater treated by anaerobic filters associated to vertical constructed wetlands“. In: *J. Water Process Eng.* 39 (2021). DOI: 10.1016/j.jwpe.2020.101751.

[74] M. Gorman Ng u. a. „Field measurements of inadvertent ingestion exposure to metals“. In: *Ann. Work Expo. Health* 61.9 (2017), S. 1097–1107. DOI: 10.1093/annweh/wxx071.

[75] N. Gosselin u. a. „Human Exposure to Malathion during a Possible Vector-Control Intervention against West Nile Virus. I: Methodological Framework for Exposure Assessment“. In: *Hum. Ecol. Risk Assess.* 14.6 (2008), S. 1118–1137. DOI: 10.1080/10807030802493834.

[76] D. Gray u. a. „Spray irrigation of landfill leachate: estimating potential exposures to workers and bystanders using a modified air box model and generalised source term“. In: *Environ Pollut* 133.3 (2005), S. 587–99. DOI: 10.1016/j.envpol.2004.06.010.

[77] K. A. Hamilton u. a. „Human health risks for Legionella and Mycobacterium avium complex (MAC) from potable and non-potable uses of roof-harvested rainwater“. In: *Water Res* 119 (2017), S. 288–303. DOI: 10.1016/j.watres.2017.04.004.

[78] S. Harrad u. a. „Indoor contamination with hexabromocyclododecanes, polybrominated diphenyl ethers, and perfluoroalkyl compounds: an important exposure pathway for people?“ In: *Environ Sci Technol* 44.9 (2010), S. 3221–31. DOI: 10.1021/es903476t.

[79] H. F. Hemond und H. M. Solo-Gabriele. „Children's exposure to arsenic from CCA-treated wooden decks and playground structures“. In: *Risk anal.* 24.1 (2004), S. 51–64. DOI: 10.1111/j.0272-4332.2004.00411.x.

[80] E. Hettiarachchi u. a. „The fate of inhaled uranium-containing particles upon clearance to gastrointestinal tract“. In: *Environ. Sci. Process Impacts* 24.8 (2022), S. 1257–1266. DOI: 10.1039/d2em00209d.

[81] D. Heusinkveld u. a. „Assessing Children's Lead Exposure in an Active Mining Community Using the Integrated Exposure Uptake Biokinetic Model“. In: *Expo Health* 13.3 (2021), S. 517–533. DOI: 10.1007/s12403-021-00400-0.

[82] D. Hristozov u. a. „Quantitative human health risk assessment along the lifecycle of nano-scale copper-based wood preservatives“. In: *Nanotoxicology* 12.7 (2018), S. 747–765. DOI: 10.1080/17435390.2018.1472314.

[83] H. C. Hsi u. a. „Determination of hand soil loading, soil transfer, and particle size variations after hand-pressing and hand-mouthing activities“. In: *Sci Total Environ* 627 (2018), S. 844–851. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.308.

[84] F. Huang u. a. „Heavy metals in road dust across China: occurrence, sources and health risk assessment“. In: *Bull Environ Contam Toxicol* 109.2 (2022), S. 323–331. DOI: 10.1007/s00128-022-03558-8.

[85] L. Huang u. a. „A review of models for near-field exposure pathways of chemicals in consumer products“. In: *Sci Total Environ* 574 (2017), S. 1182–1208. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.118.

[86] E. A. Hubal u. a. „Comparing surface residue transfer efficiencies to hands using polar and nonpolar fluorescent tracers“. In: *Environ Sci Technol* 42.3 (2008), S. 934–9. DOI: 10.1021/es071668h.

[87] A. Hunt u. a. „Risk remaining from fine particle contaminants after vacuum cleaning of hard floor surfaces“. In: *Environ Geochem Health* 30.6 (2008), S. 597–611. DOI: 10.1007/s10653-008-9183-8.

[88] M. Ikegami u. a. „Effect of particle size on risk assessment of direct soil ingestion and metals adhered to children's hands at playgrounds“. In: *Risk Anal* 34.9 (2014), S. 1677–87. DOI: 10.1111/risa.12215.

[89] G. Irvine u. a. „Soil ingestion rate determination in a rural population of Alberta, Canada practicing a wilderness lifestyle“. In: *Sci. Total Environ.* 470 (2014), S. 138–146. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.09.037.

[90] K. James, R. E. Farrell und S. D. Siciliano. „Comparison of human exposure pathways in an urban brownfield: reduced risk from paving roads“. In: *Environ Toxicol Chem* 31.10 (2012), S. 2423–30. DOI: 10.1002/etc.1952.

[91] Y. Jiang u. a. „Source apportionment and health risk assessment of potentially toxic elements in soil from mining areas in northwestern China“. In: *Environ Geochem Health* 44.5 (2022), S. 1551–1566. DOI: 10.1007/s10653-021-00907-0.

[92] M. P. Karwowski u. a. „Toxicants in folk remedies: implications of elevated blood lead in an American-born infant due to imported diaper powder“. In: *Environ Geochem Health* 39.5 (2017), S. 1133–1143. DOI: 10.1007/s10653-016-9881-6.

[93] M. Kaur u. a. „Quantitative assessment of exposure of heavy metals in groundwater and soil on human health in Reasi district, Jammu and Kashmir“. In: *Environ Geochem Health* 42.1 (2020), S. 77–94. DOI: 10.1007/s10653-019-00294-7.

[94] V. F. Khokhryakov u. a. „Adaptation of the ICRP publication 66 respiratory tract model to data on plutonium biokinetics for Mayak workers“. In: *Health Phys* 88.2 (2005), S. 125–32. DOI: 10.1097/01.hp.0000144575.37546.9d.

[95] A. Kumar und C. Scott Clark. „Lead loadings in household dust in Delhi, India“. In: *Indoor Air* 19.5 (2009), S. 414–20. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2009.00605.x.

[96] S. E. Lacey, A. Abelmann und S. Dorevitch. „Exposure to human waste from spills while servicing aircraft lavatories: hazards and methods of prevention“. In: *Ind Health* 48.1 (2010), S. 123–8. DOI: 10.2486/indhealth.48.123.

[97] Z. Li u. a. „Exposure of children to light rare earth elements through ingestion of various size fractions of road dust in REEs mining areas“. In: *Sci Total Environ* 743 (2020), S. 140432. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140432.

[98] N. Li u. a. „A systematic characterization of soil/dust ingestion for typical subpopulations in China“. In: *Environ. Geochem. Health.* 45.8 (2023), S. 6199–6214. DOI: 10.1007/s10653-023-01634-4.

[99] Y. Lin u. a. „Pollution distribution and health risk assessment of heavy metals in indoor dust in Anhui rural, China“. In: *Environ Monit Assess* 187.9 (2015), S. 565. DOI: 10.1007/s10661-015-4763-4.

[100] P. Liu u. a. „Assessment of chlorpyrifos exposure and absorbed daily doses among infants living in an agricultural area of the Province of Jiangsu, China“. In: *Int Arch Occup Environ Health* 87.7 (2014), S. 753–62. DOI: 10.1007/s00420-013-0918-1.

[101] K. Ljung u. a. „Metal and arsenic distribution in soil particle sizes relevant to soil ingestion by children“. In: *Applied Geochemistry* 21.9 (2006), S. 1613–1624. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2006.05.005.

[102] J. Ma u. a. „Estimation of the daily soil/dust (SD) ingestion rate of children from Gansu Province, China via hand-to-mouth contact using tracer elements“. In: *Environ Geochem Health* 40.1 (2018), S. 295–301. DOI: 10.1007/s10653-016-9906-1.

[103] J. Ma u. a. „What are the disease burden and its sensitivity analysis of workers exposing to Staphylococcus aureus bioaerosol during warm and cold periods in a wastewater treatment plant?“ In: *Environ Sci Pollut Res Int* 29.55 (2022), S. 82938–47. DOI: 10.1007/s11356-022-21447-9.

[104] A. Mackevica u. a. „Dermal transfer quantification of nanoparticles from nano-enabled surfaces“. In: *Nanoimpact* 11 (2018), S. 109–118. DOI: 10.1016/j.impact.2018.06.001.

[105] F. Madrid, M. Biasioli und F. Ajmone-Marsan. „Availability and bioaccessibility of metals in fine particles of some urban soils“. In: *Arch Environ Contam Toxicol* 55.1 (2008), S. 21–32. DOI: 10.1007/s00244-007-9086-1.

[106] E. Mammi-Galani u. a. „Exposure and dose to particulate matter inside the subway system of Athens, Greece“. In: *Air Qual. Atmos. Health* 10.8 (2017), S. 1015–1028. DOI: 10.1007/s11869-017-0490-z.

[107] K. Matsubara und H. Katayama. „Development of a Portable Detection Method for Enteric Viruses from Ambient Air and Its Application to a Wastewater Treatment Plant“. In: *Pathogens* 8.3 (2019). DOI: 10.3390/pathogens8030131.

[108] H. Mbareche u. a. „Influence of seasons and sites on bioaerosols in indoor wastewater treatment plants and proposal for air quality indicators“. In: *J Air Waste Manag Assoc* 72.9 (2022), S. 1000–1011. DOI: 10.1080/10962247.2022.2066735.

[109] J. Moor u. a. „Influence of pig farming on human Gut Microbiota: role of airborne microbial communities“. In: *Gut Microbes* 13.1 (2021), S. 1–13. DOI: 10.1080/19490976.2021.1927634.

[110] J. Moya und L. Phillips. „A review of soil and dust ingestion studies for children“. In: *J Expo Sci Environ Epidemiol* 24.6 (2014), S. 545–54. DOI: 10.1038/jes.2014.17.

[111] H. Ozkaynak u. a. „Modeled Estimates of Soil and Dust Ingestion Rates for Children“. In: *Risk anal.* 31.4 (2011), S. 592–608. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2010.01524.x.

[112] H. Özkaynak u. a. „Model based prediction of age-specific soil and dust ingestion rates for children“. In: *J Expo Sci Environ Epidemiol* 32.3 (2022), S. 472–480. DOI: 10.1038/s41370-021-00406-5.

[113] E. Pambianchi, A. Pecorelli und G. Valacchi. „Gastrointestinal tissue as a "new" target of pollution exposure“. In: *IUBMB Life* 74.1 (2022), S. 62–73. DOI: 10.1002/iub.2530.

[114] M. Pizzol, F. Moller und M. Thomsen. „External costs of atmospheric lead emissions from a waste-to-energy plant: A follow-up assessment of indirect exposure via topsoil ingestion“. In: *J. Environ. Manag.* 121 (2013), S. 170–178. DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.02.043.

[115] W. E. Platten u. a. „Estimating dermal transfer of copper particles from the surfaces of pressure-treated lumber and implications for exposure“. In: *Sci Total Environ* 548-549 (2016), S. 441–449. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.108.

[116] S. Poothong u. a. „Hand Wipes: A Useful Tool for Assessing Human Exposure to Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFASs) through Hand-to-Mouth and Dermal Contacts“. In: *Environ Sci Technol* 53.4 (2019), S. 1985–1993. DOI: 10.1021/acs.est.8b05303.

[117] E. P. Preece u. a. „Prevalence and persistence of microcystin in shoreline lake sediments and porewater, and associated potential for human health risk“. In: *Chemosphere* 272 (2021), S. 129581. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.129581.

[118] M. Rajaee u. a. „Mercury Exposure Assessment and Spatial Distribution in A Ghanaian Small-Scale Gold Mining Community“. In: *Int. J. Environ. Res. Public Health* 12.9 (2015), S. 10755–10782. DOI: 10.3390/ijerph120910755.

[119] C. T. Ramwell, P. D. Johnson und H. Corns. „Transferability of six pesticides from agricultural sprayer surfaces“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 50.3 (2006), S. 323–329. DOI: 10.1093/annhyg/mei074.

[120] C. Rauert u. a. „Direct contact between dust and HBCD-treated fabrics is an important pathway of source-to-dust transfer“. In: *Sci Total Environ* 545-546 (2016), S. 77–83. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.054.

[121] S. D. Rocha u. a. „Handling of antineoplastic drugs: a health concern among health care workers“. In: *Rev Bras Med Trab* 18.4 (2021), S. 407–414. DOI: 10.47626/1679-4435-2020-527.

[122] C. E. Rodes u. a. „Experimental methodologies and preliminary transfer factor data for estimation of dermal exposures to particles“. In: *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.* 11.2 (2001), S. 123–139. DOI: 10.1038/sj.jea.7500150.

[123] C. A. Rohrer u. a. „Transfer efficiencies of pesticides from household flooring surfaces to foods“. In: *J Expo Anal Environ Epidemiol* 13.6 (2003), S. 454–64. DOI: 10.1038/sj.jea.7500300.

[124] J. A. Roth. „Homeostatic and toxic mechanisms regulating manganese uptake, retention, and elimination“. In: *Biol Res* 39.1 (2006), S. 45–57. DOI: 10.4067/s0716-97602006000100006.

[125] A. L. Rowbotham, L. S. Levy und L. K. Shuker. „Chromium in the environment: an evaluation of exposure of the UK general population and possible adverse health effects“. In: *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 3.3 (2000), S. 145–78. DOI: 10.1080/10937400050045255.

[126] S. A. J. Sahmel und G. Ramachandran. „Influence of repeated contacts on the transfer of elemental metallic lead between compartments in an integrated conceptual model for dermal exposure assessment“. In: *J. Toxicol. Environ. Health, Part A* 85.3 (2022), S. 89–109. DOI: 10.1080/15287394.2021.1979435.

[127] C. B. Salocks u. a. „Dermal exposure to methamphetamine hydrochloride contaminated residential surfaces II. Skin surface contact and dermal transfer relationship“. In: *Food Chem Toxicol* 66 (2014), S. 1–6. DOI: 10.1016/j.fct.2013.12.044.

[128] G. Sankaran u. a. „Latex rubber gloves as a sampling dosimeter using a novel surrogate sampling device“. In: *J. Toxicol. Environ. Health Part A.* 78.17 (2015), S. 1094–1104. DOI: 10.1080/15287394.2015.1037411.

[129] A. Schirmer. „Ingestion of 226Ra from activated paints on military equipment: transfer factors and doses“. In: *Health Phys* 99.4 (2010), S. 568–71. DOI: 10.1097/HP.0b013e3181d18d2e.

[130] J. J. Schleier u. a. „A two-dimensional probabilistic acute human-health risk assessment of insecticide exposure after adult mosquito management“. In: *toch. Environ. Res. Risk Assess.* 23.5 (2009), S. 555–563. DOI: 10.1007/s00477-008-0227-5.

[131] M. E. Schoen u. a. „Risk-based enteric pathogen reduction targets for non-potable and direct potable use of roof runoff, stormwater, and greywater“. In: *Microb. Risk Anal.* 5 (2017), S. 32–43. DOI: 10.1016/j.mran.2017.01.002.

[132] M. E. Schoen, M. A. Jahne und J. Garland. „Human health impact of non-potable reuse of distributed wastewater and greywater treated by membrane bioreactors“. In: *Microb. Risk Anal.* 9 (2018), S. 72–81. DOI: 10.1016/j.mran.2018.01.003.

[133] D. Sen, H. Wolfson und M. Dilworth. „Lead exposure in scaffolders during refurbishment construction activity–an observational study“. In: *Occup Med (Lond)* 52.1 (2002), S. 49–54. DOI: 10.1093occmed52.1.49.10.1093/occmed/52.1.49.

[134] K. Shankar u. a. „Exposure to 4,4'-methylene bis (2-chloroaniline) (MbOCA) in New South Wales, Australia“. In: *J Occup Health* 59.3 (2017), S. 296–303. DOI: 10.1539/joh.16-0254-BR.

[135] E. Shay, E. De Gandiaga und A. K. Madl. „Considerations for the development of health-based surface dust cleanup criteria for beryllium“. In: *Crit Rev Toxicol* 43.3 (2013), S. 220–43. DOI: 10.3109/10408444.2013.767308.

[136] J. R. Smith u. a. „A revised model for the deposition and clearance of inhaled particles in human extra-thoracic airways“. In: *Radiat Prot Dosimetry* 158.2 (2014), S. 135–47. DOI: 10.1093/rpd/nct218.

[137] N. S. Soltani, M. P. Taylor und S. P. Wilson. „Quantification and exposure assessment of microplastics in Australian indoor house dust“. In: *Environ Pollut* 283 (2021), S. 117064. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.117064.

[138] A. B. Stefaniak u. a. „Particle transfer and adherence to human skin compared with cotton glove and pre-moistened polyvinyl alcohol exposure sampling substrates“. In: *J. Environ. Sci. Health A Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng.* 56.5 (2021), S. 585–598. DOI: 10.1080/10934529.2021.1899524.

[139] R. Sturm. „A computer model for the clearance of insoluble particles from the tracheobronchial tree of the human lung“. In: *Comput Biol Med* 37.5 (2007), S. 680–90. DOI: 10.1016/j.compbiomed.2006.06.004.

[140] R. Sturm und W. Hofmann. „A multi-compartment model for slow bronchial clearance of insoluble particles–extension of the ICRP human respiratory tract models“. In: *Radiat Prot Dosimetry* 118.4 (2006), S. 384–94. DOI: 10.1093/rpd/nci358.

[141] R. Sturm und W. Hofmann. „A theoretical approach to the deposition and clearance of fibers with variable size in the human respiratory tract“. In: *J Hazard Mater* 170.1 (2009), S. 210–8. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.04.107.

[142] E. J. Sugeng, P. E. G. Leonards und M. van de Bor. „Brominated and organophosphorus flame retardants in body wipes and house dust, and an estimation of house dust hand-loadings in Dutch toddlers“. In: *Environ Res* 158 (2017), S. 789–797. DOI: 10.1016/j.envres.2017.07.035.

[143] F. A. Swartjes und P. J. Janssen. „Assessment of health risks due to arsenic from iron ore lumps in a beach setting“. In: *Sci Total Environ* 563-564 (2016), S. 405–12. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.04.100.

[144] P. F. M. Teunis u. a. „Quantifying Contact with the Environment: Behaviors of Young Children in Accra, Ghana“. In: *Am J Trop Med Hyg* 94.4 (2016), S. 920–931. DOI: 10.4269/ajtmh.15-0417.

[145] A. N. Tsakirakis u. a. „Determination of pesticide dermal transfer to operators and agricultural workers through contact with sprayed hard surfaces“. In: *Pest Manag Sci* 74.12 (2018), S. 2858–2863. DOI: 10.1002/ps.5077.

[146] M. C. Tsou u. a. „Soil-to-skin adherence during different activities for children in Taiwan“. In: *Environ. Res.* 167 (2018), S. 240–247. DOI: 10.1016/j.envres.2018.07.028.

[147] N. S. Tulve u. a. „Methodologies for estimating cumulative human exposures to current-use pyrethroid pesticides“. In: *J Expo Sci Environ Epidemiol* 21.3 (2011), S. 317–27. DOI: 10.1038/jes.2010.25.

[148] M. Van Dyke, J. W. Martyny und K. A. Serrano. „Methamphetamine residue dermal transfer efficiencies from household surfaces“. In: *J Occup Environ Hyg* 11.4 (2014), S. 249–58. DOI: 10.1080/15459624.2013.848035.

[149] W. Van Hooste u. a. „Work-related Helicobacter pylori infection among sewage workers in municipal wastewater treatment plants in Belgium“. In: *Occup. Environ. Med.* 67.2 (2010), S. 91–97. DOI: 10.1136/oem.2008.040436.

[150] Y. O. Van Horne u. a. „A Community-Based Health Risk Assessment Following the Gold King Mine Spill: Results from the Gold King Mine Spill Dine Exposure Project“. In: *Expo. Health* 16 (2023), S. 643–660. DOI: 10.1007/s12403-023-00583-8.

[151] M. D. Walker u. a. „Effect of Relative Humidity on Transfer of Aerosol-Deposited Artificial and Human Saliva from Surfaces to Artificial Finger-Pads“. In: *Viruses* 14.5 (2022), S. 25. DOI: 10.3390/v14051048.

[152] B. Wang u. a. „Cell absorption induced desorption of hydrophobic organic contaminants from digested soil residue“. In: *Chemosphere* 83.11 (2011), S. 1461–6. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2011.03.008.

[153] X. Wang u. a. „Cross-Regional Dynamic Transfer Characteristics of Liquid Oil Contamination Induced by Random Contact in Machining Workshops in Shanghai, China“. In: *Appl. Sci. (Basel)* 12.9 (2022), S. 16. DOI: 10.3390/app12094765.

[154] Y. L. Wang u. a. „Estimation of Soil and Dust Ingestion Rates from the Stochastic Human Exposure and Dose Simulation Soil and Dust Model for Children in Taiwan“. In: *Environ Sci Technol* 55.17 (2021), S. 11805–13. DOI: 10.1021/acs.est.1c00706.

[155] A. P. Watson u. a. „Health-based ingestion exposure guidelines for Vibrio cholerae: Technical basis for water reuse applications“. In: *Sci Total Environ* 613-614 (2018), S. 379–387. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.297.

[156] J. J. Weeks u. a. „Potential human inhalation exposure to soil contaminants in urban gardens on brownfields sites: A breath of fresh air?“ In: *J Environ Qual* 50.3 (2021), S. 782–790. DOI: 10.1002/jeq2.20208.

[157] J. M. Weiss u. a. „Daily intake of phthalates, MEHP, and DINCH by ingestion and inhalation“. In: *Chemosphere* 208 (2018), S. 40–49. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.05.094.

[158] M. Wensing, E. Uhde und T. Salthammer. „Plastics additives in the indoor environment–flame retardants and plasticizers“. In: *Sci Total Environ* 339.1-3 (2005), S. 19–40. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2004.10.028.

[159] R. L. Williams u. a. „Measurement of transferable chemical residue from nylon carpet using the California roller and a new mega-California roller“. In: *J. Environ. Sci. Health. Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes* 43.8 (2008), S. 675–679. DOI: 10.1080/03601230802388736.

[160] C.-C. Wu u. a. „Transfer of Frictional Contact Derived Phthalates from Pad Surface Enhances Dermal Exposure“. In: *Environ. Sci. Technol.* 56.18 (2022), S. 12999–13007. DOI: 10.1021/acs.est.2c00640.

[161] Q. Wu, J. F. Oldi und K. Kannan. „Fate of perchlorate in a man-made reflecting pond following a fireworks display in Albany, New York, USA“. In: *Environ Toxicol Chem* 30.11 (2011), S. 2449–55. DOI: 10.1002/etc.648.

[162] M. J. Xie u. a. „Phthalates and alternative plasticizers and potential for contact exposure from children's backpacks and toys“. In: *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 26.1 (2016), S. 119–124. DOI: 10.1038/jes.2015.71.

[163] F. Xu u. a. „Comprehensive Study of Human External Exposure to Organophosphate Flame Retardants via Air, Dust, and Hand Wipes: The Importance of Sampling and Assessment Strategy“. In: *Environ Sci Technol* 50.14 (2016), S. 7752–60. DOI: 10.1021/acs.est.6b00246.

[164] J. Xue u. a. „A meta-analysis of children's hand-to-mouth frequency data for estimating nondietary ingestion exposure“. In: *Risk Anal* 27.2 (2007), S. 411–20. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2007.00893.x.

[165] J. Xue u. a. „A probabilistic arsenic exposure assessment for children who contact chromated copper arsenate (CCA)-treated playsets and decks, Part 2: Sensitivity and uncertainty analyses“. In: *Risk Anal* 26.2 (2006), S. 533–41. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2006.00748.x.

[166] Y. Yang u. a. „Pet hair as a potential sentinel of human exposure: Investigating partitioning and exposures from OPEs and PAHs in indoor dust, air, and pet hair from China“. In: *Sci Total Environ* 745 (2020), S. 140934. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140934.

[167] H. Yoshida-Ohuchi und N. Shinohara. „Estimated internal exposure doses due to indoor radiocaesium contamination in residential houses after the Fukushima nuclear accident“. In: *Sci Rep* 10.1 (2020), S. 17212. DOI: 10.1038/s41598-020-74182-x.

[168] I. Yusuf u. a. „Particle Size Dependent Dissolution of Uranium Aerosols in Simulated Gastrointestinal Fluids“. In: *Health Phys* 124.4 (2023), S. 285–300. DOI: 10.1097/hp.0000000000001668.

[169] V. G. Zartarian u. a. „A probabilistic arsenic exposure assessment for children who contact CCA-treated playsets and decks, part I: Model methodology, variability results, and model evaluation“. In: *Risk anal.* 26.2 (2006), S. 515–531. ISSN: 0272-4332. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2006.00747.x.

[170] V. Zartarian u. a. „Quantifying children's aggregate (dietary and residential) exposure and dose to permethrin: application and evaluation of EPA's probabilistic SHEDS-Multimedia model“. In: *J Expo Sci Environ Epidemiol* 22.3 (2012), S. 267–73. DOI: 10.1038/jes.2012.12.

[171] R. Zhang u. a. „Distribution and exposure risk assessment of chlorinated paraffins and novel brominated flame retardants in toys“. In: *J Hazard Mater* 447 (2023), S. 130789. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.130789.

[172] Y. Zhang u. a. „Distribution, source apportionment and health risk assessment of phthalate esters in outdoor dust samples on Tibetan Plateau, China“. In: *Sci Total Environ* 834 (2022), S. 155103. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155103.

[173] C. Zhao u. a. „Measurement of polychlorinated biphenyls with hand wipes and matched serum collected from Chinese E-waste dismantling workers: Exposure estimates and implications“. In: *Sci Total Environ* 799 (2021), S. 149444. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.149444.

[174] L. Zhao u. a. „Electronic-waste-associated pollution of per- and polyfluoroalkyl substances: Environmental occurrence and human exposure“. In: *J Hazard Mater* 451 (2023), S. 131204. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.131204.

[175] E. Zhao u. a. „Phthalates in plastic stationery in China and their exposure risks to school-aged children“. In: *Chemosphere* 339 (2023), S. 139763. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.139763.

[176] K. Zheng u. a. „Kindergarten indoor dust metal(loid) exposure associates with elevated risk of anemia in children“. In: *Sci Total Environ* 851.Pt 1 (2022), S. 158227. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.158227.

[177] P. Zhong u. a. „Contamination characteristics of heavy metals in particle size fractions from street dust from an industrial city, Central China“. In: *Air Qual. Atmos. Health* 13.7 (2020), S. 871–883. DOI: 10.1007/s11869-020-00846-2.

I.4 Messdaten

I.4.1 Dokumentation PRISMA-Methodik

Tabelle I.13: Suchstrings zur systematischen Literaturrecherche über Messdaten zu oraler Exposition am Arbeitsplatz.

Nr.	Thema	Standard-Suchstring
1	Messdaten	(„oral exposure“ OR „inadvertent ingestion“ OR „inadvertently ingested“ OR peri-oral OR perioral OR lips OR saliva OR mouth rinse* OR „ingestion volume“ OR „ingestion mass“) AND (Occupa* OR Worker OR Workplace OR industr*) AND (measur* OR monitoring OR sampl*) NOT (patient* OR rat OR rats OR mouse OR mice OR pig OR pigs OR SARS-CoV-2 OR COVID-19 OR stress* OR sleep* OR psychologic* OR administration OR drug* OR amalgam* OR cancer OR noise OR „smoking cessation“ OR „lip seal*“ OR „lip product*“)

Tabelle I.14: Evaluierung der Suchstrategien zu Messdaten. Nummerierte Suchstrategien beziehen sich auf Tabelle I.13.

Suchstrategie	Publikation	Web of Science		PubMed	
		Verfügbar	Identifiziert	Verfügbar	Identifiziert
1	[1]	x	x	x	x
1	[2]	x	x	x	x
1	[3]	x	x	x	x
1	[4]	x	x	x	x

Tabelle I.15: Messdaten: Suchstrategien, Datenbanken bzw. Websites und Suchdaten. Nummerierte Suchstrategien beziehen sich auf Tabelle I.13.

Themenbereich	Suchstrategie	Datenbank, Website	Suchdatum
Messdaten	1	Web of Science	02.10.23
Messdaten	1	PubMed	02.10.23
Messdaten	saliva; mouth rinse; perioral; peri-oral; ingestion	IOM	02.10.23
			Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.15 – Fortführung

Themenbereich	Suchstrategie	Datenbank, Website	Suchdatum
Messdaten	saliva sample; mouth rinse; perioral; peri-oral; ingestion	HSE	02.10.23
Messdaten	Speichel; saliva; Mundspülung; mouth rinse; perioral; peri-oral; verschlucken; ingestion	BAuA	02.10.23
Messdaten	saliva; mouth rinse; perioral; peri-oral; ingestion	RIVM	02.10.23
Messdaten	(„oral exposure“ OR „inadvertent ingestion“ OR „inadvertently ingested“ OR peri-oral OR perioral OR lips OR saliva OR mouth rinse* OR „ingestion volume“ OR „ingestion mass“) AND (Occupa* OR Worker OR Workplace OR industr*) AND (measur* OR monitoring OR sampl*)	TNO	02.10.23
Messdaten	(„oral exposure“ OR „inadvertent ingestion“ OR „inadvertently ingested„ OR peri-oral OR perioral OR lips OR saliva OR mouth rinse* OR „ingestion volume“ OR „ingestion mass“) AND (Occupa* OR Worker OR Workplace OR industr*)	EPA	02.10.23
Messdaten	1	NIOSH	02.10.23
Messdaten	saliva AND workplace AND measurement NOT SARS-CoV2; mouth rinse AND workplace AND measurement NOT SARS-CoV2; perioral AND workplace AND measurement NOT SARS-CoV2; peri-oral AND workplace AND measurement NOT SARS-CoV2; ingestion AND workplace AND measurement NOT SARS-CoV2	WHO	02.10.23
Messdaten	1	OECD	02.10.23

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle I.15 – Fortführung

Themenbereich	Suchstrategie	Datenbank, Website	Suchdatum
Messdaten	(„oral exposure“ OR „inadvertent ingestion“ OR „inadvertently ingested“ OR peri-oral OR perioral OR lips OR saliva OR mouth rinse* OR „ingestion volume“ OR „ingestion mass“) AND (Occupa* OR Worker OR Workplace OR industr*) AND (measur* OR monitoring OR sampl*) NOT (patient* OR rat OR rats OR mouse OR mice OR pig OR pigs OR SARS-CoV-2 OR COVID-19 OR stress* OR sleep* OR psychologic* OR administration OR drug* OR amalgam* OR cancer OR noise OR „smoking cessation“ OR (lip NEXT seal*) OR (lip NEXT product*))	COCHRANE	02.10.23
Messdaten	(„oral exposure“ OR „inadvertent ingestion“ OR „inadvertently ingested“ OR peri-oral OR perioral OR lips OR saliva OR mouth rinse* OR „ingestion volume“ OR „ingestion mass“) AND (Occupa* OR Worker OR Workplace OR industr*) AND (measur* OR monitoring OR sampl*)	Deutsche Nationalbibliothek	02.10.23
Messdaten	(„orale Exposition“ OR peri-oral OR perioral OR Lippen OR Speichel OR Mundspülung) AND (Arbeit* OR Industrie*)	Deutsche Nationalbibliothek	02.10.23
Messdaten	(„oral exposure“ OR „inadvertent ingestion“ ingestion mass“) AND (Occupa* OR Worker OR Workplace OR industr*) AND (measur* OR monitoring OR sampl*)	bergischbib	02.10.23

Tabelle I.16: Eingeschlossene Studien zu Messdaten sowie Kategorie der enthaltenen Probenahmemethode und Arbeitsbereiche.

			Probenahme					**Arbeitsbereiche**							
Erstautor	Jahr	Studie	Perioral (wischen)	Lippen (wischen)	Speichelprobe, Mundspülung	Probenahme unter Fingernägeln	Biomonitoring (Urin)	Landwirtschaft	Metallverarbeitung	Krankenpflege	Werkstatt	Metalle	Pharmazeutika	Pestizide	Wasser
Christopher	2008	[5]	x		x			x	x	x		x	x	x	
Hughson	2004	[6]	x						x			x			
Hughson	2005	[7]	x						x			x			
Hughson	2005	[8]	x			x			x			x			
Connolly	2019	[2]	x					x						x	
Gorman Ng	2017	[4]	x						x			x			
Hwan	2002	[3]		x					x			x			
Hwang	2000	[9]		x					x			x			
Sinclair	2016	[1]					x				x				x

I.4.2 Weitere Messdaten

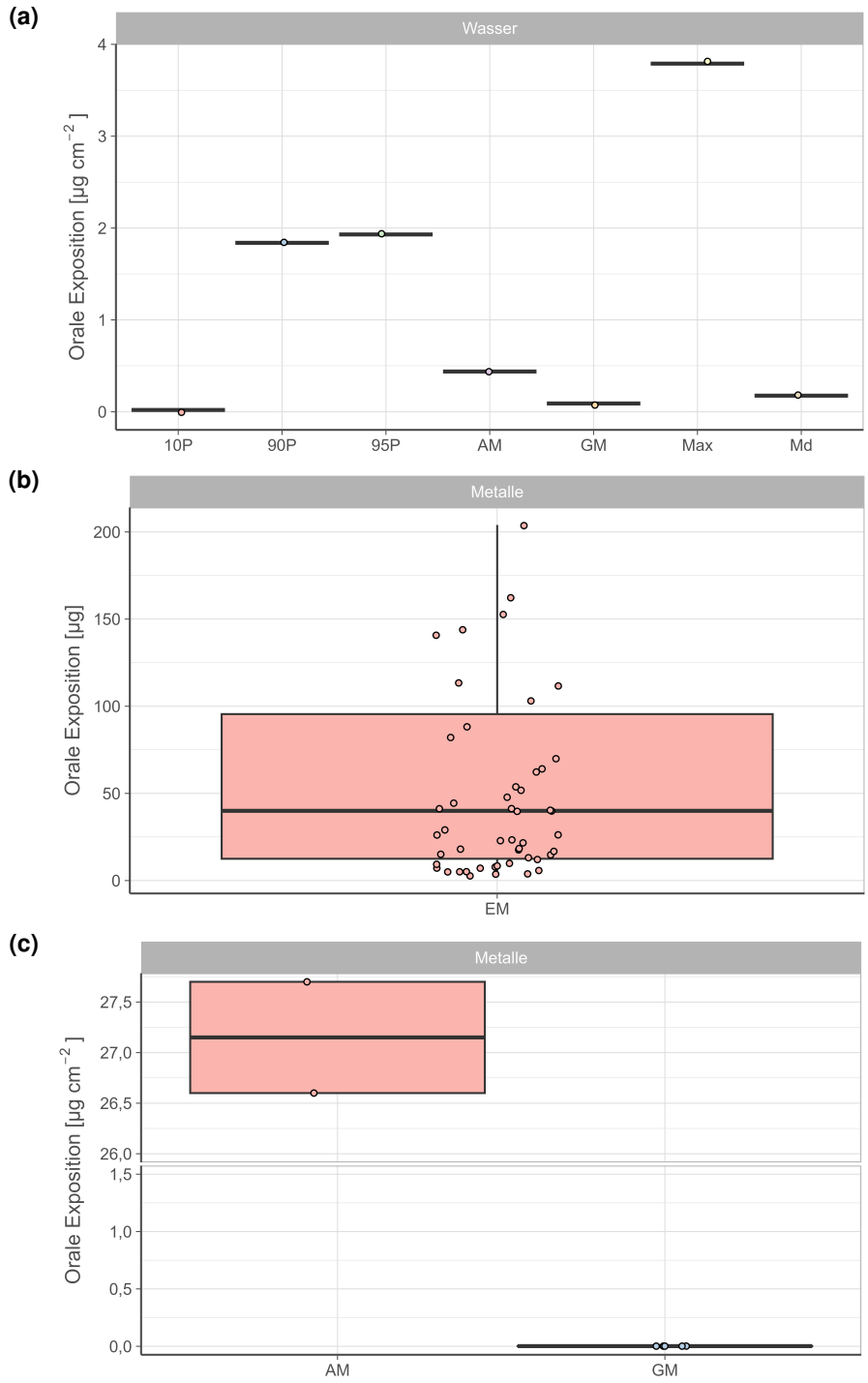


Abbildung I.7: Boxplot der Messdaten zu oraler Exposition für (a) Biomonitoring anhand eines Tracers in Urin, (b) Probenahme von Metallen unter Fingernägeln und (c) Probenahme von Metallen durch Wischen der Lippen. Ausreißer sind nicht visualisiert. 90. P: 90. Perzentil, AM: Arithmetisches Mittel, EM: Einzelmessung, GM: Geometrisches Mittel, Max: Maximum, Md: Median, Min: Minimum.

Literatur

[1] M. Sinclair u. a. „Measuring water ingestion from spray exposures“. In: *Water Res* 99 (2016), S. 1–6. DOI: 10.1016/j.watres.2016.04.034.

[2] A. Connolly u. a. „Evaluating Glyphosate Exposure Routes and Their Contribution to Total Body Burden: A Study Among Amenity Horticulturalists“. In: *Ann Work Expo Health* 63.2 (2019), S. 133–147. DOI: 10.1093annwehwxy104.10.1093/annweh/wxy104.

[3] Y. H. Hwan u. a. „Using structural equation model to explore occupational lead exposure pathways“. In: *Sci Total Environ* 284.1-3 (2002), S. 95–108. DOI: 10.1016/s0048-9697(01)00870-1.

[4] M. Gorman Ng u. a. „Field measurements of inadvertent ingestion exposure to metals“. In: *Ann. Work Expo. Health* 61.9 (2017), S. 1097–1107. DOI: 10.1093/annweh/wxx071.

[5] Y. Christopher. „Inadvertent ingestion exposure to hazardous substances in the workplace“. Dissertation. Aberdeen: University of Aberdeen, 2008.

[6] G. W. Hughson. *An occupational hygiene assessment of dermal nickel exposures in primary production industries*. Research Report TM/04/05. https://www.iom-world.org/wp-content/uploads/2024/04/IOM_TM0405.pdf. Institute of Occupational Medicine, 2004.

[7] G. W. Hughson. *An occupational hygiene assessment of dermal nickel exposures in primary production and primary user industries. Phase 2 Report*. Research Report TM/05/06. https://www.iom-world.org/wp-content/uploads/2024/04/IOM_TM0506.pdf. Institute of Occupational Medicine, 2005.

[8] G. W. Hughson. *An occupational hygiene assessment of dermal inorganic lead exposures in primary and intermediate user industries*. Research Report TM/04/06. https://www.iom-world.org/wp-content/uploads/2024/04/IOM_TM0406.pdf. 2005.

[9] Y. H. Hwang u. a. „Lip lead as an alternative measure for lead exposure assessment of lead battery assembly workers“. In: *Aihaj* 61.6 (2000), S. 825–31. DOI: 10.10801529866000898459 3.

Anhang II

Verhaltensweisen und arbeitshygienische Praxis

II.1 Datenschutz und Ethik

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

F 2554: Arbeitsplatz-Modell für die orale Expositionsroute (OMORE) – Projekt 1 (Arbeitspaket 2)

OMORE Projektbündel

Datenschutzrechtliche Stellungnahme

Vorbemerkungen

Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) ist eine nicht rechtsfähige Anstalt des öffentlichen Rechts mit Sitz in Dortmund und an den Standorten Berlin, Dresden und Chemnitz. Die BAuA untersteht als solche dem Bundesministerium für Arbeit und Soziales unmittelbar.
Als eine öffentliche Stelle bzw. Behörde des Bundes ist sie „Verantwortlicher“ i. S. d. Art. 4 Nr. 7 der europäischen Datenschutz-Grundverordnung (DS-GVO), die allein oder gemeinsam mit anderen über die Zwecke und Mittel der Verarbeitung von personenbezogenen Daten entscheidet. Sie unterliegt damit den datenschutzrechtlichen Vorgaben der DS-GVO.
Aufgrund ihrer Aufgabenstellung ist die BAuA darüber hinaus aber auch eine Ressortforschungseinrichtung des Bundes (siehe Erlass über die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin vom 29. Juni 2020). Insofern hat sie bei ihren Forschungsaktivitäten, bei denen sie personenbezogene Daten Dritter zum Zwecke der wissenschaftlichen Forschung i. S. von Art. 4 Nr. 2 DS-GVO verarbeitet, nicht nur die europäischen Vorschriften zum Datenschutz, wie die DS-GVO, sondern auch die nationalen Vorschriften, wie das Bundesdatenschutzgesetz (BDSG) oder sonstige spezialgesetzliche Regelungen, wie bspw. das Sozialgesetzbuch (SGB), sowie die darin verankerten, gesondert geregelten Erlaubnistatbestände für die Verarbeitung von personenbezogenen Daten zu Forschungszwecken vollumfänglich zu beachten (s. auch Art. 89 DS-GVO, § 27 BDSG).

A. Prüfergebnis

Nach eingehender Befassung mit dem Datenschutzkonzept und den übermittelten Informationsunterlagen und Studieninformationen bestehen in datenschutzbezogener Hinsicht keine Bedenken gegen die in der o.a. Studie vorgesehene Verarbeitung von personenbezogenen Daten zu Forschungszwecken.

B. Prüfungsgegenstand

Die Fachgruppen FG 4.I.4 und 4.II.4 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) führen das wissenschaftliche Projekt F2554 mit dem Titel „Arbeitsplatz-Modell für die orale Expositionsroute (OMORE) – Projekt 1“ durch. Es handelt sich um ein Eigenforschungsprojekt ohne Beteiligung weiterer Projektpartner. Die BAuA wird Eignerin der erhobenen Daten. Das Projekt F2554 bildet zusammen mit F 2567 „Arbeitsplatz-Modell für

die orale Expositionsroute (OMORE) – Projekt 2: Untersuchung von messtechnischen Methoden oraler Exposition“ das OMORE-Projektbündel.

Ziel des Projektes:

Die systematische, quantitative Erfassung der potenziell zur Gesamtexposition beitragenden oralen Exposition und deren Verhältnis zu inhalativen und dermalen Pfaden wurde bislang nur wenig untersucht. Bekannte Mechanismen des Zustandekommens von oraler Exposition sind mangelnde Arbeitshygiene und die menschliche Verhaltensweise. Die Datenlage hinsichtlich dieser Faktoren ist in der Literatur jedoch stark eingeschränkt, da entsprechende Studien hauptsächlich für Kinder durchgeführt werden. Dementsprechend ist auch unklar, in welchen beruflichen Zusammenhängen die Verhaltensweise und die arbeitshygienische Praxis das Zustandekommen oraler Exposition besonders begünstigen.
Deshalb ist es das Ziel dieses 2. Arbeitspakets, relevante Arbeitsplätze sowie potenziell beitragende Verhaltensweisen und arbeitshygienische Praktiken zu erfassen. Ihr Einfluss auf das Zustandekommen oraler Exposition wird erhoben.

Dazu soll eine zweiteilige Methodik genutzt werden, wobei unter A) Befragungen von Beschäftigten und unter B) Begehungen von Betrieben erfolgen sollen.

Die von Seiten des behördlichen Datenschutzbeauftragten der BAuA vorgenommene datenschutzbezogene Prüfung bezieht sich nunmehr auf das **OMORE Projekt Arbeitsplatz-Modell für die orale Expositionsroute** und damit auf die bei der nunmehr anstehenden **Befragung von Beschäftigten und Begehung von Betrieben** vorzunehmende Verarbeitung von personenbezogenen Daten nach den einschlägigen gesetzlichen Vorgaben der DS-GVO und des BDSG.

Die datenschutzrechtliche Prüfung erfolgt auf der Grundlage der von der verantwortlichen Studienleitung angefertigten und zur datenschutzrechtlichen Prüfung vorgelegten Studiendokumentationen:

- Das Datenschutzkonzept vom 22.11.2023
- den Informationen über das Ziel der Studie, deren Ablauf sowie zum Datenschutz (Anschreiben an potentielle Teilnehmer*innen, Studieninformationen und Informationen zum Datenschutz)
- den Einwilligungs- und Datenschutzerklärungen (Formblätter)

C. Prüfungsfeststellungen (im Einzelnen)

I.

Nach den einschlägigen Bestimmungen der DS-GVO ist die Verarbeitung von personenbezogenen Daten zum Zwecke der wissenschaftlichen Forschung nur dann zulässig, wenn

- die Verarbeitung eine der in Art. 6 UAbs. 1 DS-GVO aufgeführten Bedingungen erfüllt,

- bei der Verarbeitung den Grundsätzen des Art. 5 DS-GVO hinreichend Rechnung geschenkt wird

  und

- bei der Verarbeitung von personenbezogenen Daten für wissenschaftliche Forschungszwecke sowohl technische als auch organisatorische Maßnahmen getroffen werden, in denen insbesondere die Achtung der Grundsätze der Datenminimierung und der Speicherbegrenzung gewährleistet werden (Art. 89 Abs. 1 DS-GVO, Art. 5 Abs. 1 lit. e DS-GVO).

Für die rechtmäßige Verarbeitung von personenbezogenen Daten Betroffener im Zuge der hier durchzuführenden Studie ist Art. 6 UAbs.1 lit. a) DS-GVO einschlägig.

Danach bedarf es für die Verarbeitung - insbesondere auch für die Verarbeitung von personenbezogenen Daten für Zwecke der wissenschaftlichen Forschung – einer Einwilligung der betroffenen Person, deren personenbezogene Daten verarbeitet werden.

Art. 4 Nr. 11 DS-GVO enthält hierzu die nachfolgende angeführte Legaldefinition:.

„Im Sinne dieser Verordnung bezeichnet der Ausdruck „Einwilligung“ der betroffenen Person jede freiwillig für einen bestimmten Fall, in informierter Weise und unmissverständlich abgegebene Willenserklärung in Form einer Erklärung oder einer sonstigen eindeutigen bestätigenden Handlung, mit der die betroffene Person zu verstehen gibt, dass sie mit der Verarbeitung der sie betreffenden personenbezogenen Daten einverstanden ist.“

Beruht die Verarbeitung auf einer solchen „Einwilligung“, obliegt es dem Verantwortlichen zugleich, jederzeit auch nachweisen zu können, dass die betroffene Person in die Verarbeitung ihrer personenbezogenen Daten eingewilligt hat, vgl. Art. 7 Abs. 1 DS-GVO.

Somit bedingt die Verarbeitung von personenbezogenen Daten, die auf Art. 6 UAbs. 1 lit. a DS-GVO gestützt werden soll, dass die betroffene Person noch vor Beginn der Verarbeitung dem Verantwortlichen gegenüber eine „informierte Einwilligung“ zur Verarbeitung ihrer personenbezogenen Daten erteilt hat.

II.

Um dem Erfordernis der „Informiertheit“ im Zuge der Einholung „informierter Einwilligungen“ hinreichend Rechnung zu tragen, sind die Betroffenen noch vor einer Erhebung ihrer personenbezogenen Daten über das Ziel und den Zweck der Verarbeitung, deren Ablauf sowie über die weiteren Aspekte, die mit einer „Verarbeitung“ i. S. d. DS-GVO verbunden sind, zu informieren.

Hierzu müssen die Betroffenen verständlich und in klarer und einfacher Sprache über sämtliche Fakten, die mit der Verarbeitung ihrer personenbezogenen Daten in Zusammenhang stehen, allumfassend informiert werden, so dass für diese erkennbar ist, zu welchen konkreten (datenschutzbezogenen) Sachverhalten sie letztlich ihr Einverständnis erteilen.
Hierzu gehört auch die Benennung der Rechtsgrundlage, auf die die Verarbeitung ihrer personenbezogenen Daten gestützt wird.
Zudem sind ihnen auch die Rechte, die ihnen bei Verarbeitungen von personenbezogenen Daten nach der DS-GVO zustehen, bekanntzugeben.

III.

Wie aus den Studiendokumentationen ersichtlich, ist das Teilprojekt OMORE 1 nochmals in zwei Unterabschnitte, einer Befragung von Beschäftigten und einer Begehung von Betrieben unterteilt.

Die Akquise der zu befragenden Personen erfolgt durch eigene Ressourcen der Gruppe 4.II.4 durch Recherche und Anschreiben. Die Beauftragung Dritter ist demnach nicht vorgesehen.

So obliegt es der BAuA, die potentiell befragten Personen, anzuschreiben und diesen die Informationen zum Ablauf der Studie und zum Datenschutz zur Verfügung zu stellen.

Im Zuge der Befragungen werden die folgenden Kontaktdaten als personenbezogene Daten erhoben und gehandhabt: Name, berufliche E-Mailadresse, berufliche Telefonnummer, Arbeitgeber. Die Datenerhebung erfolgt mithilfe von Fragebögen in einem persönlichen Gespräch oder in Form von Web-Konferenzen. Bei Einwilligung des Befragungsteilnehmers oder der Befragungsteilnehmerin werden ggf. Tonaufnahmen angefertigt.

Dazu werden vorab die zwingend benötigten „informierten Einwilligungen“ von den potentiellen Interviewpartner*Innen und Fragebogenadressaten in schriftlicher Form eingeholt.

Die Beobachtungen der Arbeitnehmer in Betrieben werden ebenfalls durch das Projektteam der BAuA durchgeführt, welches ebenfalls für die Kontaktaufnahme mit potenziellen Kooperationsbetrieben zuständig ist. Potenzielle Kooperationsbetriebe sollen durch Internetrecherchen sowie über die Kontaktierung von Arbeitsschutzbehörden, Berufsgenossenschaften oder Fachverbänden sowie ggf. über Kontakte des Fachbereichs 4 ermittelt werden. Die Kontaktaufnahmen erfolgen direkt telefonisch oder per E-Mail oder durch die Vermittlung durch Arbeitsschutzbehörden, Berufsgenossenschaften oder Fachverbände. Innerhalb der Kooperationsbetriebe erfolgt die Vermittlung zwischen Arbeitnehmern und Projektteam durch Führungskräfte und Ansprechpartner des Kooperationsbetriebs.

Die Arbeitnehmer, die im Rahmen der Teilnahme beobachtet werden sollen, werden umfassend über den Ablauf des Projekts, seine Inhalte, die Verwendung der Daten sowie die datenschutzrechtlichen Vorkehrungen informiert und erklären daraufhin schriftlich ihre Einwilligung zur Teilnahme und Verwendung ihrer Daten und Angaben (siehe Einwilligungs-/Datenschutzerklärung). Ohne Vorliegen einer Einwilligungs-/Datenschutzerklärung werden keine Daten und Angaben von den Teilnehmenden erhoben.

Wie die hier vorgenommene datenschutzbezogene Prüfung auch gezeigt hat, enthalten die hier in Rede stehenden Dokumentationen insbesondere eine Vielzahl von datenschutzbezogenen Informationen, die den Betroffenen noch vor der eigentlichen Erhebung ihrer personenbezogenen Daten gem. Art. 13 DS-GVO auch zwingend bekanntgeben werden müssen, wie

- die Namen und Kontaktdaten der Verantwortlichen,
- die Namen und Kontaktdaten der Datenschutzbeauftragten der Verantwortlichen,
- die Rechtsgrundlage, auf die die Verarbeitung gestützt wird,
- die Art der zu verarbeitenden personenbezogenen Daten,
- die Art und Weise, wie diese weiterverarbeitet werden,
- wie und wo diese geschützt und getrennt voneinander gespeichert bzw. aufbewahrt und wann diese jeweils gelöscht werden,
- die Form, in welcher die verarbeiteten Daten ggf. veröffentlicht werden,
- Angaben zu den Rechten, die den Betroffenen nach der DS-GVO zustehen,
- die Nennung der Stelle/n unter Angaben der Kontaktdaten, an die die Betroffenen sich hinwenden können, wenn sie der Meinung sind, dass ihre Daten nicht gem. den geltenden datenschutzrechtlichen Bestimmungen verarbeitet werden.

Fazit: Sofern die in den Studiendokumentationen festgeschriebenen Verfahrensweisen im Zuge des hier noch anstehenden Vorhabens entsprechend umgesetzt werden und die zur weiteren Verwendung vorgesehenen Dokumentationen auch vollumfänglich genutzt werden, ist davon auszugehen, dass den Vorgaben des Art. 13 Abs. 1 DS-GVO hinreichend Beachtung geschenkt wird.

IV.

Wie aus den o. a. Dokumentationen zudem ersichtlich, werden die personenbezogenen Daten der Betroffenen (hier: Experteninterviews und die Beobachteten Personen) auch nur alleinig und somit ausschließlich für die in der o. a. Studie maßgeblichen Zwecke erhoben und weiterverarbeitet.

Es werden nur personenbezogene Daten von Betroffenen erhoben und verarbeitet, wie sie zur Erreichung des Forschungszwecks auch zwingend benötigt werden.

Darüber hinaus werden diese Daten auch nur solange in einer Form gespeichert, die die Identifizierung der betroffenen Person nur so lange ermöglicht, wie es für die Zwecke, für die sie verarbeitet werden, zwingend erforderlich ist. Ein Löschungskonzept ist aufgeführt.

V.

Nach alledem ist davon auszugehen, dass den gesetzlichen Vorgaben der Art. 89 und 5 DS-GVO sowie denen des BDSG bei der hier im Zuge des o.a. Vorhabens vorzunehmenden Datenverarbeitung hinreichend Beachtung geschenkt werden wird.

Dortmund, den 18.12.2023



_____
(Mathias Thielen)

Behördlicher Datenschutzbeauftragter
der Bundesanstalt für Arbeitsschutz
und Arbeitsmedizin

baua:
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Federal Institute for Occupational Safety and Health

Ihr Ansprechpartner

Dr. Uwe Lenhardt

Nöldnerstr. 40/42
10317 Berlin
Tel.: +49 30 51548 - 4112
Fax: +49 30 51548 - 4170
lenhardt.uwe@baua.bund.de
www.baua.de

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Postfach 17 02 02, D-44061 Dortmund

Frau
Dr. Kathrin Bissantz (Gruppe 4.II.4)
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1-25
44149 Dortmund

Ihr Zeichen, Ihre Nachricht vom	Mein Zeichen, meine Nachricht vom	Datum
		05.04.2024

076_2024: Arbeitsplatz-Modell für die orale Expositionsroute (OMORE) – Projekt 1, Arbeitspaket 2: Arbeitshygiene und Verhaltensweisen, Expertenbefragungen

Projektleiterin: Dr. Kathrin Bissantz (Gruppe 4.II.4)
Unterlagen vom: 08.01.2024

Sehr geehrte Frau Dr. Bissantz,

die Ethikkommission der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin hat sich mit den ethischen Fragen des oben bezeichneten Forschungsvorhabens abschließend befasst und erteilt in ihrer Kommissionssitzung vom 31.01.2024 unter Auflagen ein positives Votum. Die Auflagen wurden am 08.03.2024 erfüllt.

Die antragstellende Wissenschaftlerin hat bei der Durchführung wissenschaftlicher Projekte die Bestimmungen guter wissenschaftlicher Praxis einzuhalten.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. med Dipl. Ing. Stephan Letzel
Vorsitzender der Ethikkommission der BAuA

Dr. Uwe Lenhardt
Geschäftsstelle der
Ethikkommission der BAuA

baua:

Bundesanstalt für Arbeitsschutz
und Arbeitsmedizin
Federal Institute for Occupational
Safety and Health

Ihr Ansprechpartner

Dr. Uwe Lenhardt

Nöldnerstr. 40/42
10317 Berlin
Tel.: +49 30 51548 - 4112
Fax: +49 30 51548 - 4170
lenhardt.uwe@baua.bund.de
www.baua.de

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Postfach 17 02 02, D-44061 Dortmund

Frau
Dr. Kathrin Bissantz (Gruppe 4.II.4)
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1-25
44149 Dortmund

Ihr Zeichen, Ihre Nachricht vom	Mein Zeichen, meine Nachricht vom	Datum
		05.04.2024

077_2024: Arbeitsplatz-Modell für die orale Expositionsroute (OMORE) – Projekt 1, Arbeitspaket 2: Arbeitshygiene und Verhaltensweisen, Beobachtungen am Arbeitsplatz

Projektleiterin: Dr. Kathrin Bissantz (Gruppe 4.II.4)
Unterlagen vom: 08.01.2024

Sehr geehrte Frau Dr. Bissantz,

die Ethikkommission der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin hat sich mit den ethischen Fragen des oben bezeichneten Forschungsvorhabens abschließend befasst und erteilt in ihrer Kommissionssitzung vom 31.01.2024 unter Auflagen ein positives Votum. Die Auflagen wurden am 08.03.2024 erfüllt.

Die antragstellende Wissenschaftlerin hat bei der Durchführung wissenschaftlicher Projekte die Bestimmungen guter wissenschaftlicher Praxis einzuhalten.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. med Dipl. Ing. Stephan Letzel
Vorsitzender der Ethikkommission der BAuA

Dr. Uwe Lenhardt
Geschäftsstelle der
Ethikkommission der BAuA

II.2 Experteninterviews

II.2.1 Semistrukturierter Interview-Leitfaden

Legende

- ↳ *kursiv: Ziel, das verfolgt wird*
- Unterpunkte: Folgefragen
- grau – Optionen, aus denen ausgewählt wird
- **Nummeriert & fettgedruckt: Hauptfragen**
- blau – Sondierungsfragen („Probe“)

Kontextuale Informationen

Identifikationsnummer des Interviewpartners: _____

(Separat werden der Name, der Arbeitgeber, die berufliche E-Mailadresse sowie die berufliche Telefonnummer erhoben. Über eine zufällige Identifikationsnummer erfolgt die pseudonymisierte Zuordnung zu dem hier vorliegenden auszufüllenden Leitfaden.)

Interviewleitung: _____

Datum: _____

Präsenzinterview ☐ Web-Konferenz ☐

Einleitung des Interviews

Frau … / Herr …, vielen Dank, dass Sie sich heute Zeit für dieses Interview nehmen.

Ich bin … (kurze Vorstellung, Name, Funktion).

Aktuell arbeiten wir in der BAuA an einem Projekt, in dem es um die Modellierung von oraler Exposition am Arbeitsplatz geht. Einen Schwerpunkt stellen dabei Verhaltensweisen von Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern und Maßnahmen der Arbeitshygiene dar, die die orale Exposition beeinflussen könnten. Zu diesem Themenbereich interviewen wir im ersten Schritt Expertinnen und Experten – wie heute Sie – und im zweiten Schritt werden wir Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer in ausgewählten Betrieben beobachten, um die gewonnenen Erkenntnisse praktisch zu vertiefen.

Deshalb würden wir in unserem Interview heute gerne mehr über Ihre Einschätzung zu Verhaltensweisen lernen, die Ihrer Meinung nach zum Zustandekommen von oraler Exposition beitragen. Es würde uns interessieren, diese gemeinsam mit Ihnen im Kontext Ihrer beruflichen Erfahrungen zu betrachten. Außerdem würden uns Ihre Einschätzungen sowie Erfahrungen hinsichtlich von Maßnahmen der Arbeitshygiene im Zusammenhang mit oraler Exposition sehr weiterhelfen. Falls wir dann noch Zeit haben, würden wir gerne mit Ihnen den Einfluss von Schulungen auf die Arbeitshygiene und das Verhalten diskutieren.

Haben Sie zu den Inhalten des Interviews an dieser Stelle Fragen?

Bevor wir jedoch anfangen können, sollten wir noch kurz über den Datenschutz im Zusammenhang mit unserem heutigen Interview sprechen. Vorab haben wir Ihnen Informationen bereitgestellt, aus denen hervorgeht, dass Ihr Name, Ihre berufliche Emailadresse sowie Ihre berufliche Telefonnummer als personenbezogene Daten gehandhabt werden. Unser Gespräch heute wird in pseudonymisierter Form dokumentiert, sodass sich Ihre personenbezogenen Daten sowie Ihre Interviewantworten nur unter Kenntnis des Pseudonymisierungscodes einander zuordnen lassen. Weiterhin würden wir gerne Tonaufnahmen des heutigen Interviews anfertigen, um unser Gespräch detailliert auswerten zu können. Eine solche Aufnahme würde im Falle Ihrer Zustimmung als personenbezogen gehandhabt. Die Teilnahme an diesem Interview ist freiwillig und kann jederzeit ohne Angabe von Gründen beendet werden, ohne dass Ihnen daraus Nachteile entstehen.

Haben Sie an dieser Stelle noch Fragen?

a) Danke, dass Sie im Vorfeld Ihre Zustimmung zum Interview und den Tonaufnahmen übermittelt haben.

b) Sind Sie mit dieser Vorgehensweise einverstanden?

JA ☐ NEIN ☐

Gilt dies auch für die Tonaufnahmen?

JA ☐ NEIN ☐

↳ *Ziel: Kennenlernen des Experten und dessen Arbeitsbereiche*

1. **Als Erstes möchte ich Sie bitten, sich selbst vorzustellen. Wie würden Sie Ihre bisherigen Tätigkeiten und Erfahrungen beschreiben?**

_____

_____

_____

i. Und an welchen Arbeitsplätzen [haben Sie bisher Messungen durchgeführt / waren Sie bisher tätig]?

_____

_____

_____

ii. Mit welchen Branchen lassen sich Ihre bisherigen Tätigkeitsbereiche beschreiben?

Tätigkeitsbereich	Zutreffend	Gewerb.	Indust.	Anmerkung
Landwirtschaft & Lebensmittel – SU1: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei – SU4: Herstellung von Lebens- und Futtermitteln				
Bergbau – SU2a: Bergbau (außer Offshore-Industrien) – SU2b: Offshore-Industrien				
Textilien, Holz, Papier und Druck – SU5: Herstellung von Textilien, Leder, Pelzen – SU6a: Herstellung von Holz und Holzprodukten – SU6b: Herstellung von Zellstoff, Papier und Papierprodukten – SU7: Herstellung von Druckerzeugnissen und Vervielfältigung von bespielten Medien				
Chemikalien & nicht-metallische Produkte – SU8: Herstellung von Massenchemikalien (einschließlich Mineralölprodukte) – SU9: Herstellung von Feinchemikalien – SU13: Herstellung von sonstigen nichtmetallischen mineralischen Produkten, z. B. Gips, Zement				
Polymere – SU11: Herstellung von Gummiprodukten				

– SU12: Herstellung von Kunststoffprodukten, einschließlich Compoundierung und Konversion				
Metallverarbeitung – SU14: Metallerzeugung und -bearbeitung, einschließlich Legierungen – SU15: Herstellung von Metallerzeugnissen, außer Maschinen und Ausrüstungen				
Herstellung von Geräten, Maschinen oder Einrichtung – SU16: Herstellung von Computern, elektronischen und optischen Erzeugnissen, elektrischen Ausrüstungen – SU17: Allgemeine Herstellung, z. B. Maschinen, Ausrüstungen, Fahrzeuge, sonstige Transportausrüstung – SU18: Herstellung von Möbeln				
Andere Sektoren – SU19: Bauwirtschaft – SU20: Gesundheitswesen – SU23: Strom-, Dampf-, Gas-, Wasserversorgung und Abwasserbehandlung – SU24: Wissenschaftliche Forschung und Entwicklung				
– SU0: Sonstiges				

iii. Handelt es sich bei […] eher um **gewerbliche oder um industrielle** Arbeiten?
Optionale Erläuterung bei Nachfragen:

Beispiel industrielle Tätigkeit	**Beispiel gewerbliche Tätigkeit**
Lackieren von Neuwagen in Herstellungswerk (Hohes Maß an Automatisierung und Containment)	Lackieren von Autos in Reparaturwerkstätten
Austausch von Katalysatoren durch externe, hochspezialisierte Fachfirma	Handwerksservice großer Baumarktketten

Antwort in obenstehende Tabelle ergänzen

_____

_____

_____

iv. Bitte lassen Sie sich die typischen Arbeitsabläufe an Arbeitsplatz XY noch einmal genau vor Ihrem geistigen Auge Revue passieren und beschreiben Sie diese Schritt für Schritt.

_____

_____

_____

v. Inwiefern wurde an den einzelnen **Arbeitsplätzen die orale Exposition** in den Schutz der Arbeitnehmer und Arbeitnehmerinnen einbezogen? Warum?

Tätigkeitsbereich	Nicht einbezogen	Einbezogen	Anmerkung

↳ *Ziel: Icebreaker sowie verstehen der Perspektive auf das Thema*

2. **Bislang wird die orale Exposition am Arbeitsplatz kaum betrachtet. Ein Grund dafür ist die Darlegung unter REACH, wo es in der Guidance R.14 heißt, dass eine quantitative Betrachtung nicht notwendig ist. Neben Publikationen, die diese Sichtweise unterstützen gibt es auch Veröffentlichungen, die die orale Exposition am Arbeitsplatz als relevant ansehen. Wie sehen Sie die Relevanz von oraler Exposition am Arbeitsplatz?**

_____

_____

_____

i. **Worauf beruht** Ihr Schluss, dass […]?

_____

_____

_____

ii. Was genau fassen Sie dabei unter den **Begriff „orale Exposition“**?

_____

_____

_____

↳ *Mit vorheriger Frage im Hinterkopf Informationen zu Arbeitsbereichen vertiefen*

3. **Verschiedene Charakteristika der Arbeit beeinflussen das Zustandekommen von beruflicher Exposition. Dazu zählt auch, wie stark die Hände in die Erfüllung der Aufgaben eingebunden sind. Wie würden Sie die Auslastung bzw. den Grad der Beschäftigung der Hände für die jeweiligen Tätigkeitsbereiche beschreiben?**

Optionale Erläuterungen bei Nachfragen:

a) Nicht beschäftigt: Bspw. Prozess-Monitoring am Bildschirm, visuelle Qualitätskontrolle einer Produktlinie
b) Wenig beschäftigt – gelegentliche Nutzung der Hände: Bspw. gelegentliche Qualitätskontrolle anhand von Gewicht und Größe
c) Stark beschäftigt – manuelle Aufgaben die häufige oder beinahe permanente Arbeit mit den Händen bedeuten: Bspw. Handhabung von Werkzeugen und Ausrüstung, manuelle Arbeiten wie Schaufeln oder Heben

_____

_____

_____

i. Wie würden Sie die **Sauberkeit** der Arbeitsplätze in den jeweiligen Tätigkeitsbereichen beschreiben?

_____

_____

_____

ii. Waren die Arbeitsplätze der jeweiligen Tätigkeitsbereiche **eher sauber oder eher schmutzig**?

Tätigkeitsbereich	Eher sauber	Eher schmutzig

iii. Was sonst **charakterisiert** die Arbeitsplätze in diesen Tätigkeitsbereichen speziell in Bezug auf orale Exposition?

_____

_____

_____

Vielen Dank für diese Erklärung / spannende Perspektive. Wir würden diese nun gern weiter vertiefen.

Verhaltensweisen

↳ *Ziel: Identifikation von Verhaltensweisen und deren Relevanz*

4. Als Nächstes würde ich gerne Ihre Einschätzung hinsichtlich der Rolle von Verhaltensweisen beim Zustandekommen von oraler Exposition kennenlernen. Zunächst losgelöst von konkreten Beobachtungen aus Ihrem Berufsleben – für welche Verhaltensweisen erwarten Sie einen solchen Einfluss?

_____

_____

_____

i. Würden Sie dabei auch an [*versch.* ***Kontaktarten****, Maßnahmen der Arbeitshygiene, Händewaschen, Reinigung von Oberflächen, technische / organisatorische / persönliche Schutzmaßnahmen, Stoffeigenschaften, bestimmte Tätigkeiten*] denken?

_____

_____

_____

ii. Für die Modellierung und die vorherige Datenerhebung ist es wichtig zu wissen, welche dieser Verhaltensweisen für das Zustandekommen von oraler Exposition wie relevant sind. Wie schätzen Sie den Beitrag von […] basierend auf dessen **Häufigkeit** ein?
Optionale Erläuterung bei Nachfragen: „Perioral" bezeichnet die Region um den Mund, von der aus ein Eintrag in den Mund denkbar wäre

_____

_____

_____

iii. **Worauf** beruht diese Einschätzung?

_____

_____

_____

↳ *Ziel: Identifikation von ergänzenden Faktoren für Beobachtungen in Betrieben und zur Verwendung in Expositionsmodellierung*

5. Neben der Relevanz von Verhaltensweisen möchten wir die Verhaltensweisen auch in Bezug zu Einflussparametern stellen. Durch welche Eigenschaften von Arbeit, Arbeitsplatz und Arbeitsumfeld werden Verhaltensweisen wie […] beeinflusst?

_____

_____

_____

i. Und was ist mit [Verfügbarkeit von Hygieneeinrichtungen, Arbeitsbedingungen, Risikowahrnehmung]?

_____

_____

_____

↳ *Ziel: Ableitung von Modellinputs zu Verhalten*

6. An dieser Stelle würde ich unsere Diskussion gerne im Zusammenhang mit Ihrer beruflichen Erfahrung stellen. Bisher haben wir über [genannte Verhaltensweisen] gesprochen. Welche Verhaltensweisen konnten Sie auch in der Praxis beobachten?

_____

_____

_____

i. Treten diese Verhaltensweisen in Ihren Tätigkeitsbereichen **unterschiedlich häufig** auf?
JA ☐ NEIN ☐

ii. Falls ja, wie äußern sich die **Unterschiede** für die folgenden Tätigkeitsbereiche?

Tätigkeitsbereich	**Anmerkung**

iii. Wodurch entstehen Ihrer Meinung nach diese Unterschiede?

Tätigkeitsbereich	**Anmerkung**

↳ *Ziel: Ableitung von Modellinputs zu Verhalten*

7. Haben Sie, anders herum betrachtet, auch Verhaltensweisen beobachten können, die eine orale Exposition reduzieren könnten?
JA ☐ NEIN ☐

i. Falls ja, **welche**?

_____

_____

_____

↳ *Ziel: Ableitung von Modellinputs zu Verhalten*

8. Für die späteren Beobachtungen ist es spannend zu wissen, welche Häufigkeiten einzelner Verhaltensweisen zu erwarten wären. Würden Sie die einzelnen Verhaltensweisen 0-3, 4-10 oder über 10 Mal pro Schicht erwarten?

Verhaltensweise	0-3	4-10	>10	Weiß nicht
Kontakt Hand-perioral				
Kontakt Hand-Mund				
Kontakt Objekt-Mund				
Häufigkeit Händewaschen				

Vielen Dank, das hilft uns weiter.

Schutzmaßnahmen

↳ *Ziel: Identifikation von ergänzenden Faktoren für Beobachtungen in Betrieben und zur Verwendung in Expositionsmodellierung*

9. Bisher haben wir hauptsächlich über das Verhalten von Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern gesprochen. Weiterführend interessiert mich, wo Sie – zunächst losgelöst von konkreten Arbeitsplätzen – ansetzen würden, um konkrete Schutzmaßnahmen zur Vermeidung oder Reduktion speziell von oraler Exposition abzuleiten?

a) _____

_____

b) _____

_____

c) _____

_____

d) _____

_____

i. Was wäre die konkrete Maßnahme? (*Antwort unter Hauptfrage eintragen*)

ii. **Was** würde [diese konkrete Maßnahme] reduzieren oder vermeiden?

a) _____

_____

b) _____

_____

c) _____

_____

d) _____

_____

iii. Welche Einflüsse auf das Zustandekommen von oraler Exposition würden Sie bspw. bei [Spritzschutz, spezielle Seifen oder Nagelbürsten / -feilen zur Handreinigung] sehen?

_____

_____

_____

iv. Für die weitere Betrachtung von Maßnahmen gegen orale Exposition interessiert uns auch die Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen. Wie würden Sie diese für [genannte Maßnahmen] einschätzen?

v. Auf welchen **Annahmen** beruht diese Einordnung?

↳ *Ziel: Beschreibung von Schutzmaßnahmen als Modellinput*

10. Auch hier wäre für uns wieder ein Bezug zu Ihrer beruflichen Praxis besonders spannend. Welche Schutzmaßnahmen haben Sie in der Praxis beobachten können, die die orale Exposition reduzieren könnten?

i. In welchen **Branchen** war das jeweils?

ii. Falls bisher nicht erwähnte Schutzmaßnahme genannt wird: Wie würden Sie die Wirksamkeit dieser Schutzmaßnahme einschätzen?

iii. Worauf beruht diese Einschätzung?

iv. Vorhin haben wir bspw. über [Spitzschutz oder Nagelbürsten, …] gesprochen. Haben Sie solche **Methoden in der Praxis** kennengelernt?

_____

_____

v. Welche **Einrichtungen,** die zur Reduzierung oraler Exposition beitragen könnten wie bspw. Waschbecken, waren unmittelbar für die Beschäftigten erreichbar?

_____

_____

_____

vi. Gibt es auch **Schutzmaßnahmen**, die die dermale oder inhalative Exposition reduzieren, aber die orale Exposition **erhöhen** könnten?
JA ☐ NEIN ☐

vii. Falls ja, welche?

_____

_____

_____

vii. Beispiel: Es gibt bspw. eine Studie über die Kontamination von Masken durch Blei, bei der durch fehlerhaftes Auf- oder Absetzen oder mangelhafte Reinigung die Maskeninnenseite kontaminiert wird. Diese Kontaminationen könnten durch einen Transfer auf die Haut oder bspw. beim Benetzen der Lippen mit der Zunge zu einer oralen Exposition führen.

Optional: Schulungen

Bevor wir zum Abschluss unseres Gesprächs kommen, würde uns noch Ihre Perspektive auf Schulungen interessieren, da diese auch dazu dienen können, die Verhaltensweisen und die Einhaltung von Arbeitsschutzmaßnahmen zu verbessern.

↳ *Ziel: Erhebung von Informationen zu Schulungen, die Zustandekommen von oraler Exposition beeinflussen können*

11. Waren Sie im Rahmen Ihrer Tätigkeiten an Schulungen beteiligt?

JA ☐ NEIN ☐

i. Falls ja: Haben Sie diese durchgeführt oder waren Sie TeilnerhmerIn?

Durchführung ☐ Teilnahme ☐

ii. Falls ja: Ging es in den Schulungen um eine **Verbesserung** der Gesundheit, des Fachwissens, der Arbeitshygiene, des Verhaltens der Arbeitnehmer oder um andere Themen?

Eigengesundheit verbessern	☐	Fachwissen erhöhen	☐
Arbeitshygiene verbessern	☐	Verhalten ändern	☐
Andere	☐		

iii. Falls „Andere“ gewählt wurden: Welche anderen Ziele lagen vor?

_____

_____

_____

iv. Wurden die Schulungen online, in Präsenz oder als Übung durchgeführt?

Online ☐ Präsenz ☐ Übung ☐

v. Welche Unterstützungsmaterialien wurden genutzt?

Poster ☐ Video ☐ Präsentationen ☐ Andere ☐ Keine ☐

vi. Falls „Andere“ gewählt wurden: Welche anderen Formate wurden genutzt?

_____

_____

_____

↳ *Ziel: Abschluss des Interviews, Perspektive nach dem Gespräch erheben*

12. Zwei Varianten, je nachdem wie Frage 2 beantwortet wurde:
Zuletzt möchte ich Sie fragen:

i. Relevanz: **Was sollten Ihrer Meinung nach die Forschungspunkte der nächsten fünf Jahre hinsichtlich der oralen Exposition am Arbeitsplatz sein?**

_____

_____

_____

ii. Unsicherheit / Irrelevanz: **Warum oder warum nicht sollte Ihrer Meinung nach die orale Exposition am Arbeitsplatz in Zukunft betrachtet werden?**

_____

_____

_____

Schlussbemerkungen

13. Haben Sie noch Anmerkungen oder Hinweise zum Thema?

_____

_____

_____

One-Shot Question:

Wodurch lässt sich die orale Exposition am Arbeitsplatz am wirkungsvollsten unterbinden?

_____

_____

_____

II.2.2 Ergebnisse der semistrukturierten Interviews

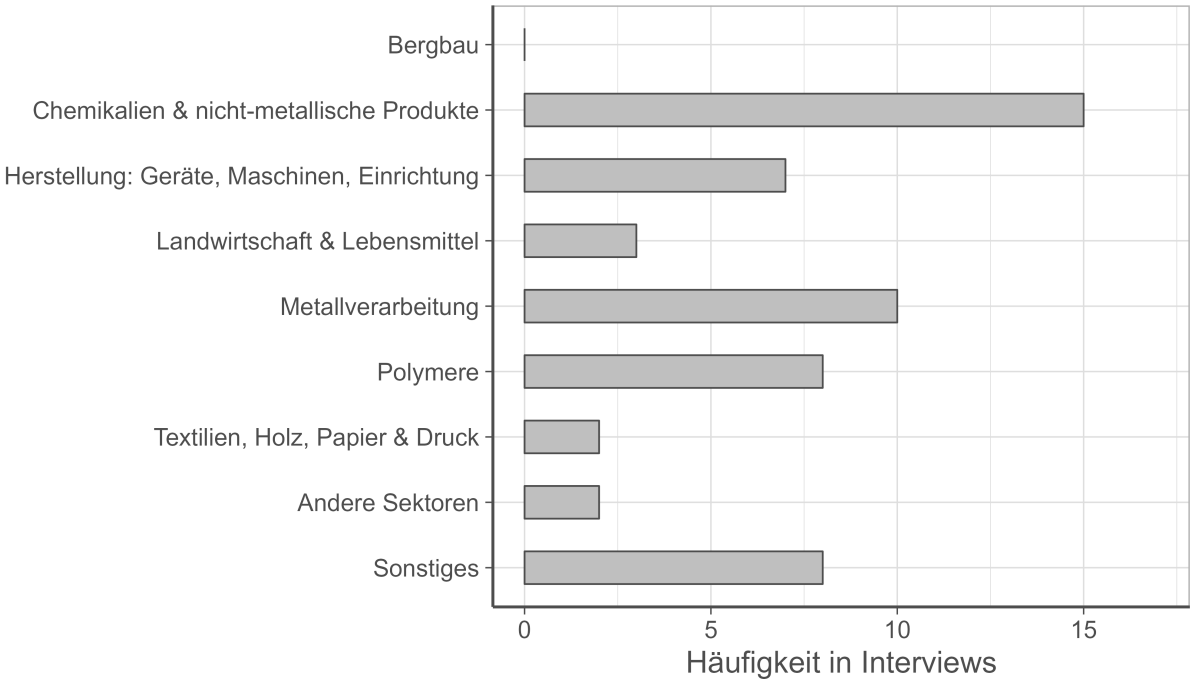


Abbildung II.1: Branchen in Anlehnung an REACH, Guidance R.12, die von Experten beschrieben wurden. Andere Sektoren umfassen bspw. Biogasanlagen. Sonstiges umfasst bspw. Recycling-Arbeitsplätze. Da ein Experte mehrere Arbeitsbereiche beschreiben kann, kann die Häufigkeit in Interviews die Gesamtzahl der Interviews überschreiten.

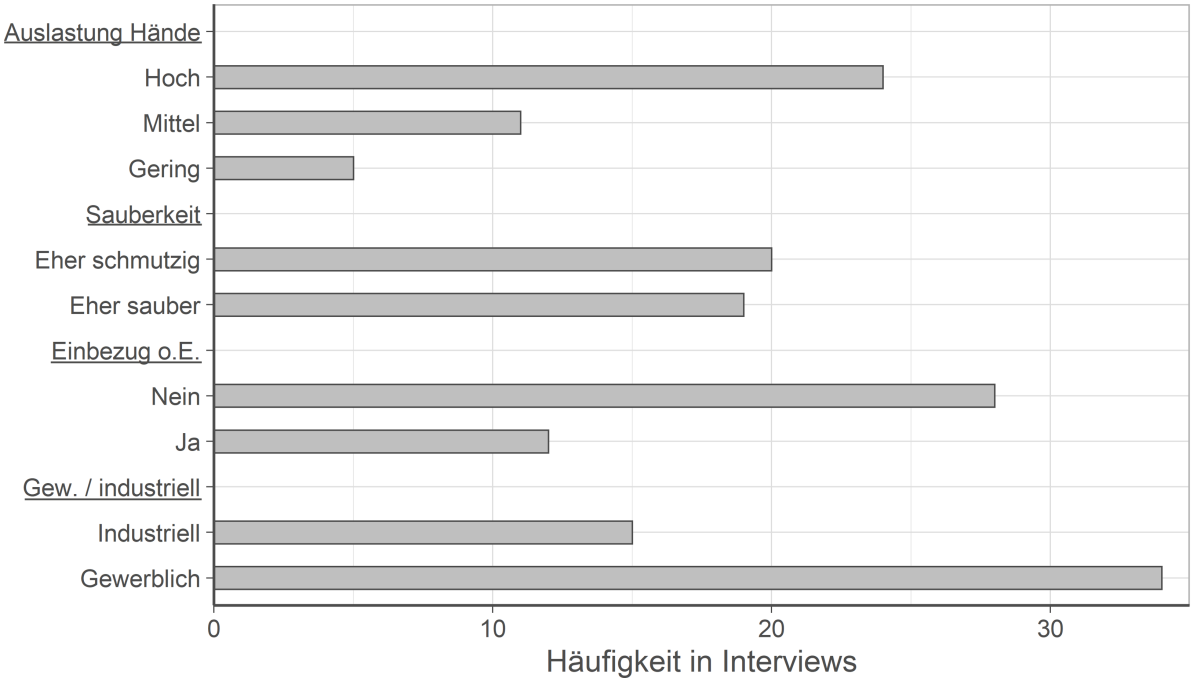


Abbildung II.2: Kontext der Arbeitsplätze, die von Experten beschrieben wurden. Da ein Experte mehrere Arbeitsbereiche beschreiben kann, kann die Häufigkeit in Interviews die Gesamtzahl der Interviews überschreiten.

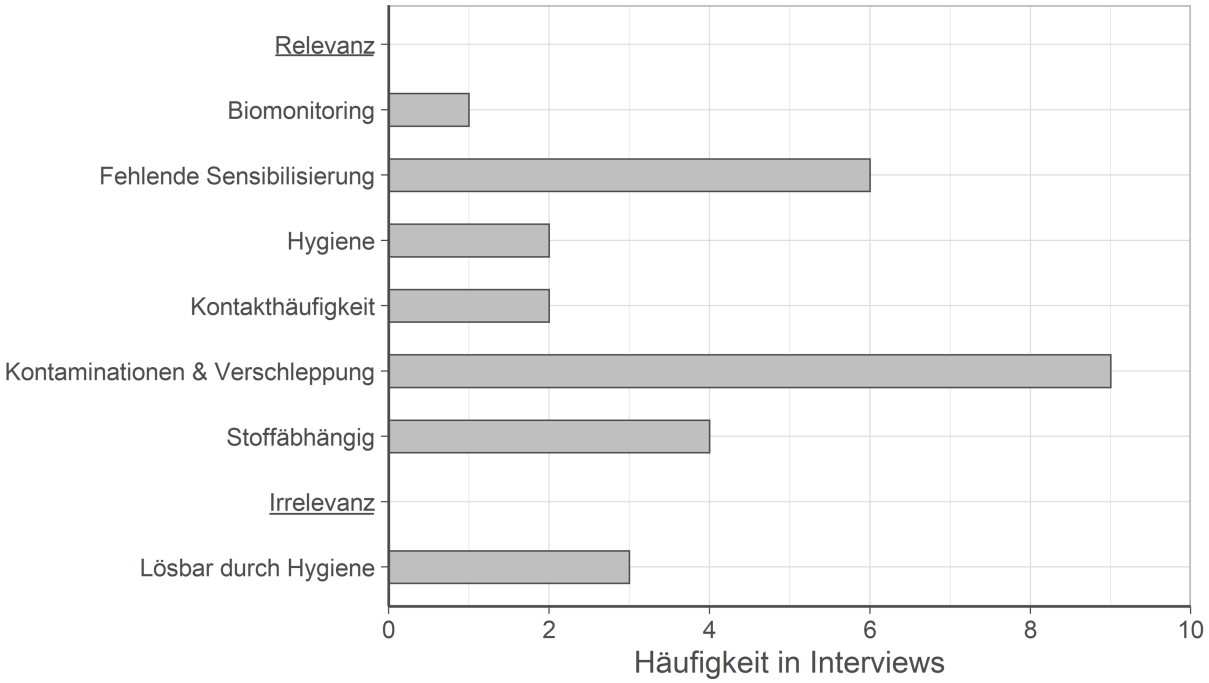


Abbildung II.3: Perspektiven der Experten auf orale Exposition mit Gründen für eine potenzielle Irrelevanz oder Relevanz.

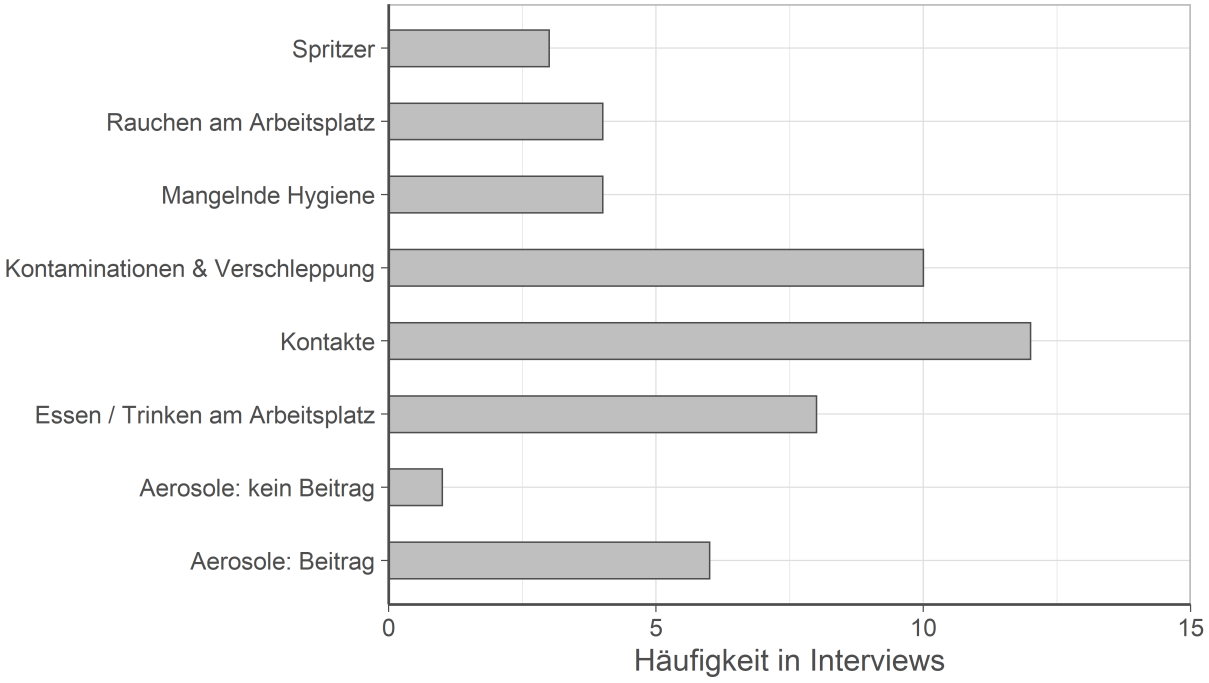


Abbildung II.4: Von den Experten benannte Ursachen oder Mechanismen oraler Exposition.

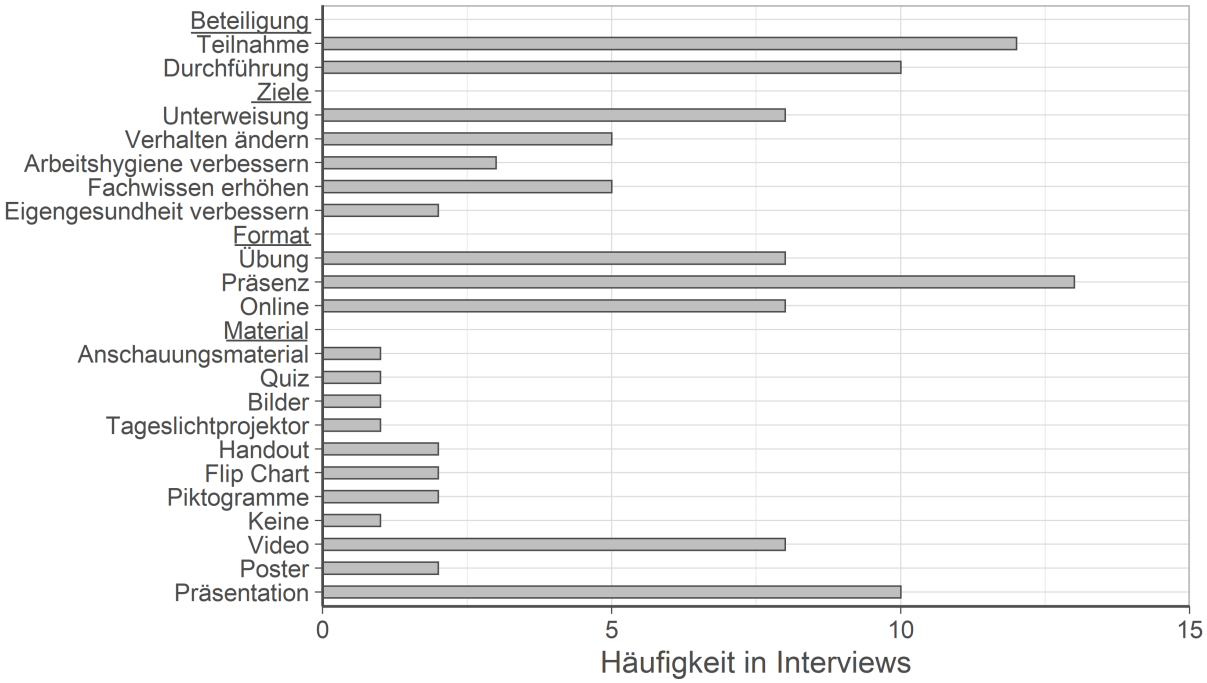


Abbildung II.5: Erfahrungen der Experten mit Schulungsbeteiligungen, -zielen, -formaten und -materialien.

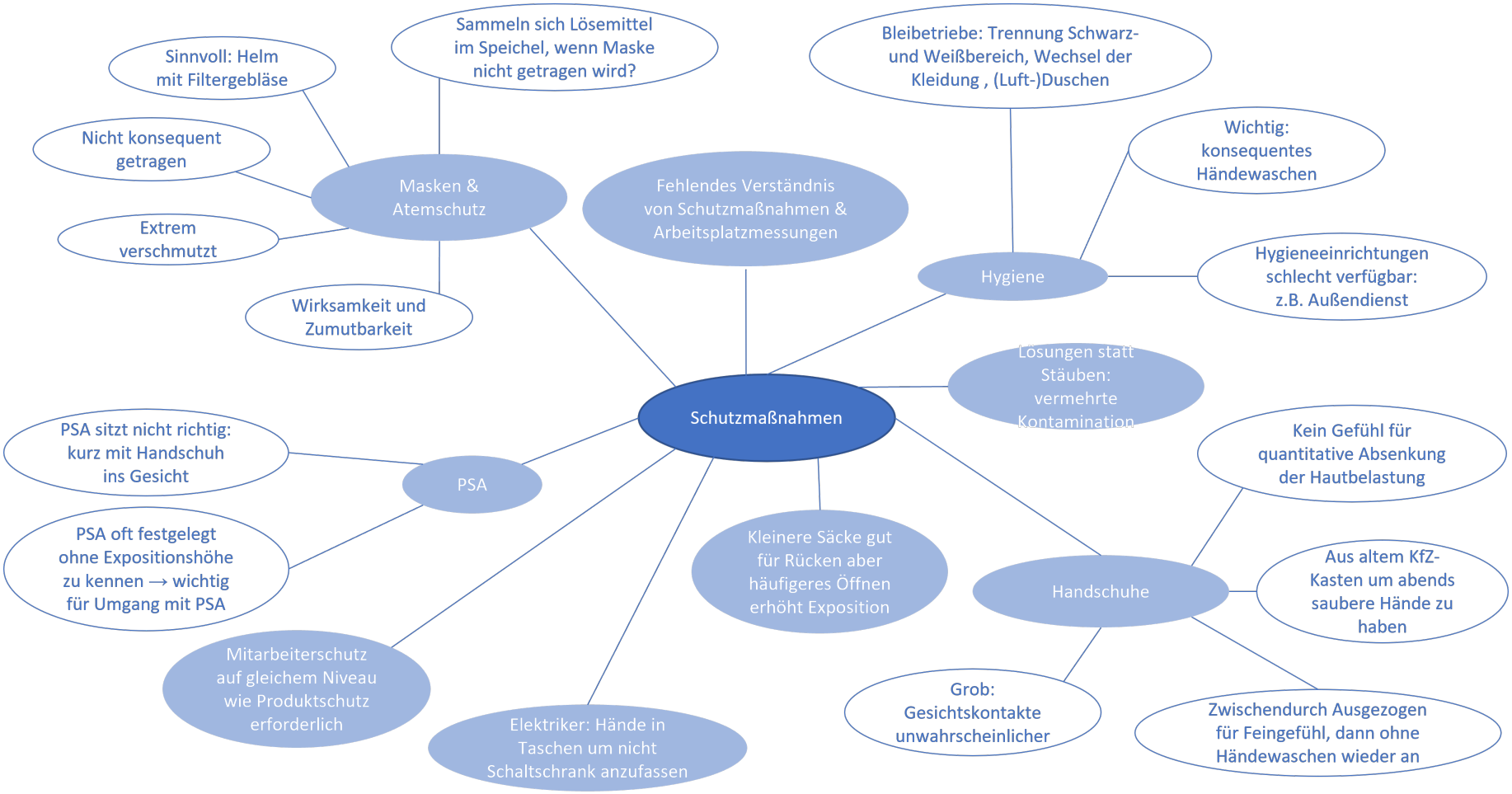


Abbildung II.6: Erfahrungsberichte der Experten: Schutzmaßnahmen.

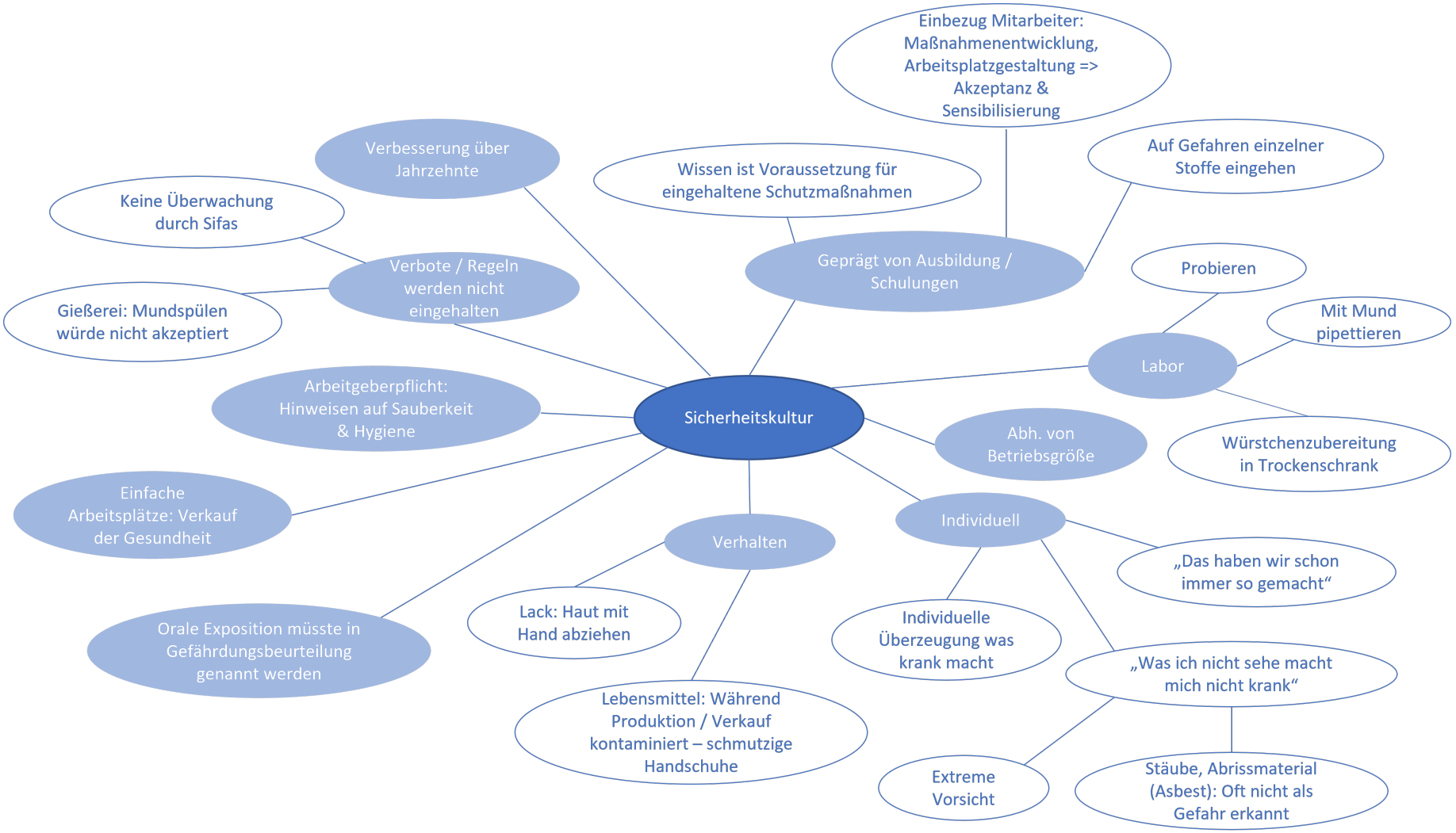


Abbildung II.7: Erfahrungsberichte der Experten: Sicherheitskultur.

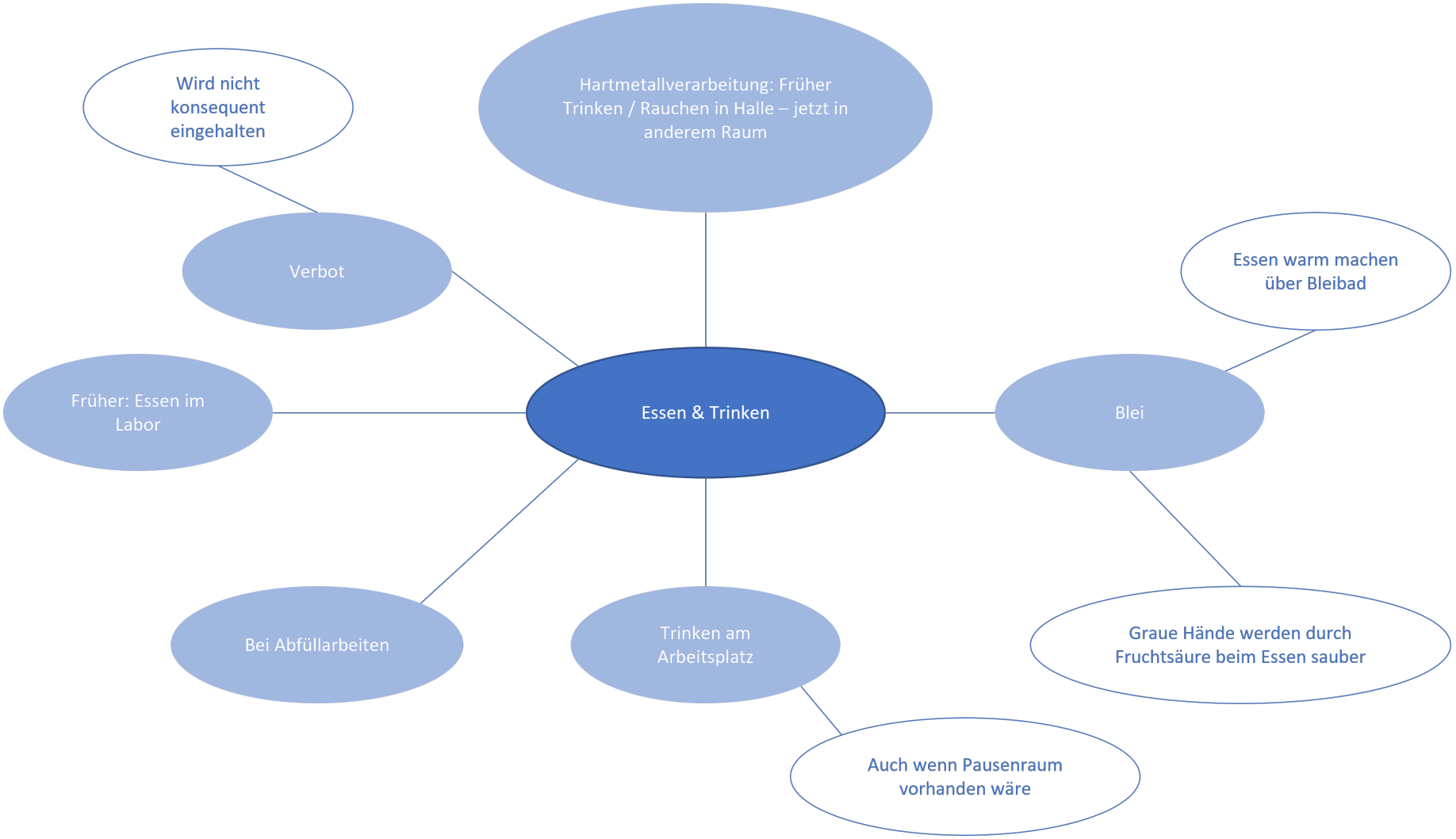


Abbildung II.8: Erfahrungsberichte der Experten: Essen, Trinken.

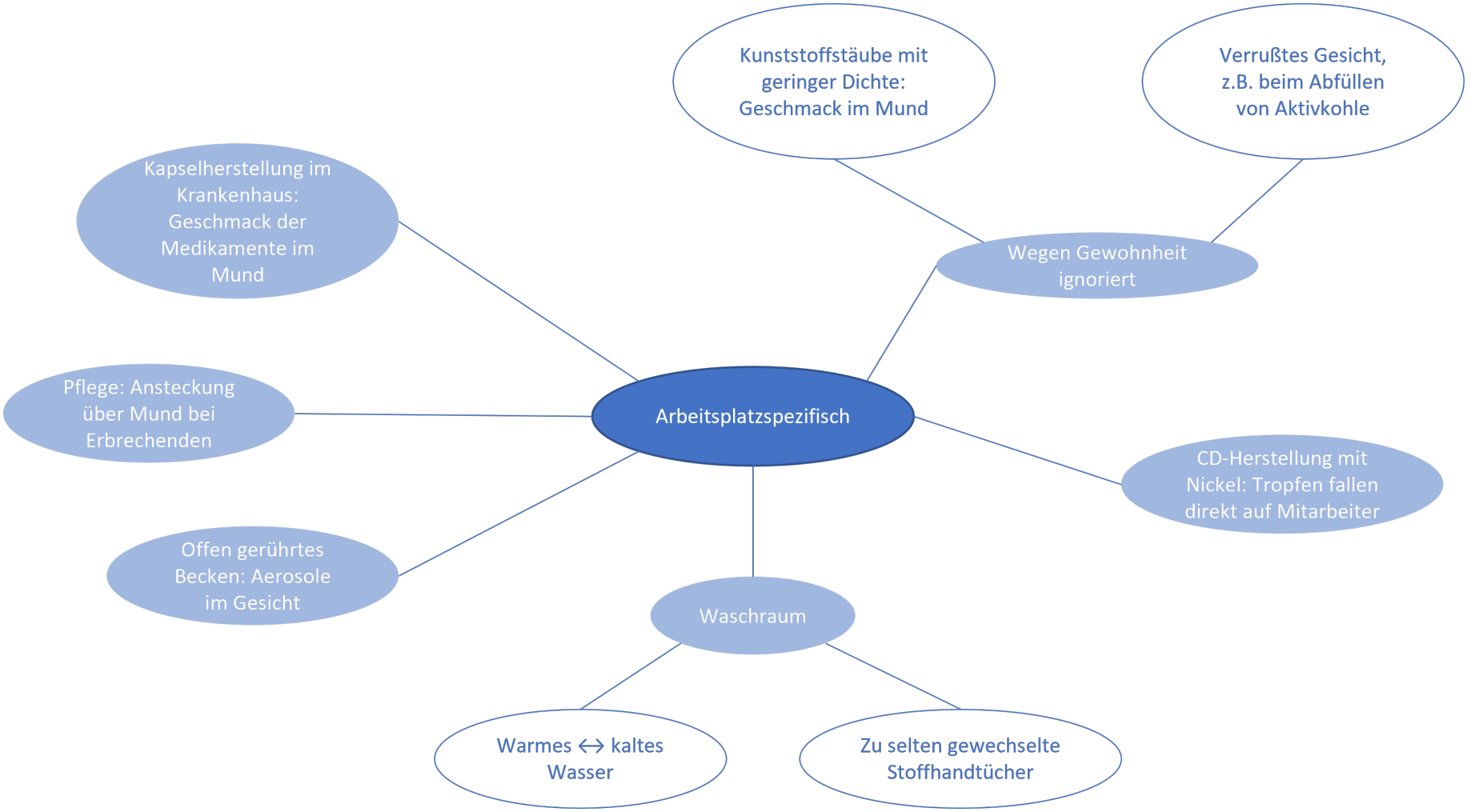


Abbildung II.9: Erfahrungsberichte der Experten: Arbeitsplatzspezifisch.

II.3 Beobachtungen

II.3.1 Beobachtungsbogen

OMORE - Beobachtungsbogen

OMORE: Arbeitsplatzmodell für die orale Expositionsroute - Beobachtungsbogen

Kontextuale Informationen

Datum: _____ Beobachter: _____

Beobachtungsbeginn (Uhrzeit): _____ Beobachtungsende (Uhrzeit): _____

Betrieblicher Kontext: *(einzutragen in Tabelle)*

Nr.	Tätigkeitsbereich	Zutreffend	Gewerb.	Indust.	Anmerkung
1	**Landwirtschaft & Lebensmittel**				
2	**Bergbau**				
3	**Textilien, Holz, Papier und Druck**				
4	**Chemikalien & nicht-metallische Produkte**				
5	**Polymere**				
6	**Metallverarbeitung**				
7	**Herstellung von Geräten, Maschinen oder Einrichtung**				
8	**Andere Sektoren**				
9	SU0: Sonstiges				

Kontext der Beobachtung:

Arbeitsbereich

Sauberkeit	Eher sauber ☐		Eher schmutzig ☐
Waschbecken	Am Arbeitsplatz ☐	>1Min entfernt ☐	Nicht vorhanden ☐
Duschen vorhanden	Ja ☐		Nein ☐

ArbeitnehmerInnen

	Nein	Ja	Lang	Kurz
Gesichtsbehaarung	☐	☐	☐	☐
Kopfbehaarung	☐	☐	☐	☐

OMORE - Beobachtungsbogen

Schutzausrüstung

	Nein	Ja	Typ
Handschuhe	☐	☐	
RPE	☐	☐	
Schutzbrille	☐	☐	/
Gesichtsschild	☐	☐	/
Coverall	☐	☐	/
Langärmlige Kleidung	☐	☐	/

Arbeitsschutzkultur

	Nein	Ja
Kennzeichnungen vorhanden	☐	☐
Überwachung der Arbeitnehmer	☐	☐

OMORE - Beobachtungsbogen

Tätigkeit

Beschreibung:

Beginn der Tätigkeit (Uhrzeit): _____ Ende der Tätigkeit (Uhrzeit): _____

Beginn der Tätigkeit (Uhrzeit): _____ Ende der Tätigkeit (Uhrzeit): _____

Beginn der Tätigkeit (Uhrzeit): _____ Ende der Tätigkeit (Uhrzeit): _____

Beginn der Tätigkeit (Uhrzeit): _____ Ende der Tätigkeit (Uhrzeit): _____

Beginn der Tätigkeit (Uhrzeit): _____ Ende der Tätigkeit (Uhrzeit): _____

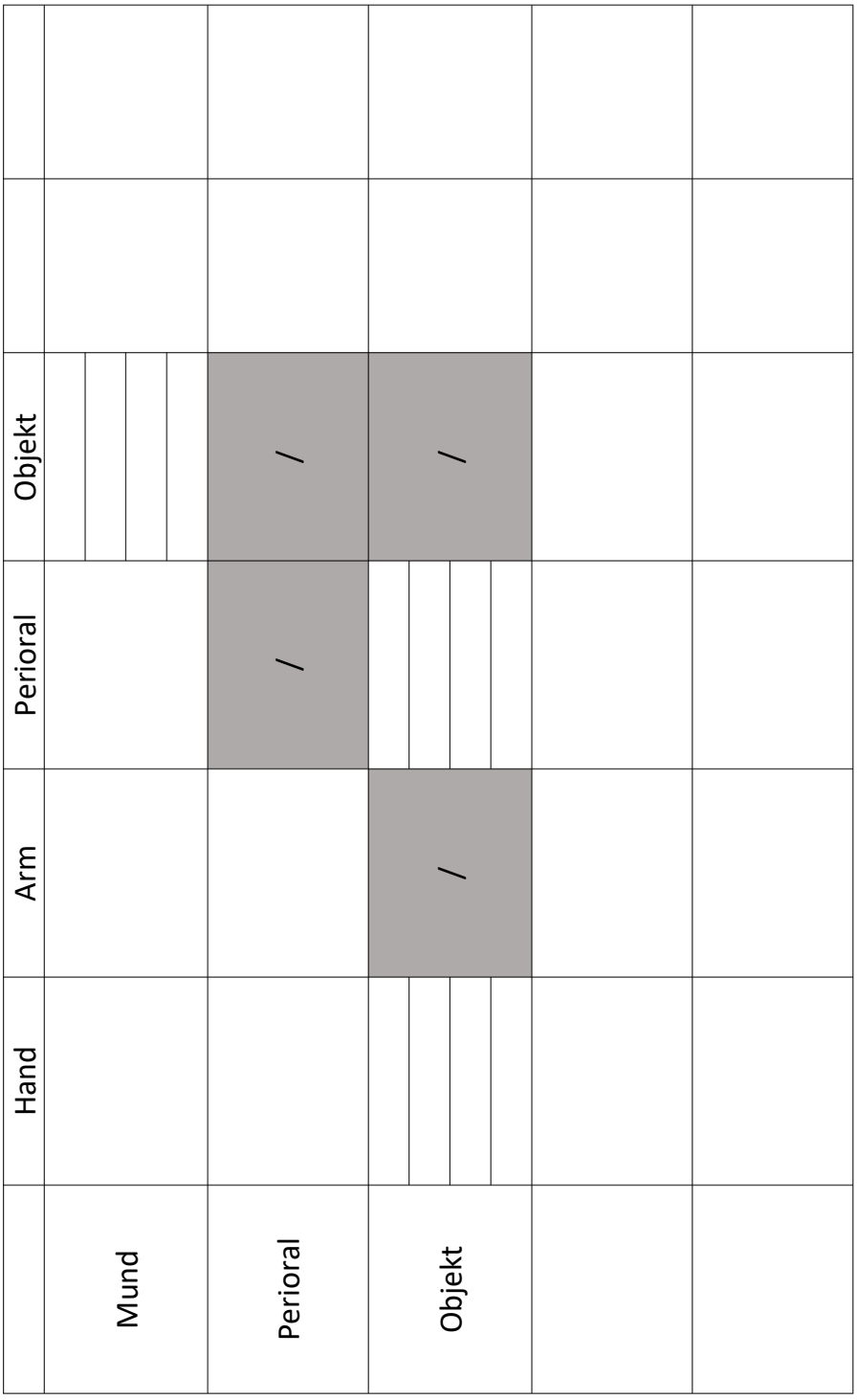
Freies Sichtfeld: Ja ☐ Nein ☐

	Nein	Ja	Typ
Nutzung von Werkzeug	☐	☐	

	Nicht beschäftigt	Wenig beschäftigt	Stark beschäftigt
Beschäftigungsgrad	☐	☐	☐

OMORE - Beobachtungsbogen

Häufigkeit von Verhaltensweisen



OMORE - Beobachtungsbogen

Häufigkeit Schutzmaßnahmen

Schutzmaßnahme	**Häufigkeit**	**Anmerkung**
Händewaschen		
Wechsel Handschuhe		
An- / Ausziehen RPE		

Arbeitshygiene

	Nein	Ja	Vorher Hände gewaschen	Häufigkeit
Essen	☐	☐	☐	
Trinken aus Flasche	☐	☐	☐	
Trinken aus Glas	☐	☐	☐	
Rauchen	☐	☐	☐	

Welche anderen relevanten Beobachtungen wurden gemacht?

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

OMORE - Beobachtungsbogen

Tätigkeit

Beschreibung:

Beginn der Tätigkeit (Uhrzeit): _____ Ende der Tätigkeit (Uhrzeit): _____

Beginn der Tätigkeit (Uhrzeit): _____ Ende der Tätigkeit (Uhrzeit): _____

Beginn der Tätigkeit (Uhrzeit): _____ Ende der Tätigkeit (Uhrzeit): _____

Beginn der Tätigkeit (Uhrzeit): _____ Ende der Tätigkeit (Uhrzeit): _____

Beginn der Tätigkeit (Uhrzeit): _____ Ende der Tätigkeit (Uhrzeit): _____

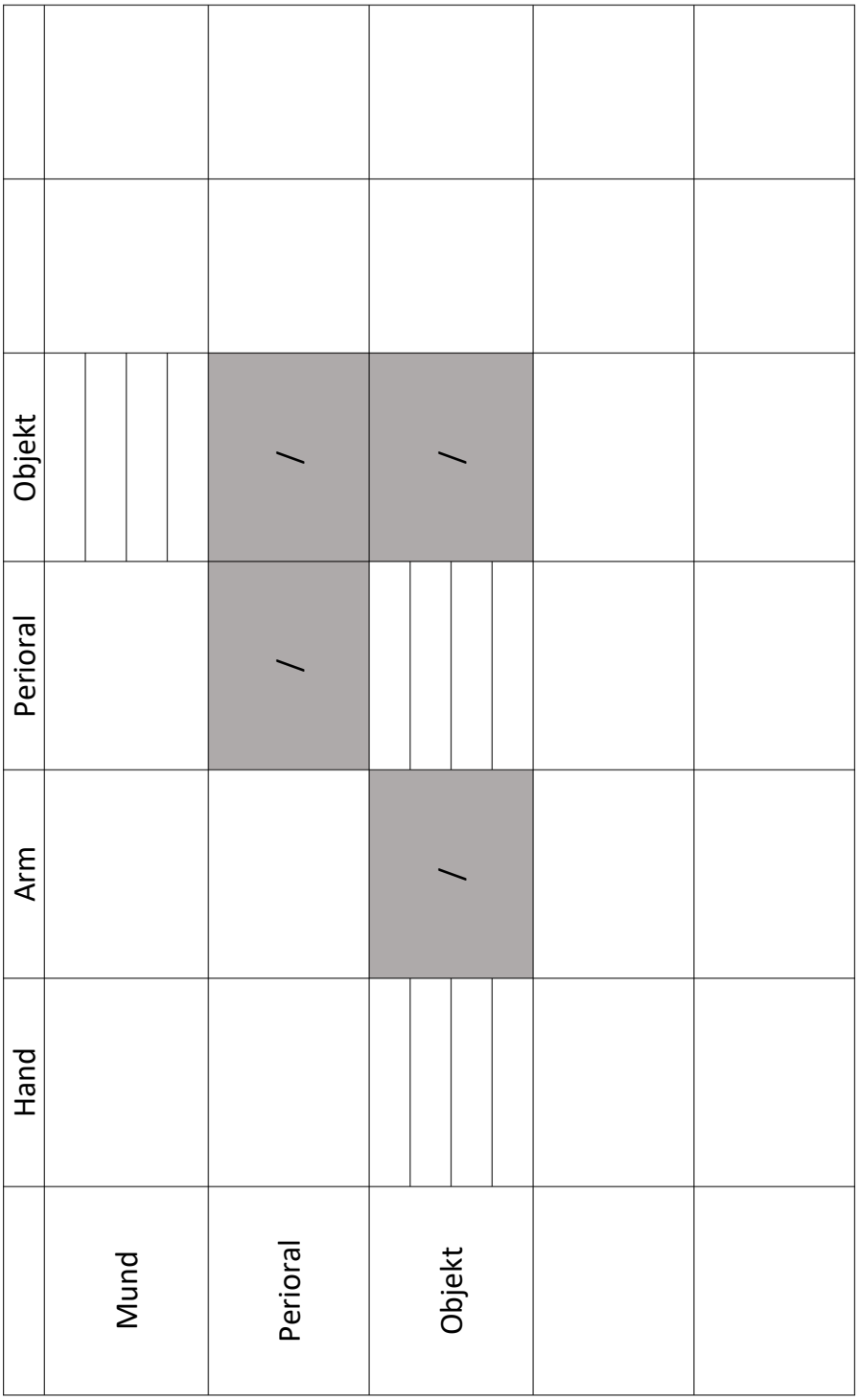
Freies Sichtfeld: Ja ☐ Nein ☐

	Nein	Ja	Typ
Nutzung von Werkzeug	☐	☐	

	Nicht beschäftigt	Wenig beschäftigt	Stark beschäftigt
Beschäftigungsgrad	☐	☐	☐

OMORE - Beobachtungsbogen

Häufigkeit von Verhaltensweisen



OMORE - Beobachtungsbogen

Häufigkeit Schutzmaßnahmen

Schutzmaßnahme	**Häufigkeit**	**Anmerkung**
Händewaschen		
Wechsel Handschuhe		
An- / Ausziehen RPE		

Arbeitshygiene

	Nein	Ja	Vorher Hände gewaschen	Häufigkeit
Essen	☐	☐	☐	
Trinken aus Flasche	☐	☐	☐	
Trinken aus Glas	☐	☐	☐	
Rauchen	☐	☐	☐	

Welche anderen relevanten Beobachtungen wurden gemacht?

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

OMORE - Beobachtungsbogen

Tätigkeit

Beschreibung:

Beginn der Tätigkeit (Uhrzeit): _____ Ende der Tätigkeit (Uhrzeit): _____

Beginn der Tätigkeit (Uhrzeit): _____ Ende der Tätigkeit (Uhrzeit): _____

Beginn der Tätigkeit (Uhrzeit): _____ Ende der Tätigkeit (Uhrzeit): _____

Beginn der Tätigkeit (Uhrzeit): _____ Ende der Tätigkeit (Uhrzeit): _____

Beginn der Tätigkeit (Uhrzeit): _____ Ende der Tätigkeit (Uhrzeit): _____

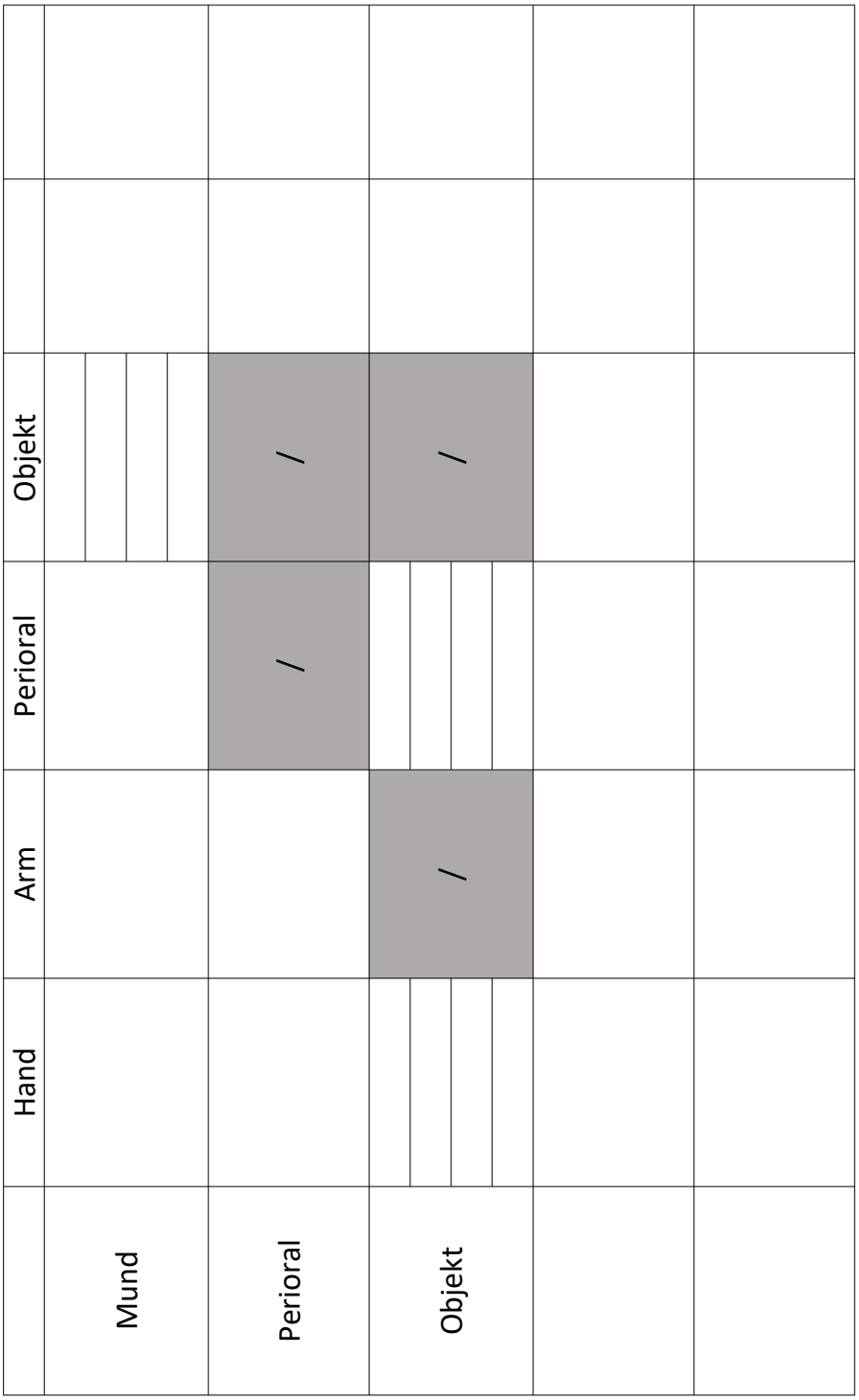
Freies Sichtfeld: Ja ☐ Nein ☐

	Nein	Ja	Typ
Nutzung von Werkzeug	☐	☐	

	Nicht beschäftigt	Wenig beschäftigt	Stark beschäftigt
Beschäftigungsgrad	☐	☐	☐

OMORE - Beobachtungsbogen

Häufigkeit von Verhaltensweisen



OMORE - Beobachtungsbogen

Häufigkeit Schutzmaßnahmen

Schutzmaßnahme	**Häufigkeit**	**Anmerkung**
Händewaschen		
Wechsel Handschuhe		
An- / Ausziehen RPE		

Arbeitshygiene

	Nein	Ja	Vorher Hände gewaschen	Häufigkeit
Essen	☐	☐	☐	
Trinken aus Flasche	☐	☐	☐	
Trinken aus Glas	☐	☐	☐	
Rauchen	☐	☐	☐	

Welche anderen relevanten Beobachtungen wurden gemacht?

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

OMORE - Beobachtungsbogen

Befragungsteil:

1. Wie lange arbeiten Sie bereits in diesem Aufgabenfeld?

<1 Jahr ☐	1-5 Jahre ☐	>5 Jahre ☐

2. Wann wurden Sie zuletzt hinsichtlich des Arbeitsschutzes geschult?

<6 Monate ☐	<1 Jahr ☐	>1 Jahr ☐

3. War in dieser Schulung Ihr persönliches Verhalten, bspw. das Händewaschen oder das Vermeiden von Berührungen des Gesichts, Thema?
   Nein ☐ Ja ☐

4. Arbeiten Sie als Mitarbeiter, Vorarbeiter, Vorgesetzter oder in einer anderen Position?
   Mitarbeiter ☐ Vorarbeiter ☐ Vorgesetzter ☐ Andere: _____

II.3.2 Auswertung der Beobachtungen

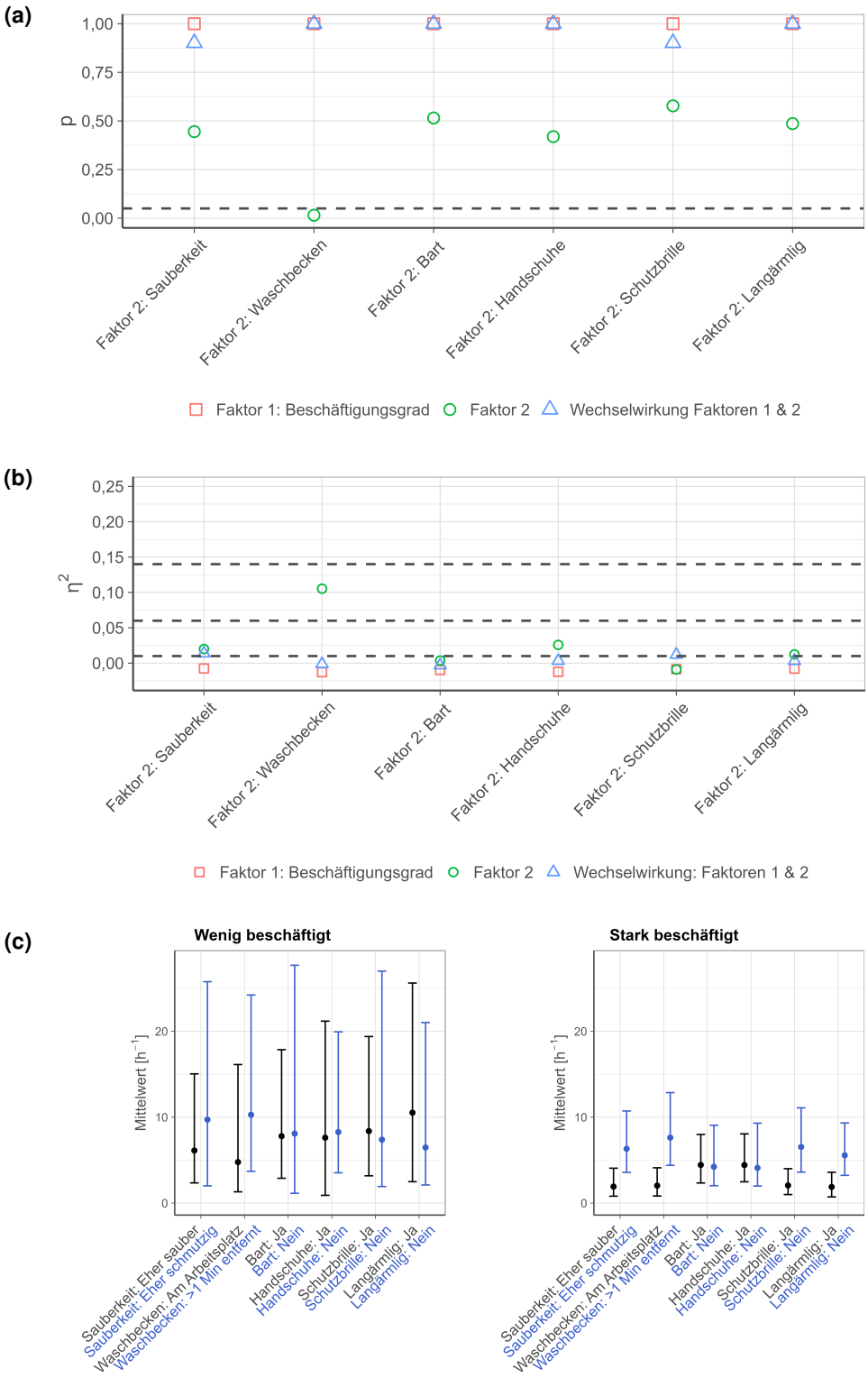


Abbildung II.10: Für Hand-Mund Kontakte gibt (a) die p-Werte, (b) die Effektstärke und (c) die Konfidenzintervalle an.

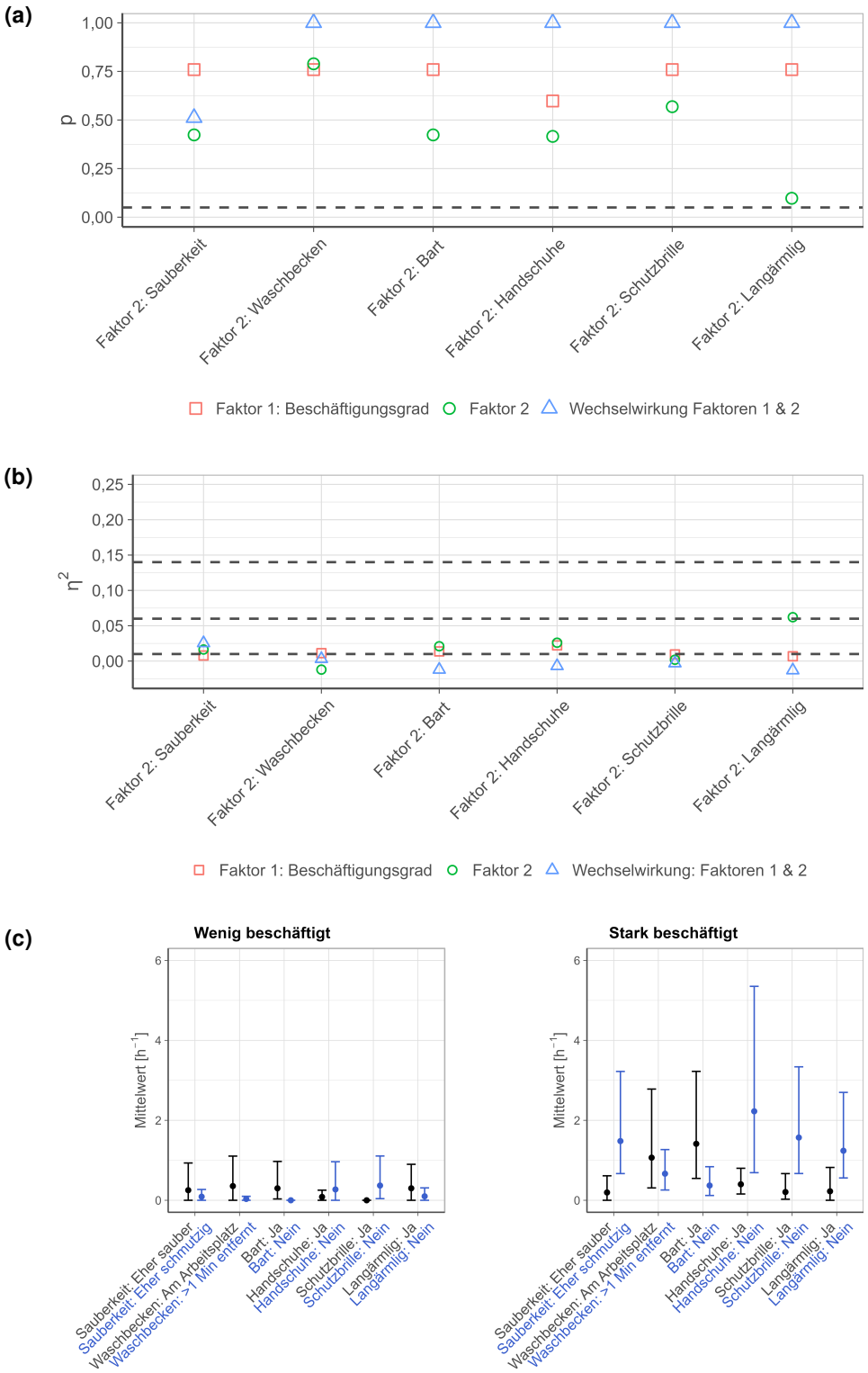


Abbildung II.11: Für Arm-Mund Kontakte gibt (a) die p-Werte, (b) die Effektstärke und (c) die Konfidenzintervalle an.

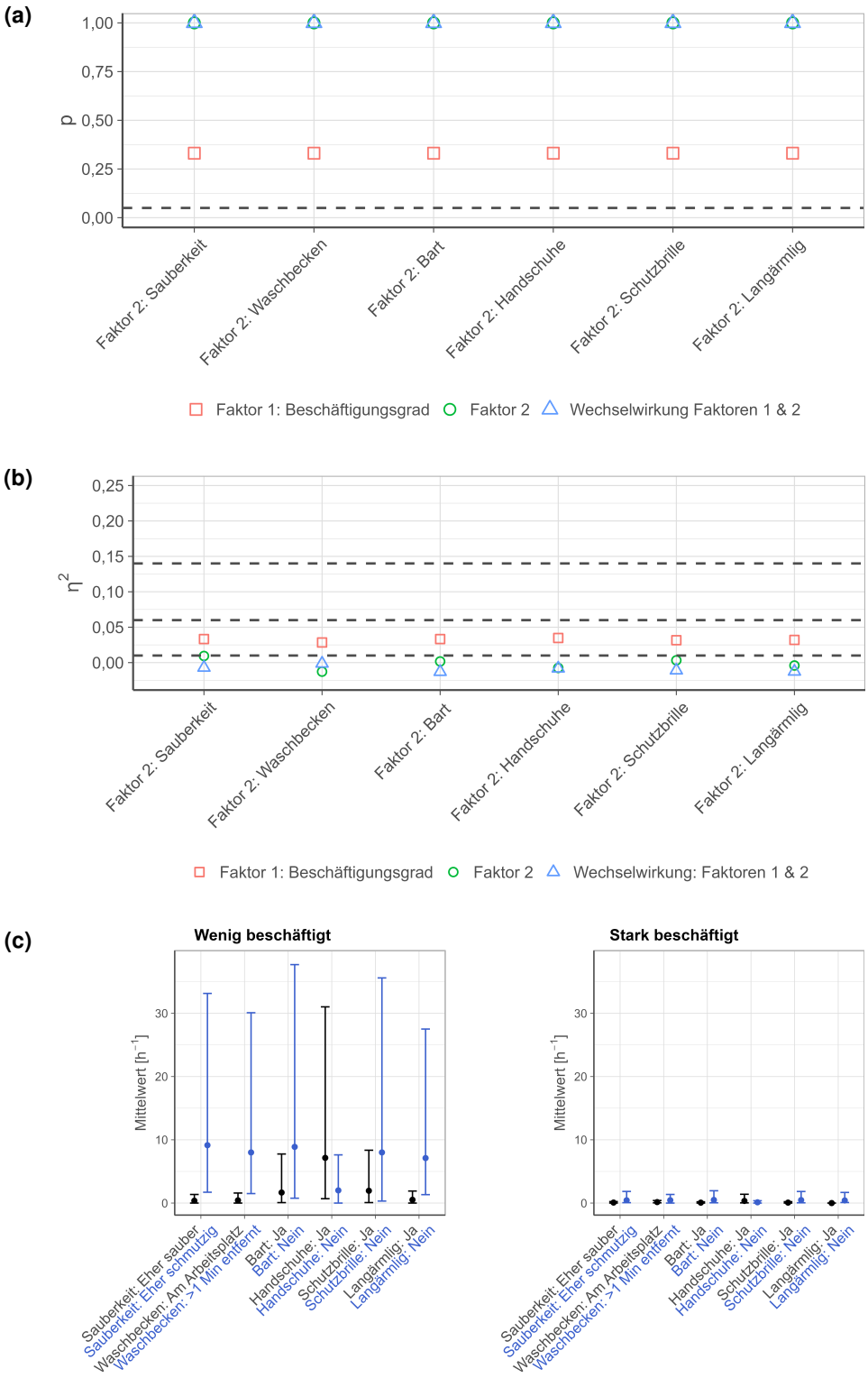


Abbildung II.12: Für Objekt-Mund Kontakte gibt (a) die p-Werte, (b) die Effektstärke und (c) die Konfidenzintervalle an.

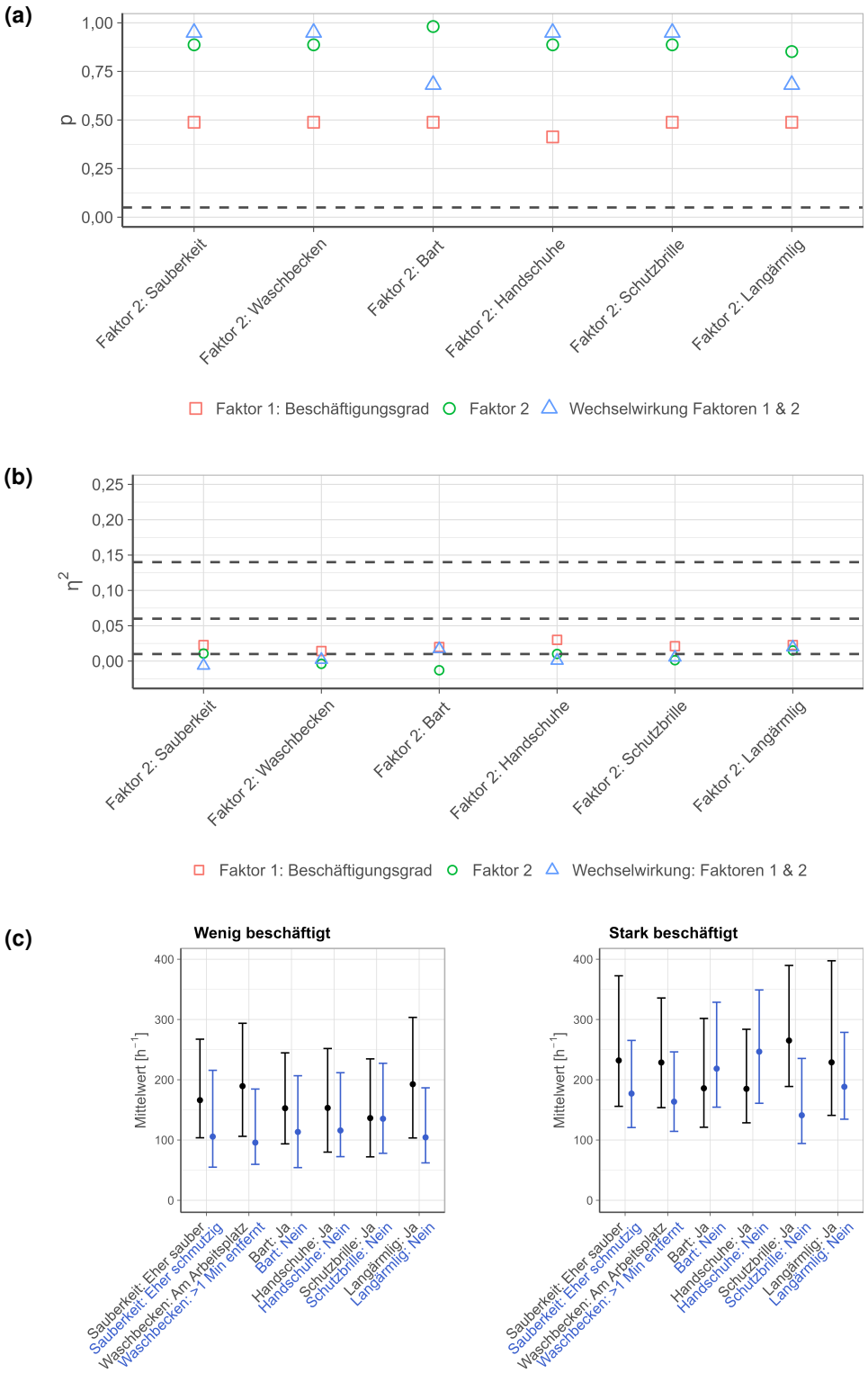


Abbildung II.13: Für Objekt-Hand Kontakte gibt (a) die p-Werte, (b) die Effektstärke und (c) die Konfidenzintervalle an.

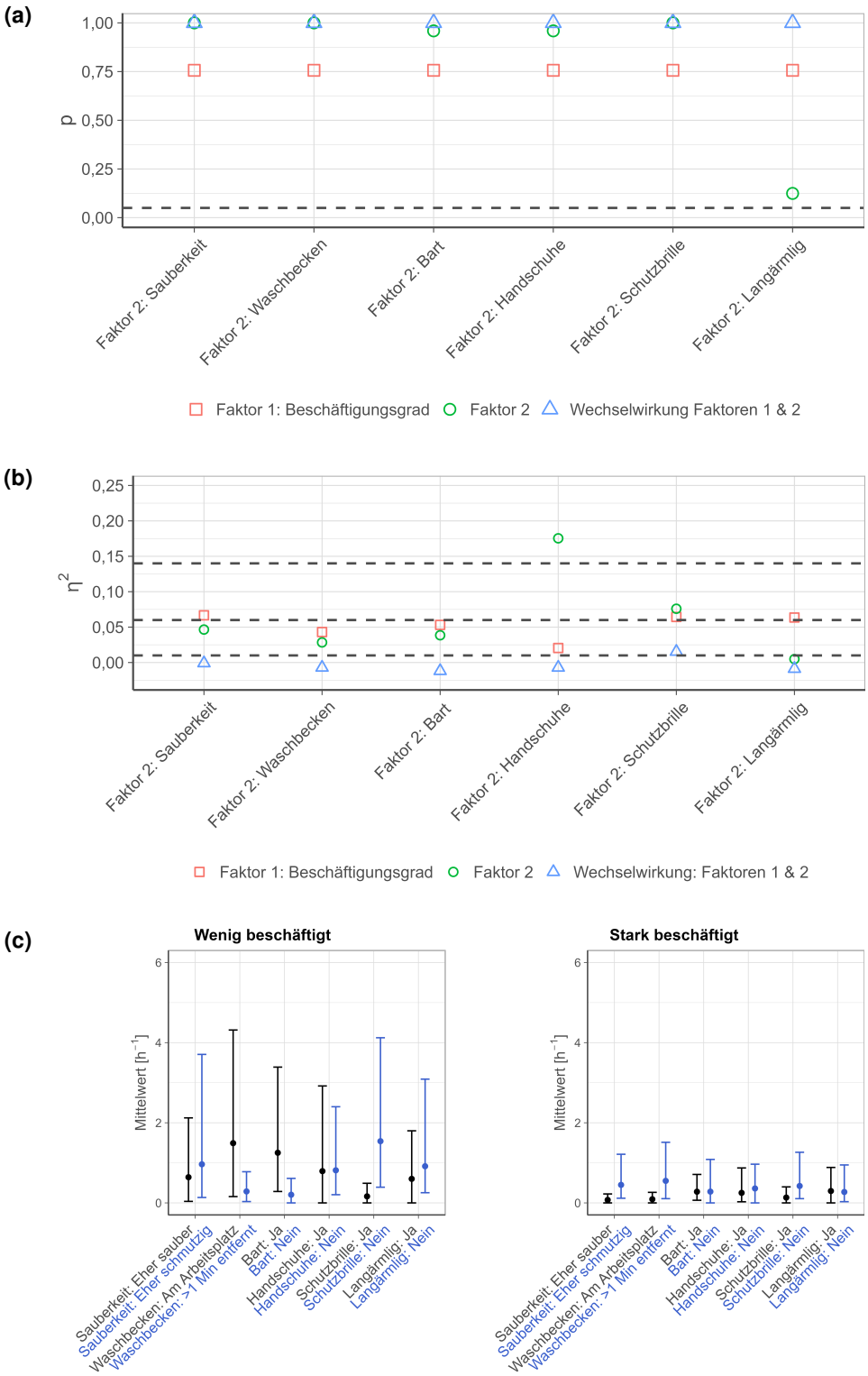


Abbildung II.14: Für die Häufigkeit des Trinkens gibt (a) die p-Werte, (b) die Effektstärke und (c) die Konfidenzintervalle an.

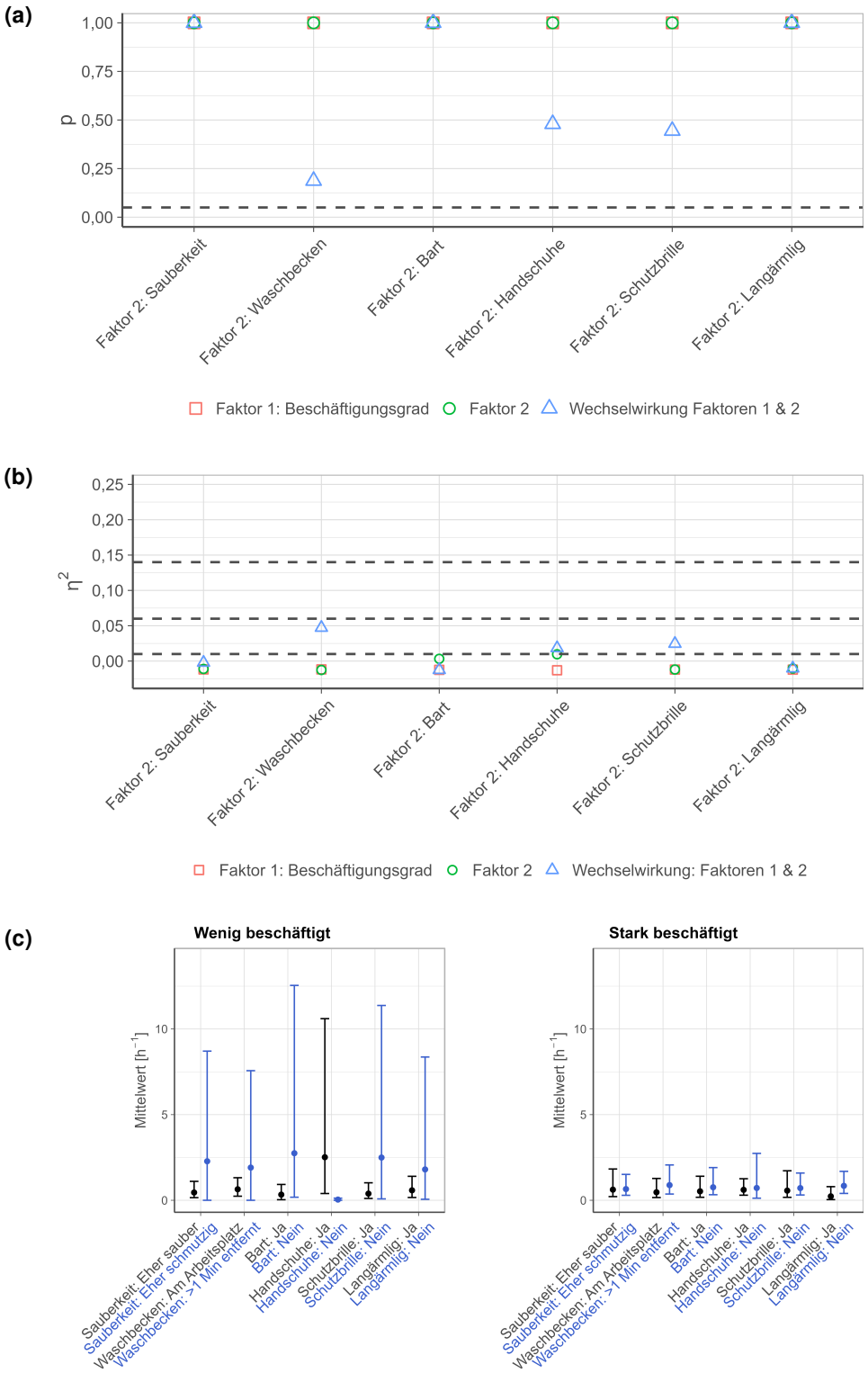
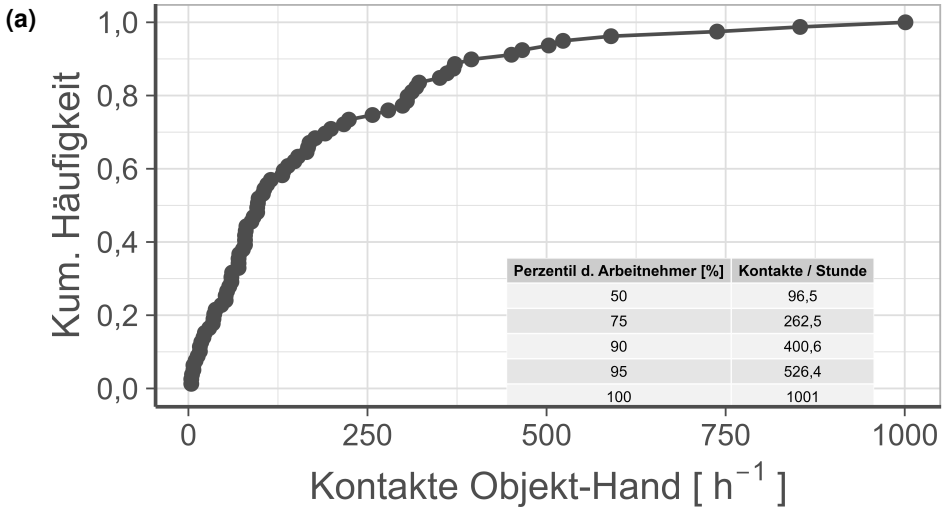
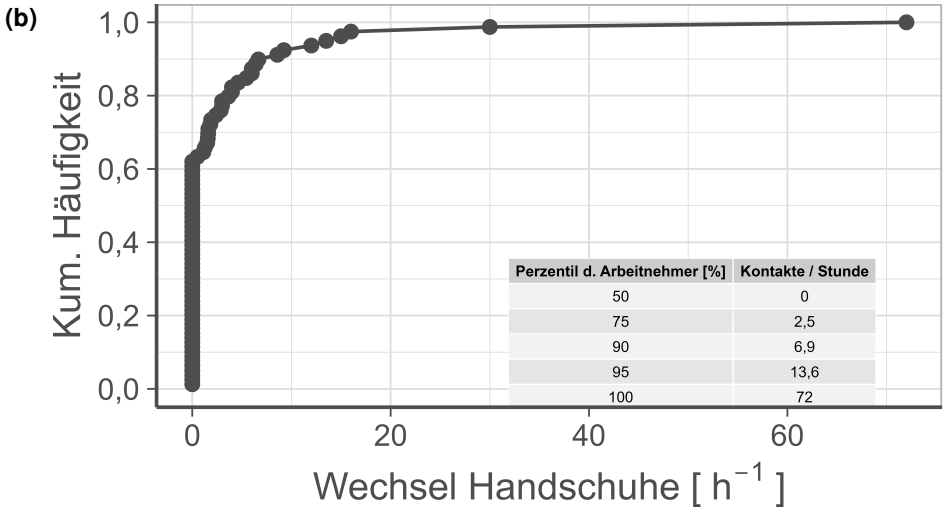


Abbildung II.15: Für die Häufigkeit des Händewaschens gibt (a) die p-Werte, (b) die Effektstärke und (c) die Konfidenzintervalle an.

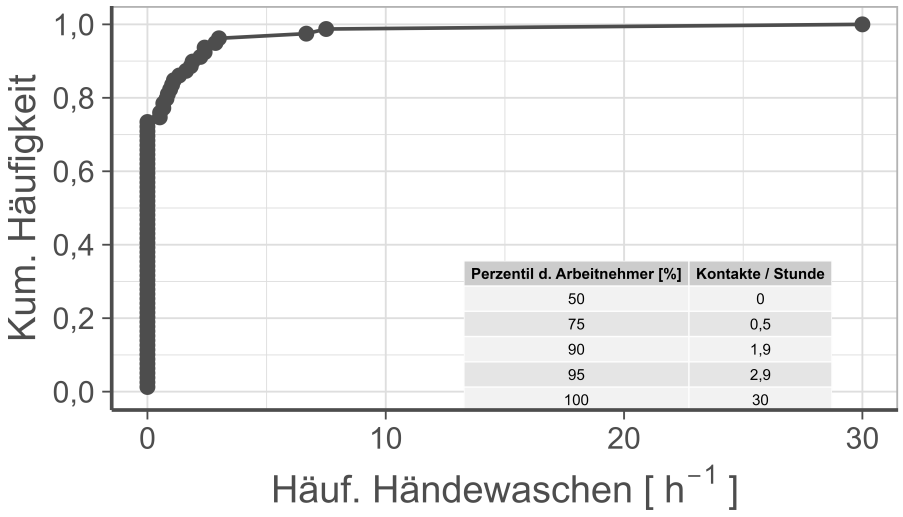
Tabelle II.1: Poisson-Parameter λ für Kontakthäufigkeiten mit dem Mund. Die zugrundeliegenden Häufigkeiten schließen Literaturdaten mit ein.

Kontakt	λ
Hand-Mund	4,01
Arm-Mund	0,27
Objekt-Mund	1,48

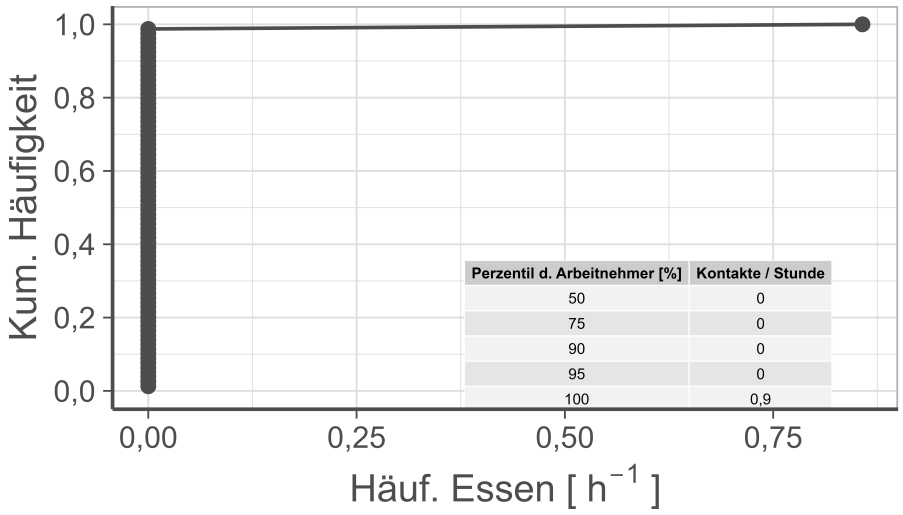




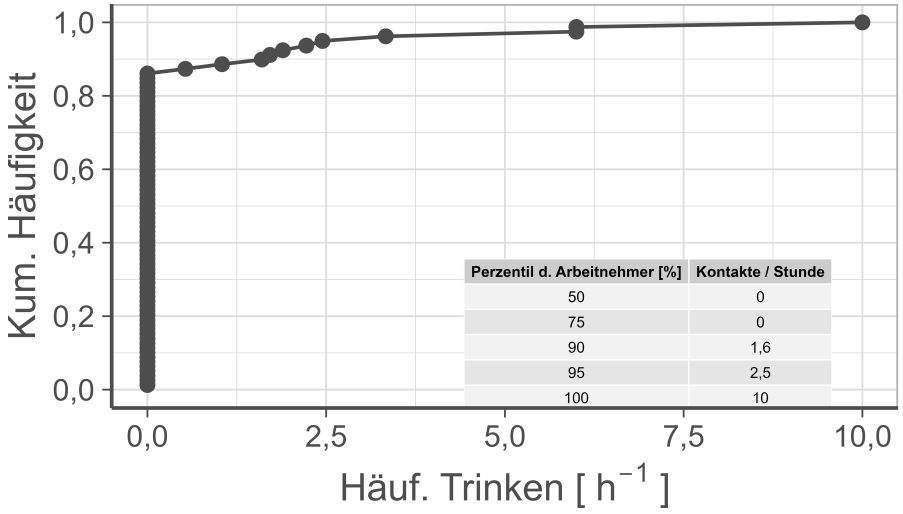
(c)


Kum. Häufigkeit
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
0
10
20
30
Häuf. Händewaschen [h^{-1}]
Perzentil d. Arbeitnehmer [%] | Kontakte / Stunde
50 | 0
75 | 0,5
90 | 1,9
95 | 2,9
100 | 30

(d)


Kum. Häufigkeit
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
0,00
0,25
0,50
0,75
Häuf. Essen [h^{-1}]
Perzentil d. Arbeitnehmer [%] | Kontakte / Stunde
50 | 0
75 | 0
90 | 0
95 | 0
100 | 0,9

(e)


Kum. Häufigkeit
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
0,0
2,5
5,0
7,5
10,0
Häuf. Trinken [h^{-1}]
Perzentil d. Arbeitnehmer [%] | Kontakte / Stunde
50 | 0
75 | 0
90 | 1,6
95 | 2,5
100 | 10

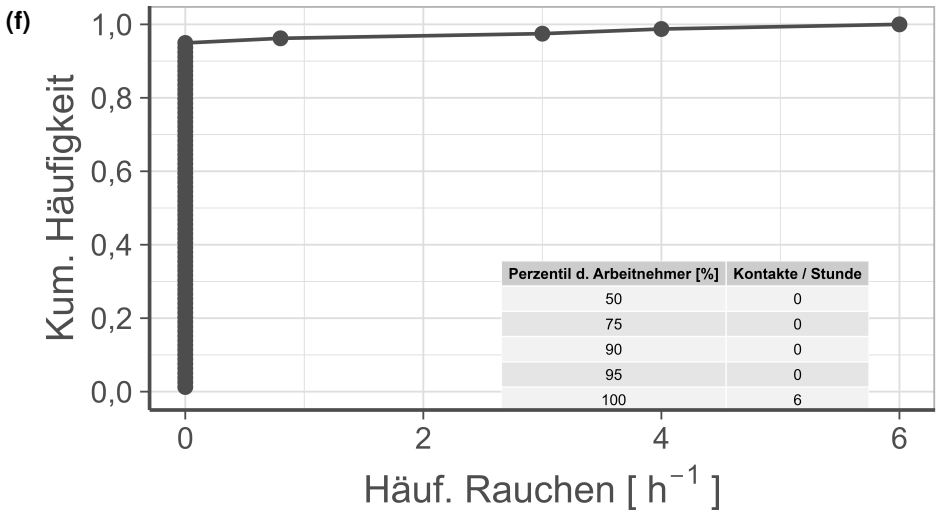
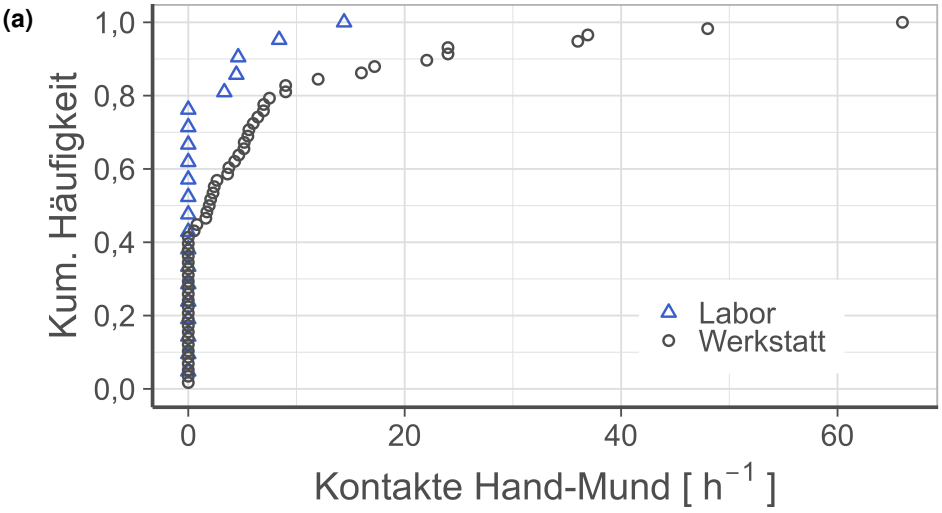
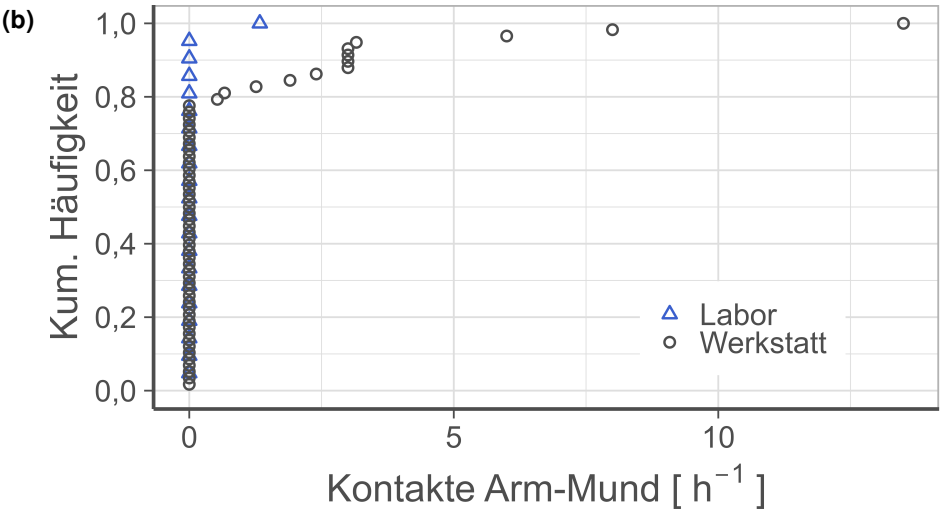
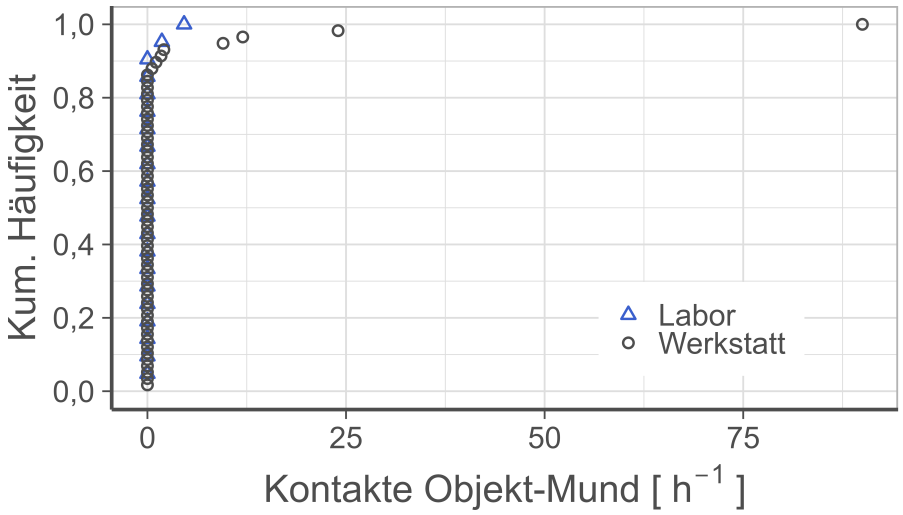


Abbildung II.16: Kumulative (kum.) Häufigkeitsverteilung aus Beobachtungen. (a) Objekt-Hand Kontakte, (b) Wechsel Handschuhe, (c) Händewaschen, (d) Häufigkeit Essen, (e) Häufigkeit Trinken, (f) Häufigkeit Rauchen.

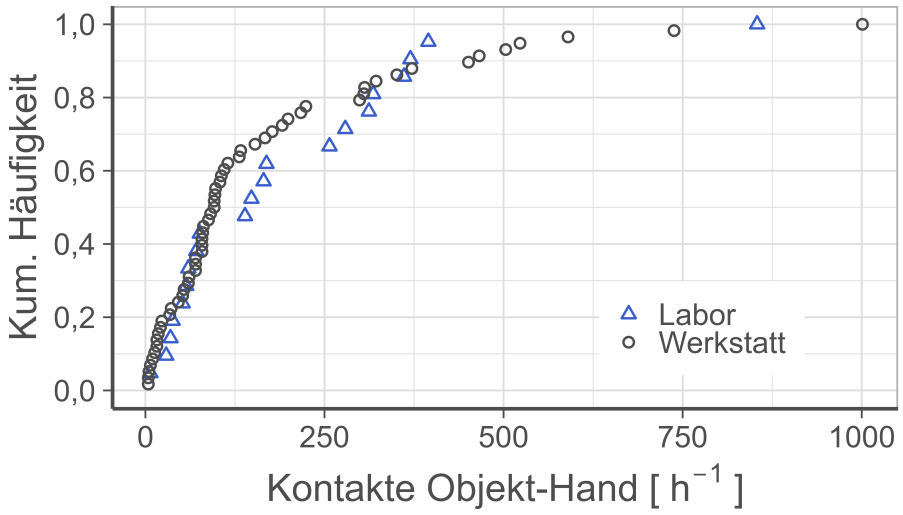




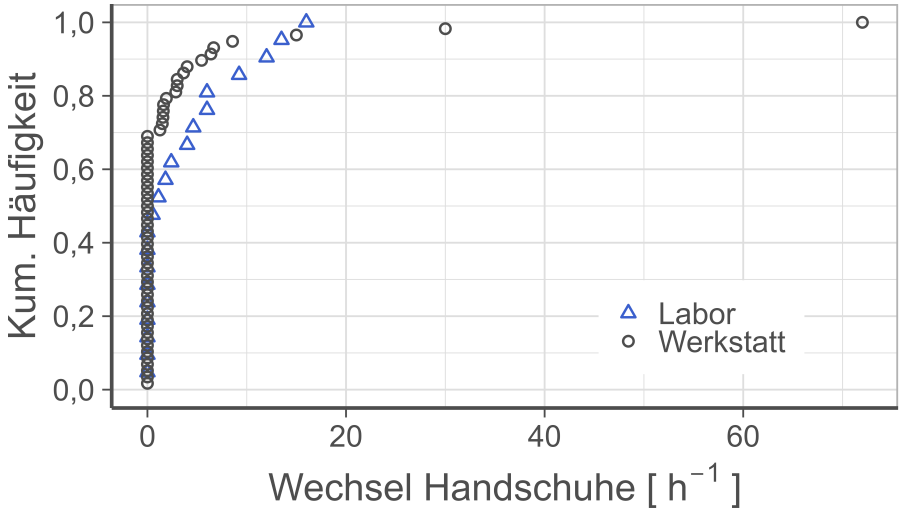
(c)

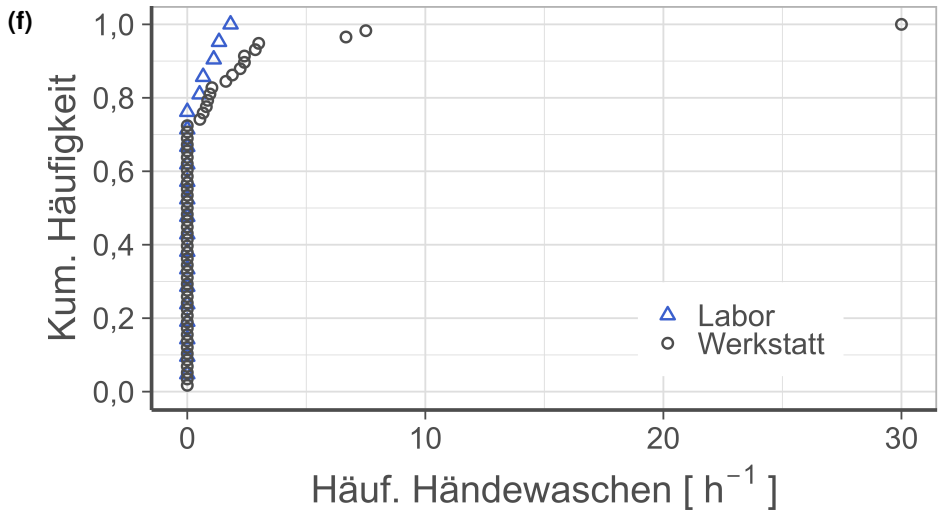

Kum. Häufigkeit
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
0
25
50
75
Kontakte Objekt-Mund [h^{-1}]
Labor
Werkstatt

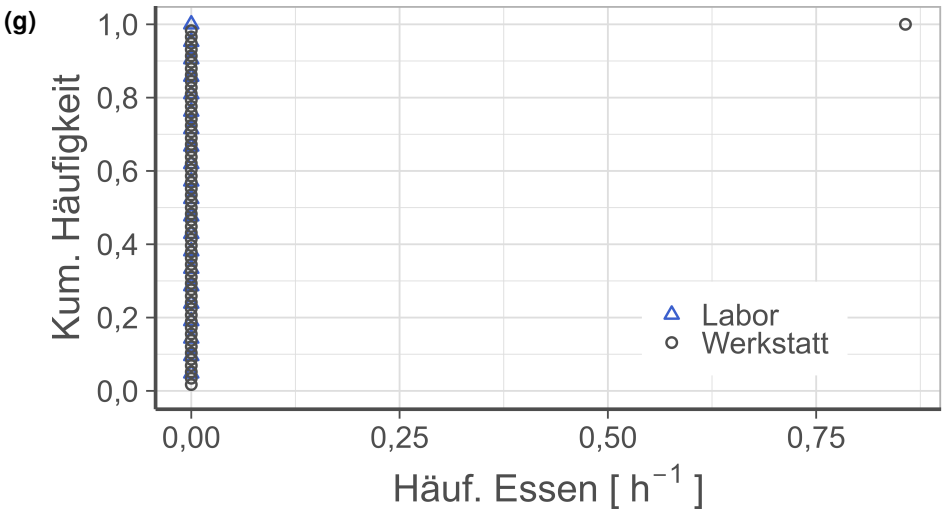
(d)

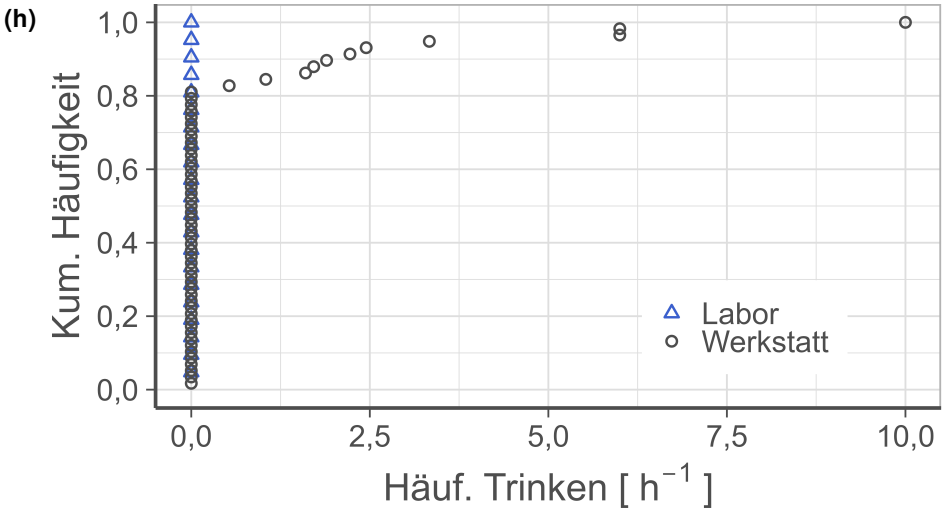

Kum. Häufigkeit
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
0
250
500
750
1000
Kontakte Objekt-Hand [h^{-1}]
Labor
Werkstatt

(e)


Kum. Häufigkeit
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
0
20
40
60
Wechsel Handschuhe [h^{-1}]
Labor
Werkstatt


(f)
Kum. Häufigkeit
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
0
10
20
30
Häuf. Händewaschen [h^{-1}]
Labor
Werkstatt


(g)
Kum. Häufigkeit
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
0,00
0,25
0,50
0,75
Häuf. Essen [h^{-1}]
Labor
Werkstatt


(h)
Kum. Häufigkeit
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
0,0
2,5
5,0
7,5
10,0
Häuf. Trinken [h^{-1}]
Labor
Werkstatt

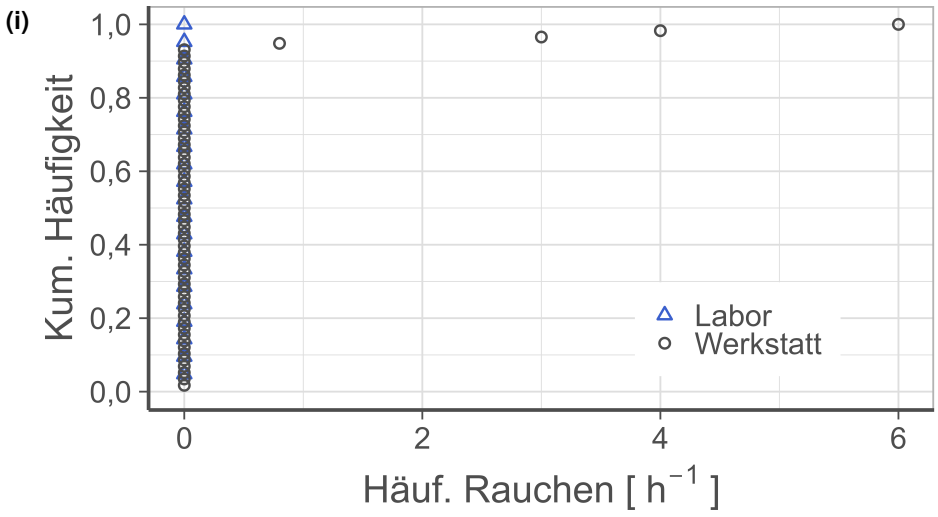


Abbildung II.17: Kumulative (kum.) Häufigkeitsverteilung aus Beobachtungen für Labore und Werkstätten. (a) Hand-Mund Kontakte, (b) Arm-Mund Kontakte, (c) Objekt-Mund Kontakte, (d) Objekt-Hand Kontakte, (e) Wechsel Handschuhe, (f) Händewaschen, (g) Essen, (h), Trinken, (i) Rauchen.

Anhang III

Transfer von Chemikalien

III.1 Datenlage

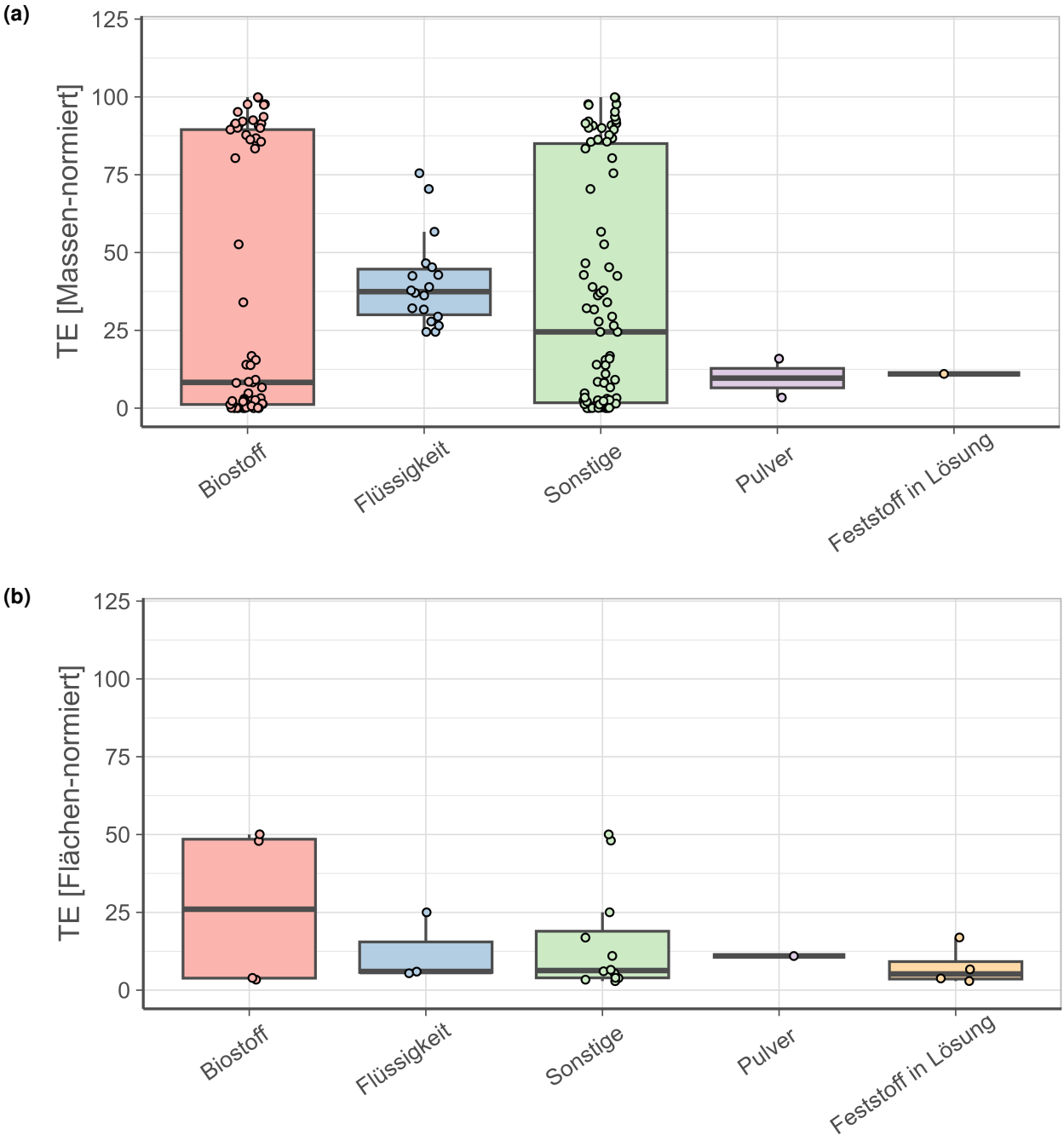


Abbildung III.1: Boxplots der als Median angegebenen Transfereffizienzen in der Einheit (a) Massen-normiert und (b) Flächen-normiert. Die Rubrik „Sonstige“ umfasst nicht spezifizierte oder aggregierte Daten.

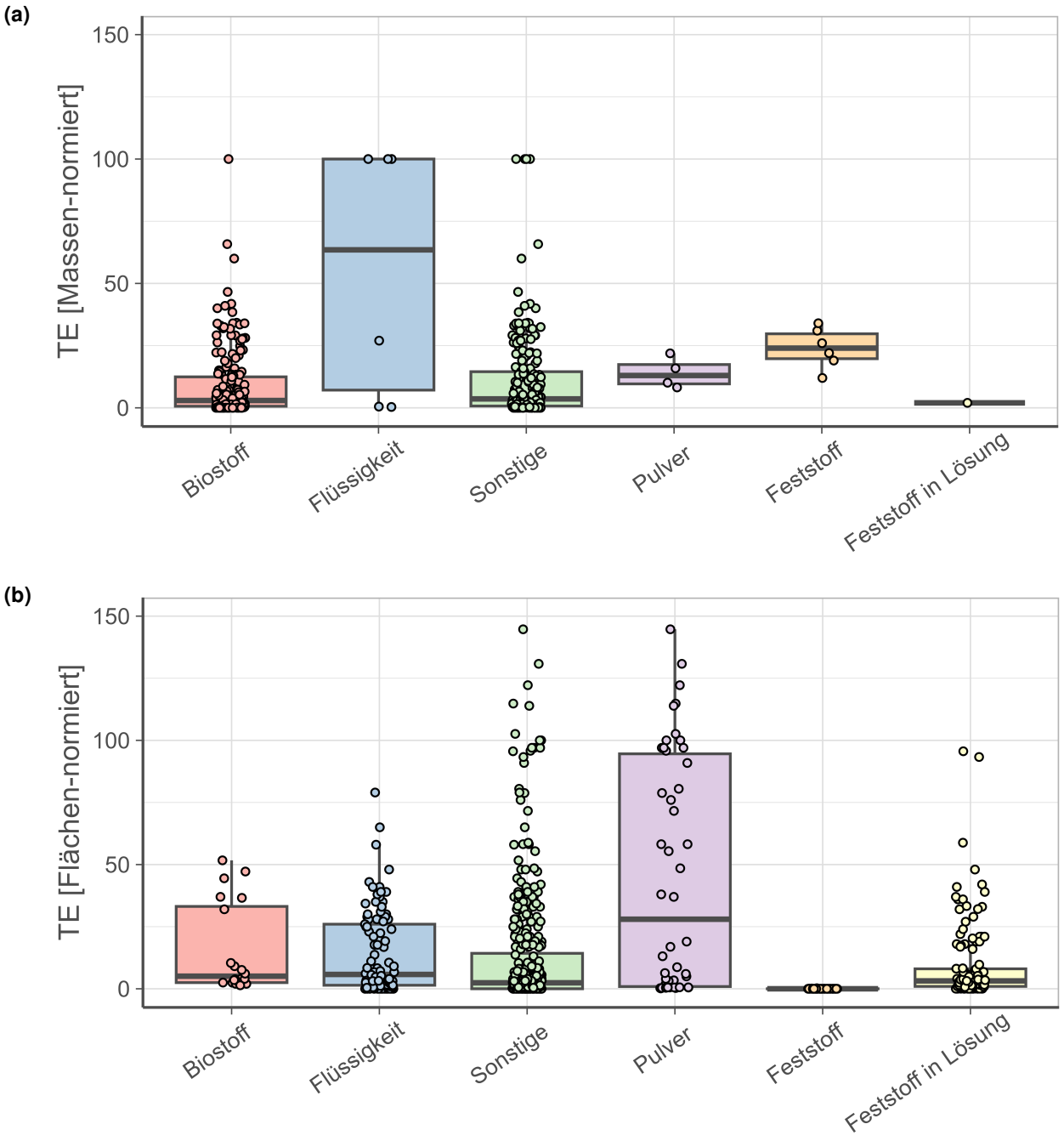


Abbildung III.2: Boxplots der als Einzelwerte angegebenen Transfereffizienzen in der Einheit (a) Massen-normiert und (b) Flächen-normiert. Die Rubrik „Sonstige“ umfasst nicht spezifizierte oder aggregierte Daten.

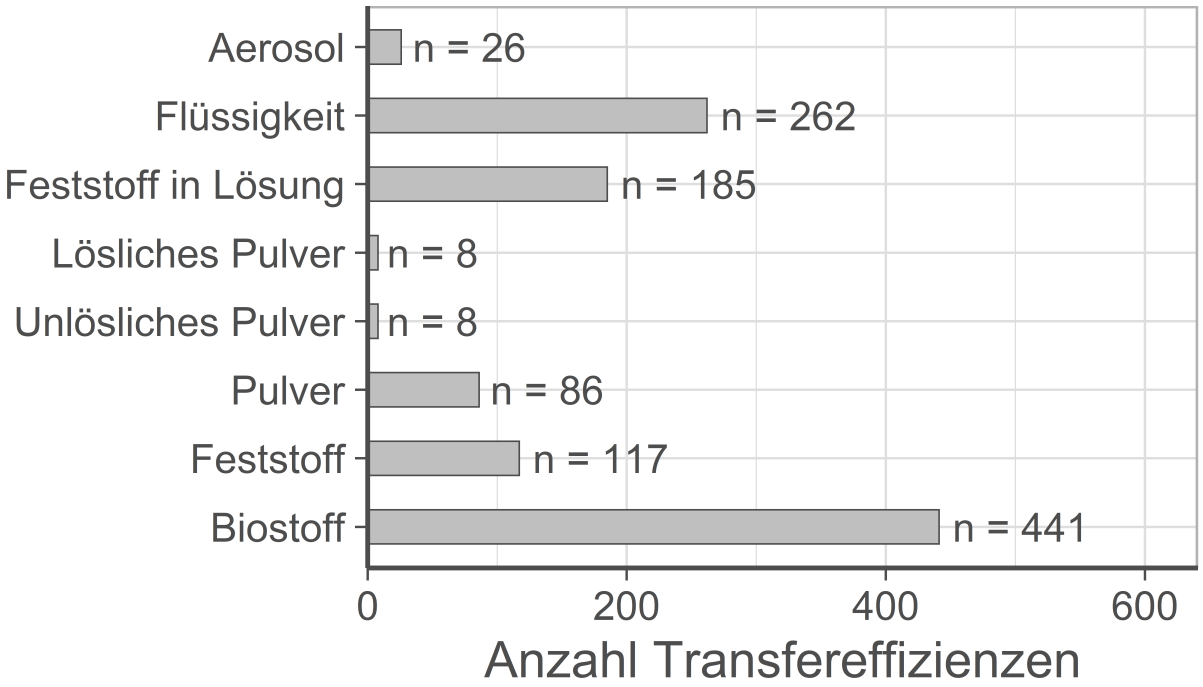
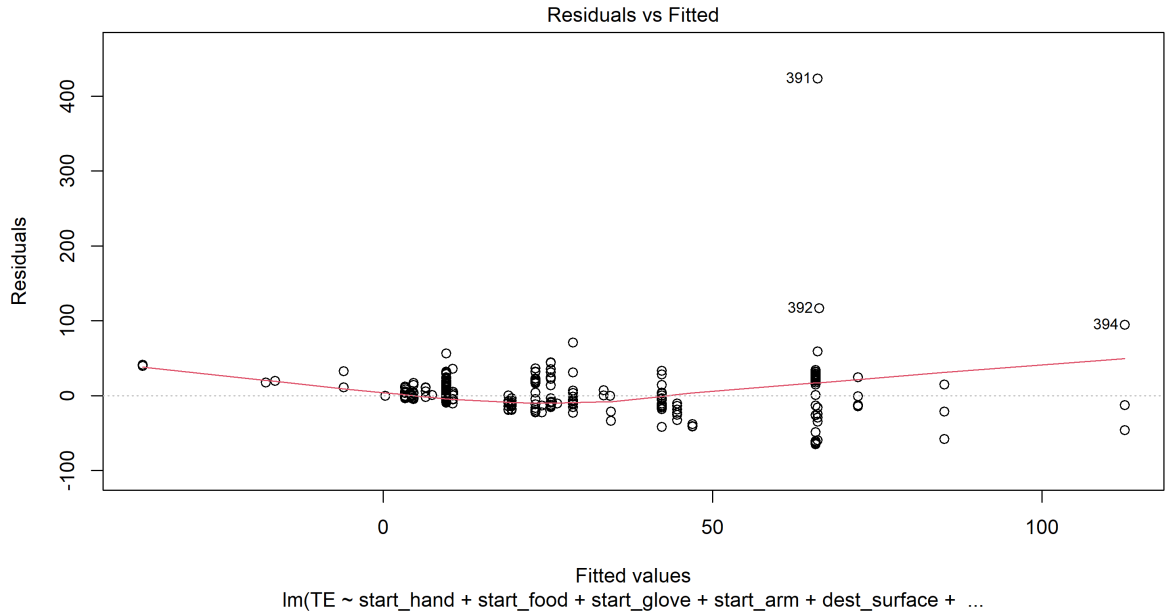


Abbildung III.3: Übersicht über die Stoffkategorien, welche in der Datenbank hinterlegt sind.

III.2 Voraussetzungen statistischer Analyse

(a)



(b)

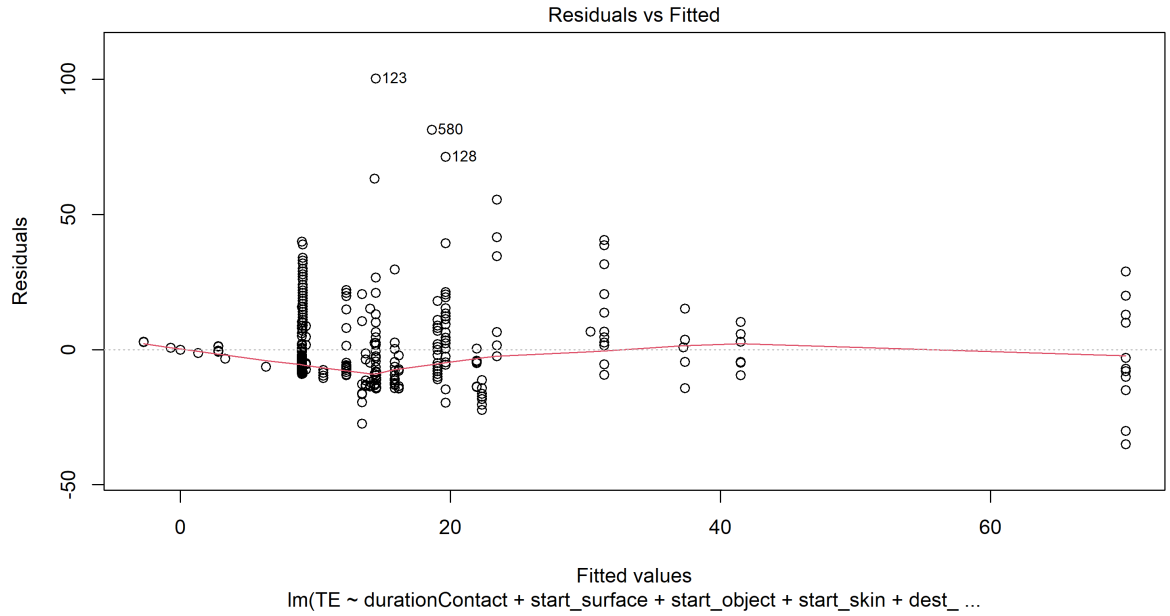
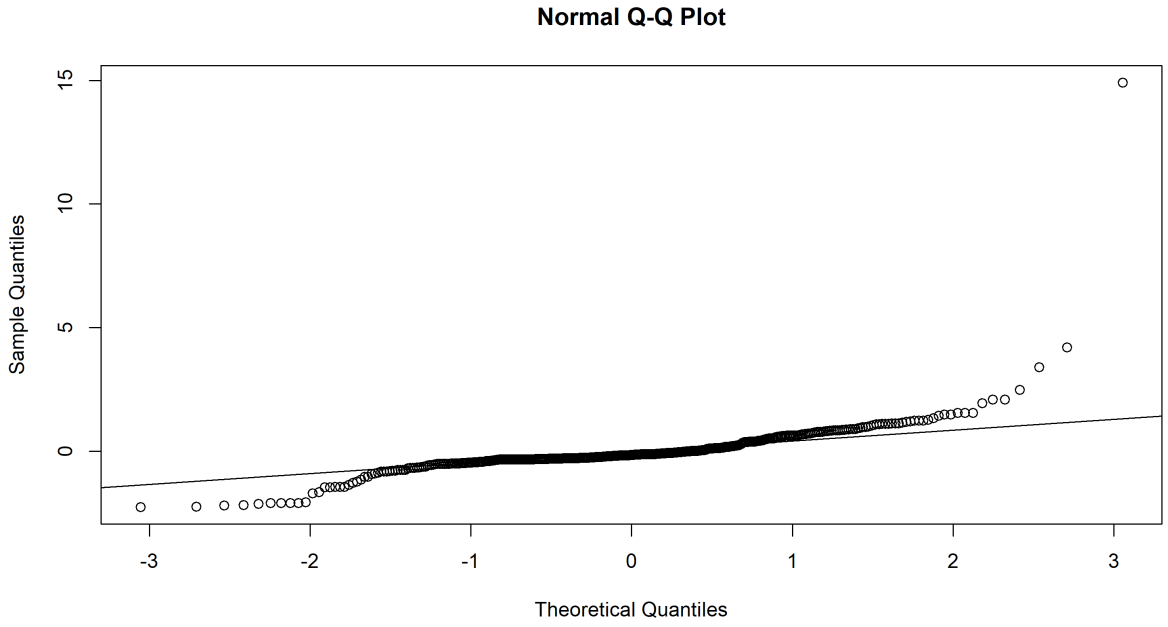


Abbildung III.4: Residualdiagramme für die lineare Regression der Transfereffizienzen für (a) Massen-normierte und (b) Flächen-normierte Daten.

(a)



(b)

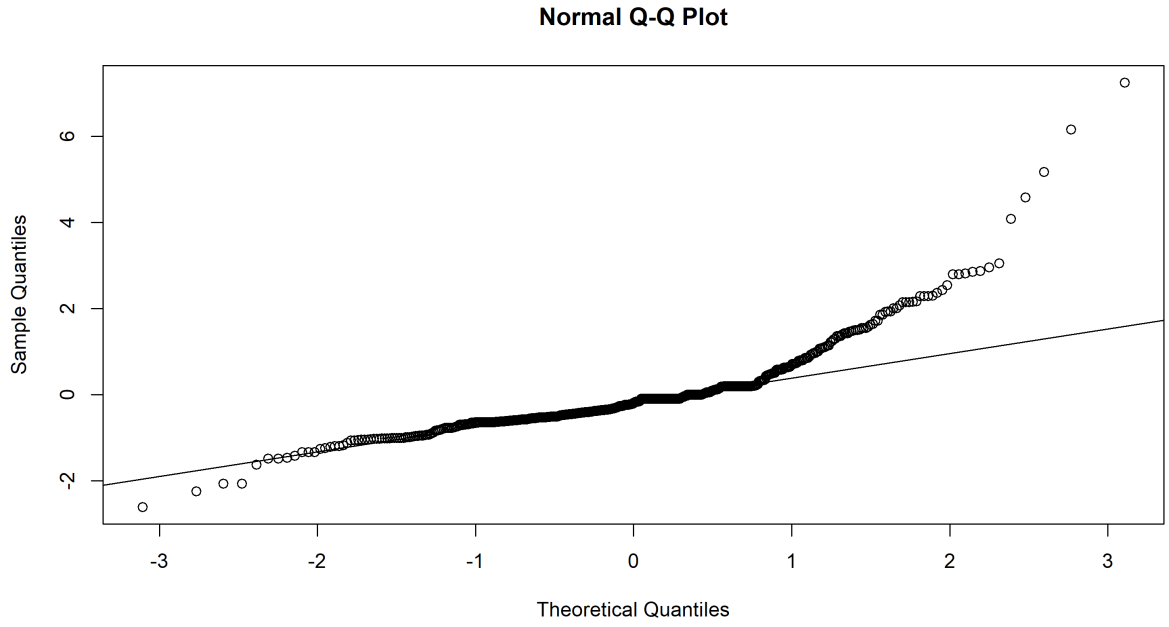
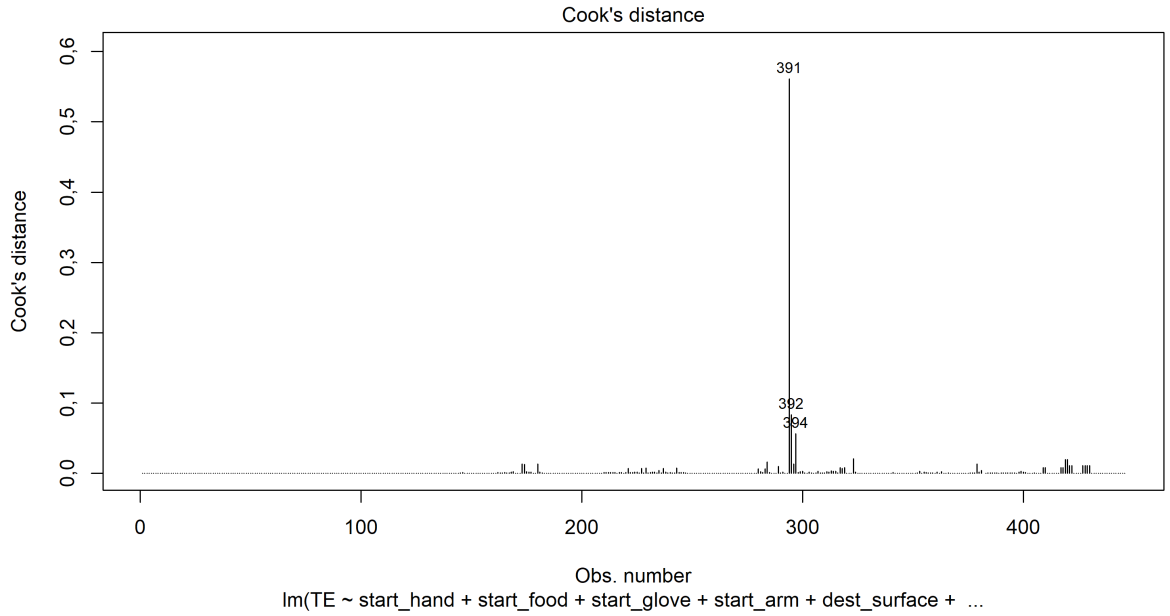


Abbildung III.5: QQPlot der Fehlerterme für die lineare Regression der Transfereffizienzen für (a) Massen-normierte und (b) Flächen-normierte Daten.

III.3 Analyse einflussreicher Fälle

(a)



(b)

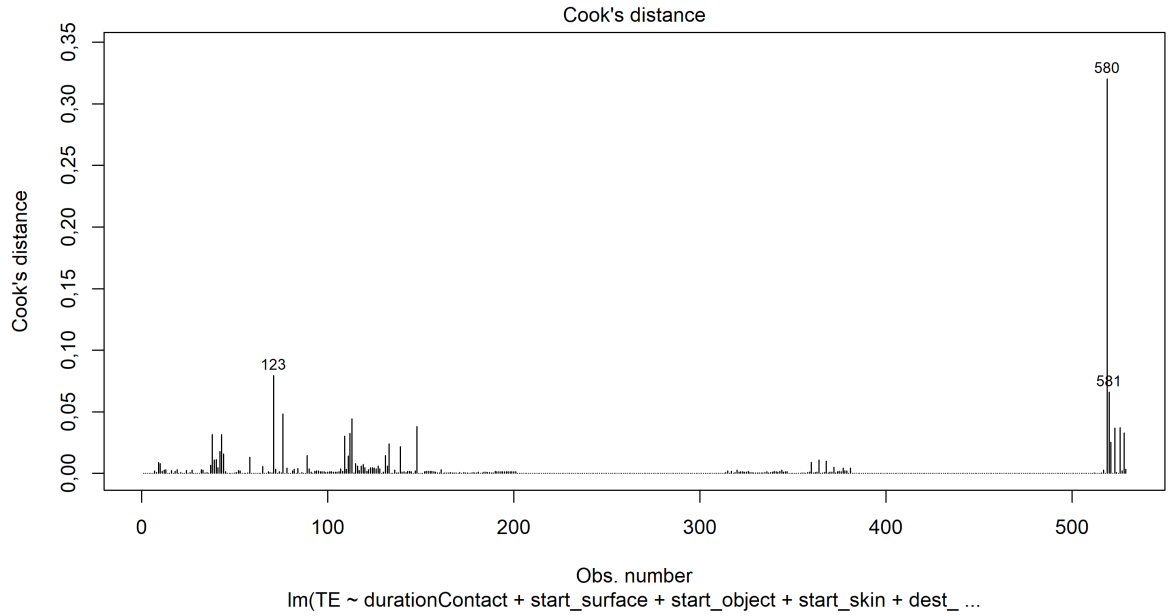


Abbildung III.6: Analyse einflussreicher Fälle anhand des Cook's Abstands für (a) Massen-normierte und (b) Flächen-normierte Daten.

Anhang IV

Modellentwicklung

IV.1 Entwicklung von Standard-Szenarien

Tabelle IV.1: Konservative Umrechnung basierend auf Konzentrationen gemäß Gleichung (5.6). Konservativ / Linear bildet das Verhältnis aus der konservativen sowie rein linearen Umrechnung. Exemplarisch wird die Startkonzentration auf 100 % festgelegt.

Zielkonzentration	Linear	Konservativ	Konservativ / Linear
100 %	1	1,05	1,05
25 %	0,25	0,3	1,2
5 %	0,05	0,1	2
1 %	0,01	0,06	6
0,1 %	0,001	0,051	51

Tabelle IV.2: Kurzbeschreibung, Eingabeparameter sowie Quellen für das Standard-Szenarium Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen. Es handelt sich um ein Szenarium für die Modellerprobung.

Kategorie	Wert	Einheit
Dermale Exposition		
Hände	0,546	$\mu g\,cm^{-2}$
Arme	0,296	$\mu g\,cm^{-2}$
Perioral	0,950	$\mu g\,cm^{-2}$
Dauer	60	min
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [1, 2].	
Kontaminationen		
Objekte		
Oberflächengröße		
Dauer		

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle IV.2 – Fortführung

Kategorie	Wert	Einheit
Quelle		
Aerosole		
Einatembare Fraktion	453,75	$\mu g\,h^{-1}$
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [3].	

Tabelle IV.3: Kurzbeschreibung, Eingabeparameter sowie Quellen für das Standard-Szenarium Arbeiten mit Antineoplastika. Es handelt sich um ein Szenarium für die Modellerprobung.

Kategorie	Wert	Einheit
Dermale Exposition		
Hände	$8{,}28 \cdot 10^{-8}$	$\mu g\,cm^{-2}$
Arme	$6 \cdot 10^{-4}$	$\mu g\,cm^{-2}$
Perioral	$4 \cdot 10^{-5}$	$\mu g\,cm^{-2}$
Dauer	60	min
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [1, 4–6].	
Kontaminationen		
Objekte	0,027	µg
Oberflächengröße	1	cm^2
Dauer	60	min
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [4, 5].	
Aerosole		
Einatembare Fraktion	0,0006	$\mu g\,h^{-1}$
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [7].	

Tabelle IV.4: Kurzbeschreibung, Eingabeparameter sowie Quellen für das Standard-Szenarium Arbeiten mit geschmolzenen Metallen (Raffinerie, Produktion). Es handelt sich um ein Szenarium für die Modellerprobung.

Kategorie	Wert	Einheit
Dermale Exposition		
Hände	0,521	$\mu g\,cm^{-2}$
Arme	0,174	$\mu g\,cm^{-2}$
Perioral	0,309	$\mu g\,cm^{-2}$
Dauer	60	min

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle IV.4 – Fortführung

Kategorie	Wert	Einheit
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [1, 2, 8–10].	
Kontaminationen		
Objekte		
Oberflächengröße		
Dauer		
Quelle		
Aerosole		
Einatembare Fraktion	1062,5	$\mu g\,h^{-1}$
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [2, 9, 11].	

Tabelle IV.5: Kurzbeschreibung, Eingabeparameter sowie Quellen für das Standard-Szenarium Arbeiten mit Kühlschmierstoffen.

Kategorie	Wert	Einheit
Dermale Exposition		
Hände	11,585	$\mu g\,cm^{-2}$
Arme		
Perioral		
Dauer	60	min
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [12].	
Kontaminationen		
Objekte		
Oberflächengröße		
Dauer		
Quelle		
Aerosole		
Einatembare Fraktion	115	$\mu g\,h^{-1}$
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [12, 13].	

Tabelle IV.6: Kurzbeschreibung, Eingabeparameter sowie Quellen für das Standard-Szenarium Beschichten von Metallen. Es handelt sich um ein Szenarium für die Modellerprobung.

Kategorie	Wert	Einheit
Dermale Exposition		
Hände	1,098	$\mu g\,cm^{-2}$
Arme		
Perioral	0,004	$\mu g\,cm^{-2}$
Dauer	60	min
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [10, 14, 15].	
Kontaminationen		
Objekte		
Oberflächengröße		
Dauer		
Quelle		
Aerosole		
Einatembare Fraktion	51,375	$\mu g\,h^{-1}$
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [14–17].	

Tabelle IV.7: Kurzbeschreibung, Eingabeparameter sowie Quellen für das Standard-Szenarium Einfüllen, sprühen von Pestiziden. Es handelt sich um ein Szenarium für die Modellerprobung.

Kategorie	Wert	Einheit
Dermale Exposition		
Hände	$8 \cdot 10^{-4}$	$\mu g\,cm^{-2}$
Arme	0,015	$\mu g\,cm^{-2}$
Perioral	$9 \cdot 10^{-4}$	$\mu g\,cm^{-2}$
Dauer	60	min
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [1, 18–22].	
Kontaminationen		
Objekte	0,258	µg
Oberflächengröße	1	cm
Dauer	60	min
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [18].	
Aerosole		
Einatembare Fraktion	9,311	$\mu g\,h^{-1}$
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [22–24].	

Tabelle IV.8: Kurzbeschreibung, Eingabeparameter sowie Quellen für das Standard-Szenarium Hochdruckreinigen. Es handelt sich um ein Szenarium für die Modellerprobung.

Kategorie	Wert	Einheit
Dermale Exposition		
Hände	19 296,748	$\mu g\,cm^{-2}$
Arme	353,829	$mg\,cm^{-2}$
Perioral		
Dauer	60	min
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [25, 26].	
Kontaminationen		
Objekte		
Oberflächengröße		
Dauer		
Quelle		
Aerosole		
Einatembare Fraktion	5 645 062,5	$\mu g\,h^{-1}$
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [24–26].	

Tabelle IV.9: Kurzbeschreibung, Eingabeparameter sowie Quellen für das Standard-Szenarium Oberflächensprühen von Flüssigkeiten.

Kategorie	Wert	Einheit
Dermale Exposition		
Hände	2393,160	$\mu g\,cm^{-2}$
Arme	51,953	$mg\,cm^{-2}$
Perioral		
Dauer	60	min
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [27–30].	
Kontaminationen		
Objekte		
Oberflächengröße		
Dauer		
Quelle		
Aerosole		
Einatembare Fraktion	32 743,056	$\mu g\,h^{-1}$

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle IV.9 – Fortführung

Kategorie	Wert	Einheit
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [28, 29, 31].	

Tabelle IV.10: Kurzbeschreibung, Eingabeparameter sowie Quellen für das Standard-Szenarium Produzieren von Batterien. Es handelt sich um ein Szenarium für die Modellerprobung.

Kategorie	Wert	Einheit
Dermale Exposition		
Hände	1,674	$\mu g\,cm^{-2}$
Arme		
Perioral	0,009	$\mu g\,cm^{-2}$
Dauer	60	min
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [32, 33].	
Kontaminationen		
Objekte		
Oberflächengröße		
Dauer		
Quelle		
Aerosole		
Einatembare Fraktion	0,725	$\mu g\,h^{-1}$
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [34–36].	

Tabelle IV.11: Kurzbeschreibung, Eingabeparameter sowie Quellen für das Standard-Szenarium Reparieren von Metallbauteilen. Es handelt sich um ein Szenarium für die Modellerprobung.

Kategorie	Wert	Einheit
Dermale Exposition		
Hände	0,056	$\mu g\,cm^{-2}$
Arme		
Perioral	0,016	$\mu g\,cm^{-2}$
Dauer	60	min
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [10].	
Kontaminationen		
Objekte		

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle IV.11 – Fortführung

Kategorie	Wert	Einheit
Oberflächengröße		
Dauer		
Quelle		
Aerosole		
Einatembare Fraktion	42,5	$\mu g\,h^{-1}$
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [37, 38].	

Tabelle IV.12: Kurzbeschreibung, Eingabeparameter sowie Quellen für das Standard-Szenarium Sortieren in Sägewerken.

Kategorie	Wert	Einheit
Dermale Exposition		
Hände	8,122	$\mu g\,cm^{-2}$
Arme	0,290	$\mu g\,cm^{-2}$
Perioral		
Dauer	60	min
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [39].	
Kontaminationen		
Objekte		
Oberflächengröße		
Dauer		
Quelle		
Aerosole		
Einatembare Fraktion	37,841	$\mu g\,h^{-1}$
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [40, 41].	

Tabelle IV.13: Kurzbeschreibung, Eingabeparameter sowie Quellen für das Standard-Szenarium Streichen (Rolle, Bürste).

Kategorie	Wert	Einheit
Dermale Exposition		
Hände	5585,166	$\mu g\,cm^{-2}$
Arme	206 877,309	$\mu g\,cm^{-2}$
Perioral		

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle IV.13 – Fortführung

Kategorie	Wert	Einheit
Dauer	60	min
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [28, 29, 42].	
Kontaminationen		
Objekte		
Oberflächengröße		
Dauer		
Quelle		
Aerosole		
Einatembare Fraktion	1850	$\mu g\,h^{-1}$
Quelle	75. Perzentil der Messdaten aus [28, 29].	

IV.2 Perzentil der oralen Exposition

Tabelle IV.14: Ergebnisse der Monte Carlo Simulationen der Standard-Szenarien bei Variation von Kontakthäufigkeiten und Transfereffizienzen.

Szenarium	Perzentil (Monte Carlo) [%]
Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen	84,51
Arbeiten mit Antineoplastika	78,66
Arbeiten mit geschmolzenen Metallen (Raffinerie, Produktion)	86,33
Arbeiten mit Kühlschmierstoffen	86,70
Beschichten von Metallen	83,25
Einfüllen, sprühen von Pestiziden	81,98
Hochdruckreinigen	80,55
Oberflächensprühen von Flüssigkeiten	86,78
Produzieren von Batterien	84,20
Reparieren von Metallbauteilen	84,58
Sortieren in Sägewerken	87,17
Streichen (Rolle, Bürste)	81,87

Tabelle IV.15: Ergebnisse der Monte Carlo Simulation des Standard-Szenariums Streichen bei Variation der dermalen Exposition.

Dermales Perzentil [%]	Orales Perzentil [%]
10	52,37
25	64,03
50	74,76
75	87,08
90	95,02

IV.3 Modellstruktur & -implementierung

```
# global space
unitTE \url{-"area"
finalUnit \url{- "mg h-1"
contactFractionSmall \url{- 0.1 / 2 # 10% of one hand, data related to
    both hands
contactFractionArms \url{- 0.005
runsMC \url{- 10000
density \url{- 997
listScenarios \url{- data.frame(
c("Surface spraying of liquids (default)", "Working with metalworking
    fluids (default)",
"Roller painting (default)", "Sorting in sawmills (default)",
"High pressure cleaning (default)", "Producing batteries (default)", "
    Working in powder metallurgy plants (default)",
"Working with molten metals (refinery or production) (default)", "
    Repairing metal parts (default)", "Working with antineoplastics (
    default)",
"Pouring or spraying of pesticides (default)", "Coating of metals (
    default)"),
c("liquid", "liquid",
"liquid", "liquid",
"liquid", "solid", "solid",
"solid", "solid", "liquid",
"liquid", "liquid"))

#####################################
library(readxl) # read from excel
library(openxlsx)
library(xlsx)
library(rstudioapi) #get current path
```

```
library(EnvStats) # geoSD
library(ggplot2)
library(stringr) # remove characters

ggtext_size \url{- function(base_size, ratio = 0.8) {
ratio * base_size / ggplot2::.pt
}
plotParam \url{- data.frame(c("textsize", "colGrey", "colBlue", "colFill
    ", "colScheme"),
c(18, "gray30", "royalblue3", grey(0.75), "Pastel1"))
names(plotParam) \url{- c("type", "value")

setFolderPath \url{- function(){
pathFile    \url{- getSourceEditorContext()$path
index       \url{- which(strsplit(pathFile,"")[[1]]=="/")
lastIndex   \url{- index[length(index)]-1
folderPath  \url{- paste(strsplit(pathFile,"")[[1]][1:lastIndex],
    collapse="")

return(folderPath)
}
#####################################

# loading of files
loadContactFrequencyDefaults \url{- function(folderPath){
freqDefaults        \url{- read_excel(paste0(folderPath, "/
    genericModelInput.xlsx"), sheet = "Behavior_Hygiene")
names(freqDefaults) \url{- c("type", "value", "note")

return(freqDefaults)
}

loadTransferEfficiencyDefaults \url{- function(folderPath){
teDefaults        \url{- read_excel(paste0(folderPath, "/
    genericModelInput.xlsx"), sheet = "Transfer efficiencies")[,1:6]
names(teDefaults) \url{- c("duration", "state", "contact", "start", "
    dest", "value")
teDefaults$value  \url{- teDefaults$value / 100 #originally in %
teDefaults        \url{- na.omit(teDefaults)

return(teDefaults)
}

loadUnitTransformationRules \url{- function(folderPath){
unitTransformation \url{- read_excel(paste0(folderPath, "/template.xlsx"
    ), sheet = "Unit transformation")
```

```
65 unitTransformation \url{- data.frame(unitTransformation[rowSums(is.na(
       unitTransformation)) != ncol(unitTransformation), ]) # delete empty
       rows from excel and save in overall list
66
67 return(unitTransformation)
68 }
69
70 loadDefaultScenarios \url{- function(folderPath, activity){
71 scenariumDataOriginal   \url{- read_excel(paste0(folderPath, "/Scenarios
       /", activity, ".xlsx"), col_names = FALSE, na="/", .name_repair = "
       unique_quiet")
72 scenariumDataOriginal   \url{- data.frame(scenariumDataOriginal[rowSums(
       is.na(scenariumDataOriginal)) != ncol(scenariumDataOriginal), ]) #
       delete empty rows from excel and save in overall list
73 scenariumDataOriginal   \url{- data.frame(scenariumDataOriginal[,colSums
       (is.na(scenariumDataOriginal)) != nrow(scenariumDataOriginal)]) #
       delete empty rows from excel and save in overall list
74 names(scenariumDataOriginal)    \url{- c("type", "value", "unit")
75
76 return(scenariumDataOriginal)
77 }
78
79 # transformation of units
80 transformationFactor \url{- function(scenariumDataOriginal,
       unitTransformation){
81 unitCategory        \url{- which(grepl(scenariumDataOriginal$type,
       unitTransformation$code)) # identify correct exposure category (hands
        / arms / aerosols in units)
82 startIndex          \url{- which(unitTransformation$start[unitCategory]
       == scenariumDataOriginal$unit) # identify unit to transform from
83 unitTransformFactor \url{- unitTransformation$factor[unitCategory[
       startIndex]]
84 finalUnit          \url{- unitTransformation$final[unitCategory[
       startIndex]]
85
86 return(list(unitTransformFactor, finalUnit))
87 }
88
89 calculateUnitTransform \url{- function(scenariumDataRow,
       unitTransformFactor, duration){
90 if ( round(as.numeric(scenariumDataRow$value) * unitTransformFactor, 3)
       }0){ # not for very small numbers
91 scenariumDataRow$value \url{- round(as.numeric(scenariumDataRow$value) *
        unitTransformFactor / (as.numeric(duration)/60), 3) # 3 digits
92 } else{
```

```
93 scenariumDataRow$value \url{-as.numeric(scenariumDataRow$value) *
       unitTransformFactor / (as.numeric(duration)/60)
94 }
95 scenariumDataRow$unit \url{- "mg h-1"
96
97 return(scenariumDataRow)
98 }
99
100 transformUnits \url{- function(scenariumDataOriginal, finalUnit,
       unitTransformation){
101 scenariumData \url{- scenariumDataOriginal
102 for (i in 1:which(scenariumDataOriginal$type=="Inhalable fraction")){
103
104 if(!is.na(scenariumDataOriginal$value[i]) & scenariumDataOriginal$unit[i
       ] != finalUnit & !is.na(scenariumDataOriginal$unit[i]) &
       scenariumDataOriginal$unit[i] !="min" & scenariumDataOriginal$unit[i]
       !="cm2"){
105 unitTransformFactor \url{- transformationFactor(scenariumDataOriginal[i
       ,], unitTransformation)[[1]]
106 transformedUnit \url{- transformationFactor(scenariumDataOriginal[i,],
       unitTransformation)[[2]]
107 duration \url{- scenariumDataOriginal$value[which(scenariumDataOriginal$
       unit[i:dim(scenariumDataOriginal)[1]]=="min")[1]+i-1] # Corresponding
        duration: next value in minutes
108
109 if (transformedUnit =="mg" & !is.na(scenariumDataOriginal$value[i])){
110 scenariumData[i,] \url{- calculateUnitTransform(scenariumDataOriginal[i
       ,], unitTransformFactor, duration)
111 } else { # already xx h-1
112 if(!is.na(scenariumDataOriginal$value[i])){
113 scenariumData[i,] \url{- calculateUnitTransform(scenariumDataOriginal[i
       ,], unitTransformFactor, 60)
114 }
115 }
116 }
117 }
118
119 return(scenariumData)
120 }
121
122 # estimation of input values
123 estimateDermalArms \url{- function(dHands, dArms, unitTransformation){
124 if (is.na(dArms)){
125 dArms \url{- dHands / unitTransformation$factor[which(unitTransformation
       $start=="Surface area both hands")] * unitTransformation$factor[which
       (unitTransformation$start=="Surface overall arms (both) - SysDEA")]
```

```
126 }
127
128 return(dArms)
129 }
130
131 estimateContaminationObjects \url{- function(dHands, cObjects,
    unitTransformation, surfaceObjects, contactFractionSmall){
132
133 if (is.na(surfaceObjects)){ # surface = surfaceHand
134 surfaceObjects=unitTransformation$factor[which(unitTransformation$start
    =="Surface area both hands")]
135 }
136
137 if(is.na(cObjects)){ # contamination = contaminationHand / surfaceHand *
     surfaceObject
138 cObjects \url{- dHands / unitTransformation$factor[which(
    unitTransformation$start=="Surface area both hands")] *
    surfaceObjects
139 }
140
141 # if(surfaceObjects \url{ unitTransformation$factor[which(
    unitTransformation$start=="Surface area both hands")]){
142 #   cObjects \url{- cObjects / contactFractionSmall # should not be
    multiplied at all later -} in that case * x / x = *1
143 # }
144
145 return(list(cObjects, surfaceObjects))
146 }
147
148 estimateDermalPerioral \url{- function(dPerioral, dHands, dArms,
    cObjects, freq, te, contactFractionSmall, contactFractionArms,
    durationContact, state, contactType){
149 if(is.na(dPerioral)){
150 dPerioral \url{- sum(dHands * freq$value[freq$type == "Hand-mouth"] * te
    $value[te$start=="skin" & te$dest=="skin" & te$duration==
    durationContact & te$state==state & te$contact == contactType] *
    contactFractionSmall,
151 dArms  * freq$value[freq$type == "Arm-mouth"] * te$value[te$start=="skin
    " & te$dest=="skin" & te$duration==durationContact & te$state==state
    & te$contact == contactType] * contactFractionArms,
152 cObjects * freq$value[freq$type == "Object-mouth"] * te$value[te$start==
    "surface" & te$dest=="skin" & te$duration==durationContact & te$state
    ==state & te$contact == contactType] * contactFractionSmall,
153 na.rm=TRUE)
154 }
155
```

```
156 return(dPerioral)
157 }
158
159 # estimate oral exposure
160 calculateTransfer \url{- function(dPerioral, dArms, dHands, cObjects,
    contactFractionSmall, contactFractionArms, te, freq, durationContact,
     state, contactType){
161 transfer \url{- sum(dHands * freq$value[freq$type == "Hand-mouth"] * te$
    value[te$start=="skin" & te$dest=="oral" & te$duration==
    durationContact & te$state==state & te$contact == contactType] *
    contactFractionSmall,
162 dArms * freq$value[freq$type == "Arm-mouth"] * te$value[te$start=="skin"
     & te$dest=="oral" & te$duration==durationContact & te$state==state &
     te$contact == contactType] * contactFractionArms,
163 cObjects * freq$value[freq$type == "Object-mouth"] * te$value[te$start==
    "surface" & te$dest=="oral" & te$duration==durationContact & te$state
    ==state & te$contact == contactType] * contactFractionSmall,
164 dPerioral,
165 na.rm=TRUE)
166
167 if (round(transfer, 3)}0){
168 transfer \url{- round(transfer,3)
169 }
170
171 return(transfer)
172 }
173
174 calculateAerosols \url{- function(scenariumData){
175 aerosolInput \url{- as.numeric(scenariumData$value[which(scenariumData$
    type=="Inhalable fraction")])
176 aerosol \url{- aerosolInput
177 return(aerosol)
178 }
179
180 OMORE \url{- function(scenariumData, te, freq, unitTransformation,
    contactFractionSmall, contactFractionArms, durationContact, state,
    contactType){
181 # easy access of certain variables
182 dHands        \url{- as.numeric(scenariumData$value[scenariumData$type==
    "Hands"])
183 dArms         \url{- as.numeric(scenariumData$value[scenariumData$type==
    "Arms"])
184 dPerioral     \url{- as.numeric(scenariumData$value[scenariumData$type==
    "Perioral"])
185 cObjects      \url{- as.numeric(scenariumData$value[scenariumData$type==
    "Handled objects"])
```

```
surfaceObjects\url{- as.numeric(scenariumData$value[scenariumData$type==
    "Surface of handled objects"])

dArms \url{- estimateDermalArms(dHands, dArms, unitTransformation)
cObjects \url{- estimateContaminationObjects(dHands, cObjects,
    unitTransformation, surfaceObjects, contactFractionSmall)[[1]]
surfaceObjects \url{- estimateContaminationObjects(dHands, cObjects,
    unitTransformation, surfaceObjects, contactFractionSmall)[[2]]
dPerioral \url{- estimateDermalPerioral(dPerioral, dHands, dArms,
    cObjects, freq, te, contactFractionSmall, contactFractionArms,
    durationContact, state, contactType)

transfer \url{- calculateTransfer(dPerioral, dArms, dHands, cObjects,
    contactFractionSmall, contactFractionArms, te, freq, durationContact,
     state, contactType)
aerosols \url{- calculateAerosols(scenariumData)

oralExposure \url{- transfer + aerosols

return(list(oralExposure, transfer, aerosols))
}

# Monte Carlo simulations
sampleFreq \url{- function(freqDefaults){
freqMC \url{- data.frame(matrix(NA, nrow=3, ncol=2))
names(freqMC) \url{- c("type", "value")
freqMC$type[1] \url{- "Hand-mouth"
freqMC$value[1] \url{- rpois(1, lambda=4.0065)
freqMC$type[2] \url{- "Arm-mouth"
freqMC$value[2] \url{- rpois(1, lambda=0.2707)
freqMC$type[3] \url{- "Object-mouth"
freqMC$value[3] \url{- rpois(1, lambda=1.4771)

return(freqMC)
}

sampleTESubset \url{- function(teSingleValues, te, start, dest, unitTE,
    state, durationContact, contactType){
teSubset \url{- teSingleValues[which(teSingleValues$start==start &
    teSingleValues$dest==dest & teSingleValues$state==state &
    teSingleValues$duration == durationContact & teSingleValues$contact==
    contactType),]
if (dim(teSubset)[1]}0){
teMC \url{- data.frame(sample(teSubset$TE, 1, replace=TRUE),
    durationContact, start, dest, contactType, state, unitTE)
} else{
```

```
replaceTE \url{- teSingleValues[teSingleValues$unit==unitTE,]
replaceTE \url{- replaceTE[-replaceTE$TE\url{0,]
teMC \url{- data.frame(sample(replaceTE$TE, 1, replace=TRUE),
    durationContact, start, dest, contactType, state, unitTE) # all
    values of unit
}
names(teMC) \url{- c("value", "duration", "start", "dest", "contact", "
    state", "unit")
# teMC \url{- teMC[-teMC$value\url{0,]

return(teMC)
}

prepareTEMonteCarlo \url{- function(unitTE, folderPath){
# load TE single values
if (unitTE=="mass"){
teSingleValues \url{- data.frame(openxlsx::read.xlsx(paste0(folderPath,
    "/TE Default Values/mass_TEModel.xlsx")), "mass")
} else if (unitTE=="area"){
teSingleValues \url{- data.frame(openxlsx::read.xlsx(paste0(folderPath,
    "/TE Default Values/area_TEModel.xlsx")), "area")
}
names(teSingleValues)[8] \url{- "unit"
teSingleValues$TE \url{- teSingleValues$TE / 100 # original TE in
    percent

return(teSingleValues)
}

monteCarlo \url{- function(runsMC, scenariumData, unitTransformation,
    contactFractionSmall, contactFractionArms, te, freq, unitTE,
    folderPath, behaviorBasedVariance, state, durationContact,
    contactType){
MCOral \url{- data.frame(matrix(NA, nrow=runsMC, ncol=1))

start \url{- c("skin", "surface")
dest \url{- c("oral", "skin")
combineStartDest \url{- expand.grid(start, dest)
names(combineStartDest) \url{- c("start", "dest")

teSingleValues \url{- prepareTEMonteCarlo(unitTE, folderPath)

for (i in 1:runsMC){
freqMC \url{- sampleFreq(freq)

```

```
teMC \url{- data.frame(matrix(NA, nrow=(dim(combineStartDest[1])), ncol=7))
names(teMC) \url{- c("value", "duration", "start", "dest", "contact", "state", "unit")

if (behaviorBasedVariance == FALSE){
for (j in 1:dim(combineStartDest)[1]){
teMC[j,] \url{- sampleTESubset(teSingleValues, te, start[combineStartDest$start[j]], dest[combineStartDest$dest[j]], unitTE, state, durationContact, contactType)
}
} else{teMC \url{- te}

MCOral[i,1] \url{-OMORE(scenariumData, teMC, freqMC, unitTransformation, contactFractionSmall, contactFractionArms, durationContact, state, contactType)[[1]]
}

names(MCOral) \url{- "oral"

if(length(which(MCOral\url{=0))}0){
MCOral \url{- data.frame(MCOral[-MCOral\url{0])
}

return(MCOral)
}

varianceCalc \url{- function(folderPath, activity, MCOral){
variance \url{- geoSD(unlist(MCOral))
endName \url{- min(length(c(strsplit(activity,""))[[1]]), 30)
sheetName \url{- paste0(c(strsplit(activity,""))[[1]][1:endName], collapse="")
xlsx::write.xlsx(variance, file = paste0(folderPath, "/geoSDMonteCarlo.xlsx"), sheetName=sheetName, append=TRUE)

return(variance)
}

plotMonteCarlo \url{- function(MCOral, oralExposure, plotParam, scenariumData, folderPath){

cdf \url{- ecdf(unlist(MCOral))
percentile \url{- cdf(oralExposure)
dataPoint \url{- data.frame(oralExposure, percentile)
MCOral \url{- data.frame(unlist(MCOral))
names(MCOral) \url{- "MCOral"
```

```
293
294 filename \url{- scenariumData$value[which(scenariumData$type=="Activity
    name" | scenariumData$type=="Scenarium name")]
295 filename \url{- gsub(": ", "_", filename) # ":" not allowed in filename
296
297 ggplot() +
298 stat_ecdf(data=MCOral, aes(MCOral), geom = "point", colour=plotParam$
    value[which(plotParam$type=="colGrey")])+
299 # geom_point(data = dataPoint, aes(x\url{-oralExposure, y\url{-
    percentile), colour=plotParam$value[which(plotParam$type=="colBlue")
    ], shape=17, size=4, show.legend = NA) +
300 geom_point(data = dataPoint, aes(x\url{-oralExposure, y\url{-percentile)
    , colour="firebrick2", shape=17, size=4, show.legend = NA) +
301
302 # xlab("Oral exposure [mg h-1]") + ylab("CDF") +
303 xlab("Orale Exposition [mg h-1]") + ylab("CDF") +
304
305 theme_light(base_size = as.numeric(plotParam$value[which(plotParam$type
    =="textsize")]))+ # Design
306 theme(axis.title.x=element_text(colour = plotParam$value[which(plotParam
    $type=="colGrey")]),
307 axis.title.y=element_text(colour = plotParam$value[which(plotParam$type
    =="colGrey")]),
308 plot.margin = margin(5, 15, 0, 0),
309 axis.line = element_line(colour = plotParam$value[which(plotParam$type==
    "colGrey")]),
310 axis.ticks = element_line(colour = plotParam$value[which(plotParam$type
    =="colGrey")]),
311 legend.text=element_text(color=plotParam$value[which(plotParam$type=="
    colGrey")]),
312 legend.title=element_blank())
313
314 ggsave(paste0("OralExposure_MonteCarlo_", filename, ".png"), path =
    folderPath, width=10, height=9/16*10, dpi=400)
315
316
317 # endName \url{- min(length(c(strsplit(activity,""))[[1]]), 30)
318 # sheetName \url{- paste0(c(strsplit(activity,""))[[1]][1:endName],
    collapse="")
319 xlsx::write.xlsx(percentile, file = paste0(folderPath, "/percentile.xlsx
    "), sheetName=filename, append=TRUE)
320
321
322 return(percentile)
323 }
324
```

```
325 monteCarloDermal \url{- function(scenariumData, runsMC,
    unitTransformation, contactFractionSmall, contactFractionArms, te,
    freq, unitTE, folderPath, behaviorBasedRelevance, state,
    durationContact, contactType){
326 dermalMCScenarium \url{- scenariumData
327 monteCarloDermal \url{- data.frame(matrix(NA, nrow=runsMC, ncol=1))
328
329 # raw data sysdea (roller painting)
330 dHand \url{- c(40.19, 50.45, 59.88, 61.67,
331 91.82, 111.29, 123.75, 127.80,
332 128.07, 137.08, 210.67, 221.65,
333 438.21, 654.28, 1057.73, 5067.55)*10^-3 # mikro g h-1 in mg h-1
334
335
336 dArm \url{- c(15.99114315, 21.72917097, 23.53486227, 27.43267841,
337 35.52251222, 43.29349644, 81.62532025, 81.82990926,
338 88.36065651, 93.71608609, 115.9225472, 131.3855654,
339 146.5266301, 720.14328, 1508.368135, 1669.040414)*10^-3 # mikro g h-1 in
     mg h-1
340
341 start \url{- c("skin", "surface")
342 dest \url{- c("oral", "skin")
343 combineStartDest \url{- expand.grid(start, dest)
344 names(combineStartDest) \url{- c("start", "dest")
345
346 teSingleValues \url{- prepareTEMonteCarlo(unitTE, folderPath)
347
348 teMC \url{- data.frame(matrix(NA, nrow=(dim(combineStartDest[1])), ncol
    =7))
349 names(teMC) \url{- c("value", "duration", "start", "dest", "contact", "
    state", "unit")
350
351 for (i in 1:runsMC){
352 freqMC \url{- sampleFreq(freq)
353
354 for (j in 1:dim(combineStartDest)[1]){
355 teMC[j,] \url{- sampleTESubset(teSingleValues, te, start[
    combineStartDest$start[j]], dest[combineStartDest$dest[j]], unitTE,
    state, durationContact, contactType)
356 }
357
358 dHandMC \url{- sample(dHand, 1, replace=TRUE)
359 dArmMC \url{- sample(dArm, 1, replace=TRUE)
360
361 dermalMCScenarium$value[which(dermalMCScenarium$type=="Hands")] \url{-
    dHandMC
```

```
dermalMCScenarium$value[which(dermalMCScenarium$type=="Arms")] \url{-
    dArmMC

monteCarloDermal[i,1] \url{-OMORE(dermalMCScenarium, teMC, freqMC,
    unitTransformation, contactFractionSmall, contactFractionArms,
    durationContact, state, contactType)[[1]]
}

cdf \url{- ecdf(unlist(monteCarloDermal))
percentileOralDermal \url{- cdf(oralExposure)

return(percentileOralDermal)
}

compareScenarios \url{- function(folderPath, listScenarios, finalUnit,
    contactFractionSmall, contactFractionArms, durationContact,
    contactType){
freqDefaults        \url{- loadContactFrequencyDefaults(folderPath)
teDefaults          \url{- loadTransferEfficiencyDefaults(folderPath)
unitTransformation  \url{- loadUnitTransformationRules(folderPath)

compareExposures \url{- data.frame(matrix(NA, nrow=length(listScenarios)
    , ncol=4))

for (i in 1:dim(listScenarios)[1]){
activity \url{- listScenarios[i,1]
state \url{- listScenarios[i,2]
# hier state je activity definieren
scenariumDataOriginal \url{- loadDefaultScenarios(folderPath, activity)
scenariumData         \url{- transformUnits(scenariumDataOriginal,
    finalUnit, unitTransformation)
oralExposureActivity \url{- OMORE(scenariumData, teDefaults,
    freqDefaults, unitTransformation, contactFractionSmall,
    contactFractionArms, durationContact, state, contactType)

compareExposures[i,1] \url{- activity
compareExposures[i,2:4] \url{- oralExposureActivity
}

names(compareExposures) \url{- c("activity", "oralExposure", "transfer",
    "aerosols")
return(compareExposures)
}

renamingPlotData \url{- function(plotData){
```

```
397 plotData$activity \url{- as.character(strsplit(plotData$activity, " [(]
    default[])]"))
398 # deutsch
399 plotData$activity[which(plotData$activity=="Pesticides")] \url{- "
    Einfuellen, spruehen von Pestiziden"
400 plotData$activity[which(plotData$activity=="Sawmill")] \url{- "Sortieren
     in Saegewerken"
401 plotData$activity[which(plotData$activity=="Metal repairs")] \url{- "
    Reparieren von Metallbauteilen"
402 plotData$activity[which(plotData$activity=="Metal Powder metallurgy")] \
    url{- "Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen"
403 plotData$activity[which(plotData$activity=="Metalworking fluids")] \url
    {- "Arbeiten mit Kuehlschmierstoffen"
404 plotData$activity[which(plotData$activity=="Metal refinery, melt,
    production")] \url{- "Arbeiten mit geschmolzenen Metallen (Raffinerie
    , Produktion)"
405 plotData$activity[which(plotData$activity=="Metal coatings")] \url{- "
    Beschichten von Metallen"
406 plotData$activity[which(plotData$activity=="Metal batteries")] \url{- "
    Produzieren von Batterien"
407 plotData$activity[which(plotData$activity=="Surface spraying of liquids"
    )] \url{- "Oberflaechenspruehen von Fluessigkeiten
408 plotData$activity[which(plotData$activity=="Roller painting")] \url{- "
    Streichen (Rolle, Buerste)"
409 plotData$activity[which(plotData$activity=="Nursing")] \url{- "Arbeiten
    mit Antineoplastika"
410 plotData$activity[which(plotData$activity=="High pressure cleaning")] \
    url{- "Hochdruckreinigen"
411
412 plotData$category[which(plotData$categorie=="Aerosols")] \url{- "
    Aerosole"
413
414 return(plotData)
415 }
416
417 plotScenarioComparison \url{- function(plotParam, compareExposures,
    contactType, durationContact, folderPath){
418 # preparation of data
419 oral \url{- transfer \url{- aerosols \url{- percentTransfer \url{-
    percentAerosols \url{- data.frame(matrix(NA, ncol=3, nrow=dim(
    compareExposures)[1]))
420 for (i in 1:dim(oral)[1]){
421 oral[i,] \url{- data.frame(compareExposures$activity[i],
    compareExposures$oralExposure[i], "oralExposure")
422 transfer[i,] \url{- data.frame(compareExposures$activity[i],
    compareExposures$transfer[i], "transfer")
```

```
aerosols[i,] \url{- data.frame(compareExposures$activity[i],
    compareExposures$aerosols[i], "aerosols")
percentTransfer[i,] \url{- data.frame(compareExposures$activity[i],
    compareExposures$transfer[i] / compareExposures$oralExposure[i]*100,
    "percentTransfer")
percentAerosols[i,] \url{- data.frame(compareExposures$activity[i],
    compareExposures$aerosols[i] / compareExposures$oralExposure[i]*100,
    "percentAerosols")
}
plotData \url{- rbind(oral, transfer, aerosols)
names(plotData) \url{- c("activity", "value", "category")

# renaming
plotData \url{- renamingPlotData(plotData)

ggplot(plotData, aes(fill=category, x=activity, y=value)) +
geom_bar(position="dodge", stat = "identity", width = 0.5, color=
    plotParam$value[which(plotParam$type=="colGrey")]) +
scale_fill_brewer(palette = plotParam$value[which(plotParam$type=="
    colScheme")])+
coord_flip()+
xlab(NULL) + ylab("Orale Exposition [mg h-1]") +
theme_light(base_size = as.numeric(plotParam$value[which(plotParam$type
    =="textsize")]))+ # Design
theme(axis.title.x=element_text(colour = plotParam$value[which(plotParam
    $type=="colGrey")]),
plot.margin = margin(5, 15, 0, 15),
axis.line = element_line(colour = plotParam$value[which(plotParam$type==
    "colGrey")]),
axis.ticks = element_line(colour = plotParam$value[which(plotParam$type
    =="colGrey")]),
legend.text=element_text(color=plotParam$value[which(plotParam$type=="
    colGrey")]),
legend.title=element_blank(),
legend.position = c(-0.15,-0.025))
ggsave(paste0("comparison_mass_", contactType, "_", durationContact, ".
    png"), path=folderPath, width=10, height=9/16*10, dpi=400)

# Plot mL h-1
plotData$value \url{- plotData$value / density

ggplot(plotData, aes(fill=category, x=activity, y=value)) +
geom_bar(position="dodge", stat = "identity", width = 0.5, color=
    plotParam$value[which(plotParam$type=="colGrey")]) +
scale_fill_brewer(palette = plotParam$value[which(plotParam$type=="
    colScheme")])+
```

```
coord_flip()+
xlab(NULL) + ylab("Orale Exposition [mL h-1]") +
theme_light(base_size = as.numeric(plotParam$value[which(plotParam$type
    =="textsize")]))+ # Design
theme(axis.title.x=element_text(colour = plotParam$value[which(plotParam
    $type=="colGrey")]),
plot.margin = margin(5, 15, 0, 15),
axis.line = element_line(colour = plotParam$value[which(plotParam$type==
    "colGrey")]),
axis.ticks = element_line(colour = plotParam$value[which(plotParam$type
    =="colGrey")]),
legend.text=element_text(color=plotParam$value[which(plotParam$type=="
    colGrey")]),
legend.title=element_blank(),
legend.position = c(-0.15,-0.025))
ggsave(paste0("comparison_volume_", contactType, "_", durationContact, "
    .png"), path=folderPath, width=10, height=9/16*10, dpi=400)

# percent
plotPercent \url{- rbind(percentTransfer, percentAerosols)
names(plotPercent) \url{- c("activity", "value", "category")

# renaming
plotPercent \url{- renamingPlotData(plotPercent)

ggplot(plotPercent, aes(fill=category, x=activity, y=value)) +
geom_bar(position="dodge", stat = "identity", width = 0.5, color=
    plotParam$value[which(plotParam$type=="colGrey")]) +
scale_fill_brewer(palette = plotParam$value[which(plotParam$type=="
    colScheme")], labels = c("Aerosole", "Transfer"))+
coord_flip()+
xlab(NULL) + ylab("Beitrag zu oraler Exposition [%]") +
theme_light(base_size = as.numeric(plotParam$value[which(plotParam$type
    =="textsize")]))+ # Design
theme(axis.title.x=element_text(colour = plotParam$value[which(plotParam
    $type=="colGrey")]),
plot.margin = margin(5, 15, 0, 15),
axis.line = element_line(colour = plotParam$value[which(plotParam$type==
    "colGrey")]),
axis.ticks = element_line(colour = plotParam$value[which(plotParam$type
    =="colGrey")]),
legend.text=element_text(color=plotParam$value[which(plotParam$type=="
    colGrey")]),
legend.title=element_blank(),
legend.position = c(-0.25,-0.06))+
scale_color_manual(labels = c("T999", "T888"))
```

```
ggsave(paste0("comparison_percent_", contactType, "_", durationContact,
    ".png"), path=folderPath, width=10, height=9/16*10, dpi=400)
}

compareExposurePathways \url{- function(scenariumData, oralExposure){
compare \url{- data.frame(scenariumData$value[which(scenariumData$type==
    "Hands")],
scenariumData$value[which(scenariumData$type=="Inhalable fraction")],
oralExposure)
names(compare) \url{- c("Hands", "Aerosols", "Oral")


filename \url{- scenariumData$value[which(scenariumData$type=="Activity
    name" | scenariumData$type=="Scenarium name")]
filename \url{- gsub(": ", "_", filename) # ":" not allowed in filename

xlsx::write.xlsx(compare, file = paste0(folderPath, "/
    compareExposurePathways.xlsx"), sheetName=filename, append=TRUE)
}
```

IV.4 Dokumentationen: Modell, Standard-Szenarien

Die folgende Modell-Dokumentation entspricht der in die Implementierung eingebundenen Version in englischer Sprache:

User interface:
The user interface includes four tabs: Model, Optional input, Documentation of model and Documentation of default scenarios. The main functions including the loading of scenarios, modification of inputs and calculations can be performed in the Model tab. Additional inputs, which are not necessarily required, can be specified under Optional inputs. The other tabs provide additional information. The model tab contains seven cards for: a scenario if already available, dermal exposure, contamination of handled objects, aerosol exposure, relevant parameters for transfer efficiencies, saving or calculating and the output of model calculation results. Quantitative inputs are limited to a set of specified units (drop-down menus), which can be handled automatically within the model calculation. All inputs and results can be saved. However, names of default scenarios are forbidden to ensure, that default scenarios remain unchanged.

Scenarios:
To avoid repeated inputs, existing scenarios can be selected to load their specific input parameters. Thereby, own scenarios from former model runs can be loaded as well as pre-defined default scenarios. Default scenarios describe specific exposure situations and are available to simplify the first steps. They can be used as examples or adapted to similar situations. Detailed information on the

default scenarios is available in the Documentation of default scenarios tab. Despite of loading input from pre-defined scenarios, a reset option is available for all inputs.

Required inputs:

The following cards on dermal exposure, handled objects, aerosols and transfer efficiencies contain required inputs, marked with "*". For dermal inputs, the exposure of both hands and the underlying exposure duration need to be specified. The input of exposure of arms and the perioral region is recommended, if available. Similar, the contamination of handled objects like tools should be provided, if available. If so, the corresponding surface area and exposure duration need to be specified as well. The inhalable fraction is a required input for the modelling of oral exposure as well as all inputs for transfer efficiencies (own paragraph).

Estimation of exposures / contaminations: arms, perioral, handled objects

If the dermal exposure of arms and the perioral region or the contamination of handled objects is not available, the model calculates an estimation of those inputs based on assumptions. For arms and contaminated objects, the estimation is based on the assumption of the same loading [mg cm-2] as for the hands. Especially for arms, this assumption is conservative, as arms are generally less exposed than hands. Relevant objects are frequently handled and therefore, an equilibrium of dermal exposure of hands and object contamination can be assumed. Based on the loading, the overall exposure of arms / the overall contamination of objects can be calculated using their surfaces. The perioral exposure can be calculated based on transfer events, as it mainly emerges from contacts with hands, arms and objects. Using contact frequencies and transfer efficiencies, an estimation of perioral exposure can be calculated (see also paragraph: Contribution of transfer).

Concentration adaption:

Inputs for dermal exposure, contaminated objects and aerosols are based on a scenario specific concentration. For the case, that input parameters are only available for another concentration, a conservative adaption based on the concentration is needed. A conservative exposure correction factor was defined and applied in the default scenarios if needed. This factor is suitable for both, reducing and increasing the concentration:

$$Exposure_{Corrected} = Exposure_{Initial} \cdot \frac{c_{New}}{c_{Old}} \cdot \left(1 + \frac{5}{min(c_{New}, c_{Old})}\right) \tag{IV.1}$$

The value 5 was set by expert judgement to ensure a conservative concentration adaption. However, the factor is highly conservative for very small input concentrations. All concentrations need to be specified in percent.

Transfer efficiencies:

The calculation of transfer into the mouth is based on transfer efficiencies. These describe the amount of substance transferred from a starting surface to a destination under certain conditions. In general, transfer efficiencies are described in percent, either as "mass at destination / mass

at start" or as "mass per area at destination / mass per area at start". This model only uses the area-normalized transfer efficiencies to ensure comparable results of oral exposure. To specify the different transfer conditions, three additional inputs are required. The substance category describes either liquids, solids, biological substances or aerosols. The dominating contact duration can either be short (up to 6s, e.g. short handling / sorting of objects) or long (over 6s, e.g. transporting of objects). The contact type can be lick, contact, press or smudge. Typical handling or "normal" contacting is summarized under the category "contact". The other categories are highly specific and describe licking with the tongue, a pressing or a pressing and moving (smudge). Based on these three parameters, transfer efficiencies can be determined based on aggregated and evaluated literature information.

Optional inputs:
In the case, that specific transfer efficiencies to the oral region or the skin are available as area-normalized input, these can be specified in the optional input tab. Similar, specific contact frequencies for hand-mouth, arm-mouth or object-mouth contacts can be specified here. If any input is set in the optional input tab, this input automatically replaces the corresponding default inputs.

Contribution of transfer:
The contribution of transfer to oral exposure is calculated based on the inputs. In general, the calculation is based on an initial dermal exposure / object contamination, a contact frequency and a transfer efficiency:

$$\textit{transfer} = \textit{dermal exposure} \cdot \textit{contact frequency} \cdot * \textit{transfer efficiency} \tag{IV.2}$$

The overall transfer is the sum of all contributing transfers, including transfer from hand to mouth, object to mouth and arm to mouth. Similar, the perioral exposure can be estimated from transfer events between hands, arms and objects with the perioral region. Additionally, a typical transfer, e.g. between hand and mouth, does not include a whole hand. Instead, only a fraction of the hand will be brought into contact with the destination. It is assumed, that this fraction is $10\,\%$ of the surface of the hand or small objects. $10\,\%$ are approximately one side of two fingers. If fingers are brought into the mouth, both sides of the fingers will be in contact. However, not the whole fingers will be in contact with the mouth, still resulting in a contact fraction of $10\,\%$. For contacts with arms, which have a bigger surface, the same absolute contacting surface is assumed for relevant contacts with the perioral region or mouth. Contact frequencies and transfer efficiencies are available from default values. Contact frequencies origin from observations in which the relevant contacts were counted. For each contact type, the 75th percentile of frequencies is used as a conservative estimate of individual behaviors. The transfer efficiencies were aggregated from literature data and influencing parameters were determined. Based on the input on transfer efficiencies, suitable values can be selected from the literature. The 75th percentile of corresponding available transfer efficiencies is used as conservative value for the calculation. If no transfer efficiencies are available for the respective parameter combination, the 75th percentile of all available transfer efficiencies is used instead.

Contribution of aerosols:
Particles from aerosols can be swallowed under certain conditions and thereby contribute to oral exposure. For the quantitative description, the particles are assumed to be bio-persistent under the conditions of the lung. Further sinks are neglected, as they cannot be reliably quantified and are probably only relevant for small amounts of particles. Therefore, all inhaled particles contribute to occupational oral exposure. The inhalable fraction needs to be specified as model input and is assumed to (conservatively) completely contribute to oral exposure.

Calculation of oral exposure:
For the calculation of oral exposure, the contributions of transfer and aerosols are summed, resulting in the following formula:

$$\textit{Oral exposure} = \textit{Contribution of transfer} + \textit{Contribution of aerosols} \tag{IV.3}$$

Conservativeness of calculated oral exposure: To assess the conservativeness of the calculated oral exposure, the percentile of the result is of interest. Therefore, the main variable inputs of contact frequencies and transfer efficiencies are varied in an optional Monte Carlo simulation. The calculated oral exposure is compared with the simulation output resulting in a percentile describing the conservativeness of the calculation in respect of contact frequencies and transfer efficiencies.

Die folgende Dokumentation der Standard-Szenarien entspricht der in die Implementierung eingebundenen Version in englischer Sprache:

Default scenarios:
Default scenarios exist for different workplaces where oral exposure might be relevant. They contain default values for dermal exposure and for aerosols. These values can either be adapted or used as a default for the calculation of oral exposure. High pressure cleaning: High pressure cleaning describes the water-based cleaning of large objects, e.g. cars with high pressure devices. The calculated exposure values are related to the overall amount of swallowed cleaning solution. Dermal and aerosol data come from: https://doi.org/10.1093/annhyg/mef097, https://doi.org/10.1002/ps.5255, https://www.baua.de/EN/Research/Research-projects/f2366.

Coating of metals:
This scenario describes the coating (e.g., painting, chrome coating, tin coating) of metal products, e.g. motor fans or metal sheets. The calculated exposure refers to metals. Dermal and aerosol data come from: https://doi.org/10.1093/annweh/wxx071, https://doi.org/10.1093/annhyg/meg072, https://doi.org/10.3390/ijerph19063683, https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113601, https://doi.org/10.1038/jes.2015.67

Filling, spraying of pesticides:
This scenario includes both spraying and mechanical tasks and therefore focuses on general workplaces with pesticides. The exposure values refer to active ingredients. Dermal, contamination and aerosol data come from: Inadvertent ingestion exposure to hazardous substances in the workplace (Thesis: Christopher 2008), https://doi.org/10.1093/annweh/wxy104, https://doi.org/10.1093/annweh/wxad045, https://doi.org/10.1080/15459624.2015.1009984, https://doi.org/10.1093/annweh/wxy081, https://doi.org/10.1039/B714882H, https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113988, https://www.baua.de/EN/Research/Research-projects/f2366, https://doi.org/10.1039/B714882H

High pressure cleaning:
High pressure cleaning describes the water-based cleaning of large objects, e.g. cars with high pressure devices. The calculated exposure values are related to the overall amount of swallowed cleaning solution. Dermal and aerosol data come from: https://doi.org/10.1093/annhyg/mef097, https://doi.org/10.1002/ps.5255, https://www.baua.de/EN/Research/Research-projects/f2366

Production of batteries:
This scenario focuses on workplaces handling metals, e.g. lead, for battery production. The calculated exposure values are related to metals (Pb, Cd, etc.). Dermal and aerosol data come from: https://doi.org/10.1080/15459624.2012.673458, https://doi.org/10.1080/15459624.2017.1309046, https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.06.044, https://doi.org/10.1080/15298660008984593, https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00870-1, https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00870-1

Repairing metal parts:
This scenario describes the exposure to metals, e.g. Pb or Ni, during repair tasks on metal products like engines. Dermal and aerosol data come from: https://doi.org/10.1007/s13762-023-05400-y, https://doi.org/10.1007/s11270-024-07729-7, https://doi.org/10.1093/annweh/wxx071

Roller painting (roller, brush):
The application of low viscosity paints on walls is described. Exposure data refers to overall paint. Dermal and aerosol data come from: https://doi.org/10.1093/annhyg/mel074, https://doi.org/10.1136/oem.2005.023226, https://doi.org/10.21934/baua:bericht20190116

Sorting in sawmills:
The scenario describes the exposure to resin acids during sorting processes in sawmills. Dermal and aerosol data come from: https://doi.org/10.1080/15298660008984564, https://doi.org/10.1093/annweh/wxy041, https://doi.org/10.1093/annhyg/meh013

Surface spraying of liquids:

This scenario describes the surface spraying of liquids as specified in DermExpoDB. Exposure values refer to the amount of overall paint. Dermal and aerosol data come from: https://doi.org/10.5271/sjweh.1003, https://doi.org/10.1093/annhyg/mel074, http://dx.doi.org/10.1136/oem.2005.023226, http://dx.doi.org/10.5271/sjweh.1003, , https://doi.org/10.1093/annhyg/mep048, https://doi.org/10.1093/annhyg/mel074, https://doi.org/10.1039/C6RA20179B

Working in powder metallurgy plant:
This scenario describes exposures during powder metallurgy with nickel species, e.g. powder mixing or grinding. Exposure therefore refers to metal species as nickel. Dermal and aerosol data come from: https://doi.org/10.3390/safety8020032, Inadvertent ingestion exposure to hazardous substances in the workplace (Thesis: Christopher 2008), An occupational hygiene assessment of dermal nickel exposures in primary production industries (Hughson 2004)

Working with antineoplastics:
This scenario describes tasks which include the handling of cytostatic drugs, both in hospitals and in pharmacies. Exposure values refer to active ingredients. Dermal, contamination and aerosol data come from: https://doi.org/10.1007/s00420-004-0595-1, https://doi.org/10.2486/indhealth.2014-0025, https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2011.03.028, https://doi.org/10.1007/s00420-021-01731-w, Inadvertent ingestion exposure to hazardous substances in the workplace (Thesis: Christopher 2008)

Working with metalworking fluids:
This scenario is based on data of metalworking fluids during the mechanical treatment of solid objects, e.g. boring, drilling. Exposure data refers to amines originating from metalworking fluids. Dermal and aerosol data come from: https://doi.org/10.1093/annhyg/mel079, https://doi.org/10.1093/annhyg/meg006

Working with molten metals (refinery, production):
This scenario summarizes workplaces with molten metals, especially during refinery, melting processes and production. The data describes different substances with a focus on nickel and different tasks, e.g. furnace operating, alloy handling or cathode lifting. Exposure data refers to metals. Dermal and aerosol data come from: https://doi.org/10.1039/b408464k, An occupational hygiene assessment of dermal nickel exposures in primary production industries (Hughson 2004), Inadvertent ingestion exposure to hazardous substances in the workplace (Thesis: Christopher 2008), An occupational hygiene assessment of dermal inorganic lead exposures in primary and intermediate user industries (Hughson, 2005), An occupational hygiene assessment of dermal nickel exposures in primary production and primary user industries (Hughson, 2005), https://doi.org/10.1093/annweh/wxx071

IV.5 Exemplarische Erprobung des Modells

Tabelle IV.16: Exemplarische Erprobung des Modells. Neben Szenarium, Probenahmemethode, Messwert und Berechnungsergebnis wird das Verhältnis aus Berechnungsergebnis und Messwert angegeben. Auf eine Rundung der berechneten oralen Exposition gemäß Abschnitt 5.4 wurde hier verzichtet, um ein möglichst aussagekräftiges Verhältnis der Werte ableiten zu können. AM / EW / Md: Arithmetisches Mittel / Einzelwert / Median; GM: Geometrisches Mittel; Min: Minimum; Max: Maximum.

Szenarium	**Probenahme**	**Messwert** [$\mathrm{mg\,h^{-1}}$]	**Berechnung** [$\mathrm{mg\,h^{-1}}$]	**Verhältnis**	**Stat. Größe**
Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen	Perioral	0,014	0,635	44,21	AM / EM / Md
Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen	Speichel / Mundspülung	$1{,}8 \cdot 10^{-4}$	0,635	3628,57	AM / EM / Md
Arbeiten mit Antineoplastika	Perioral	$1{,}6 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	1,90	AM / EM / Md
Arbeiten mit Antineoplastika	Speichel / Mundspülung	$1{,}8 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-6}$	163,91	AM / EM / Md
Arbeiten mit geschmolzenen Metallen (Raffinerie, Produktion)	Perioral	0,013	1,210	95,84	AM / EM / Md
Arbeiten mit geschmolzenen Metallen (Raffinerie, Produktion)	Probenahme unter Fingernagel	0,018	1,210	68,90	AM / EM / Md
Arbeiten mit geschmolzenen Metallen (Raffinerie, Produktion)	Speichel / Mundspülung	$1{,}2 \cdot 10^{-3}$	1,210	1052,17	AM / EM / Md
Einfüllen, sprühen von Pestiziden	Perioral	$3{,}8 \cdot 10^{-5}$	0,009	242,86	AM / EM / Md
Einfüllen, sprühen von Pestiziden	Speichel / Mundspülung	$3{,}9 \cdot 10^{-5}$	0,009	233,67	AM / EM / Md
Hochdruckreinigen	Biomonitoring (Urin)	875	8363,957	9,56	AM / EM / Md

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle IV.16 – Fortführung

Szenarium	**Probenahme**	**Messwert** [$\mathrm{mg\,h^{-1}}$]	**Berechnung** [$\mathrm{mg\,h^{-1}}$]	**Verhältnis**	**Stat. Größe**
Produzieren von Batterien	Lippen	0,083	0,442	5,32	AM / EM / Md
Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen	Speichel / Mundspülung	$1 \cdot 10^{-4}$	0,635	5080	GM
Arbeiten mit geschmolzenen Metallen (Raffinerie, Produktion)	Perioral	0,005	1,210	230,48	GM
Arbeiten mit geschmolzenen Metallen (Raffinerie, Produktion)	Speichel	$8 \cdot 10^{-4}$	1,210	1444,78	GM
Beschichten von Metallen	Perioral	$2 \cdot 10^{-4}$	0,114	735,48	GM
Einfüllen, sprühen von Pestiziden	Perioral	$5 \cdot 10^{-5}$	0,009	182,15	GM
Hochdruckreinigen	Biomonitoring (Urin)	450	8363,957	18,59	GM
Produzieren von Batterien	Lippen	$4{,}5 \cdot 10^{-6}$	0,442	98 222,22	GM
Reparieren von Metallbauteilen	Perioral	$4 \cdot 10^{-4}$	0,059	168,57	GM
Arbeiten mit geschmolzenen Metallen	Perioral	$7 \cdot 10^{-4}$	1,21	1668,97	Min
Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen	Perioral	$8 \cdot 10^{-4}$	0,635	832,79	Min
Einfüllen, sprühen von Pestiziden	Perioral	$9 \cdot 10^{-7}$	0,009	10 714,55	Min
Reparieren von Metallbauteilen	Perioral	$5 \cdot 10^{-4}$	0,059	111,32	Min
Beschichten von Metallen	Perioral	$9 \cdot 10^{-5}$	0,114	1266,67	Min

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle IV.16 – Fortführung

Szenarium	**Probenahme**	**Messwert** [$mg\,h^{-1}$]	**Berechnung** [$mg\,h^{-1}$]	**Verhältnis**	**Stat. Größe**
Arbeiten mit geschmolzenen Metallen	Speichel / Mundspülung	$2 \cdot 10^{-4}$	1,21	8066,67	Min
Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen	Speichel / Mundspülung	$5 \cdot 10^{-5}$	0,635	12 700	Min
Einfüllen, sprühen von Pestiziden	Speichel / Mundspülung	$2 \cdot 10^{-6}$	0,009	5204,21	Min
Arbeiten mit Antineoplastika	Speichel / Mundspülung	0	$3 \cdot 10^{-6}$	-	Min
Arbeiten mit geschmolzenen Metallen	Perioral	0,034	1,210	35,62	Max
Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen	Perioral	0,120	0,635	5,29	Max
Einfüllen, sprühen von Pestiziden	Perioral	0,002	0,009	5,20	Max
Reparieren von Metallbauteilen	Perioral	0,001	0,059	54,00	Max
Beschichten von Metallen	Perioral	0,001	0,114	203,57	Max
Arbeiten mit Antineoplastika	Perioral	$2 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-6}$	14,85	Max
Arbeiten mit geschmolzenen Metallen	Speichel / Mundspülung	0,004	1,210	302,50	Max
Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen	Speichel / Mundspülung	$3 \cdot 10^{-4}$	0,635	1953,85	Max
Einfüllen, sprühen von Pestiziden	Speichel / Mundspülung	$1 \cdot 10^{-4}$	0,009	72,86	Max
Arbeiten mit Antineoplastika	Speichel / Mundspülung	$2{,}6 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-6}$	11,32	Max
Hochdruckreinigen	Biomonitoring (Urin)	18 950,0	8363,957	0,44	Max

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle IV.16 – Fortführung

Szenarium	Probenahme	Messwert [mg h^{-1}]	Berechnung [mg h^{-1}]	Verhältnis	Stat. Größe
Hochdruckreinigen	Biomonitoring (Urin)	95,0	8363,957	88,04	10. Perzentil
Arbeiten mit geschmolzenen Metallen	Perioral	0,025	1,210	48,52	90. Perzentil
Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen	Perioral	0,099	0,635	6,41	90. Perzentil
Hochdruckreinigen	Biomonitoring (Urin)	9195,0	8363,957	0,91	90. Perzentil
Hochdruckreinigen	Biomonitoring (Urin)	9650,0	8363,957	0,87	95. Perzentil

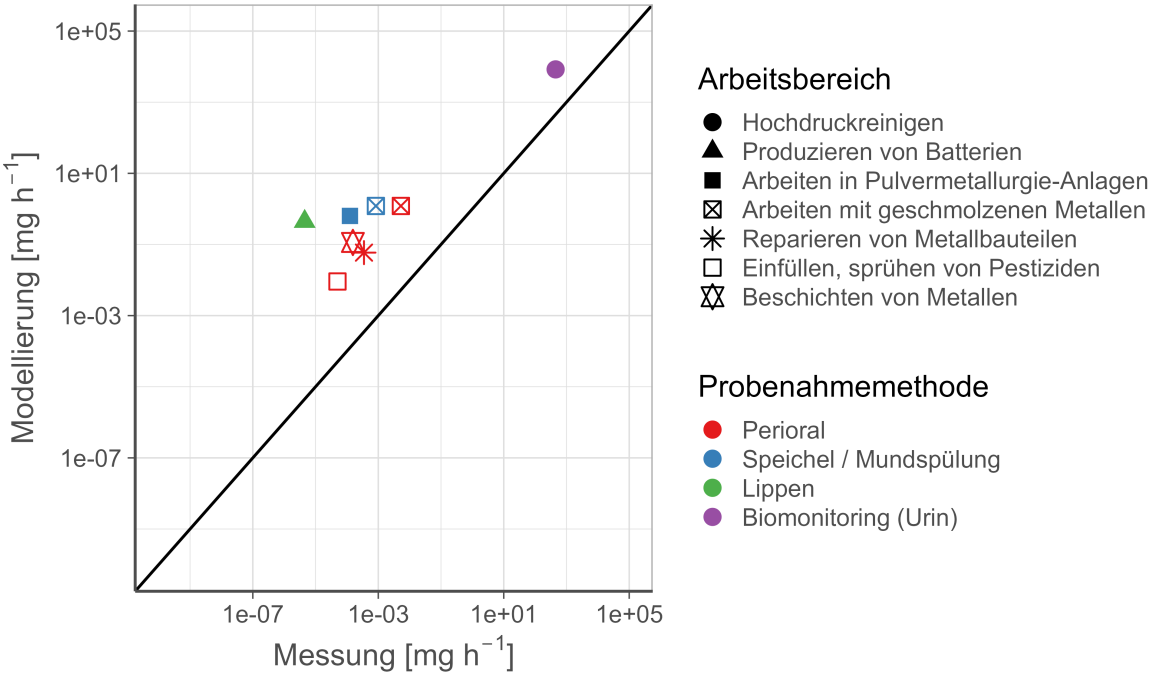


Abbildung IV.1: Gegenüberstellung von Modell- und Messergebnissen. Unterschieden werden Probenahmemethoden und Szenarien. Diagonal ist für einen einfacheren Vergleich die 1:1-Linie dargestellt. Beide Skalen sind logarithmisch. Die Messdaten sind geometrische Mittelwerte.

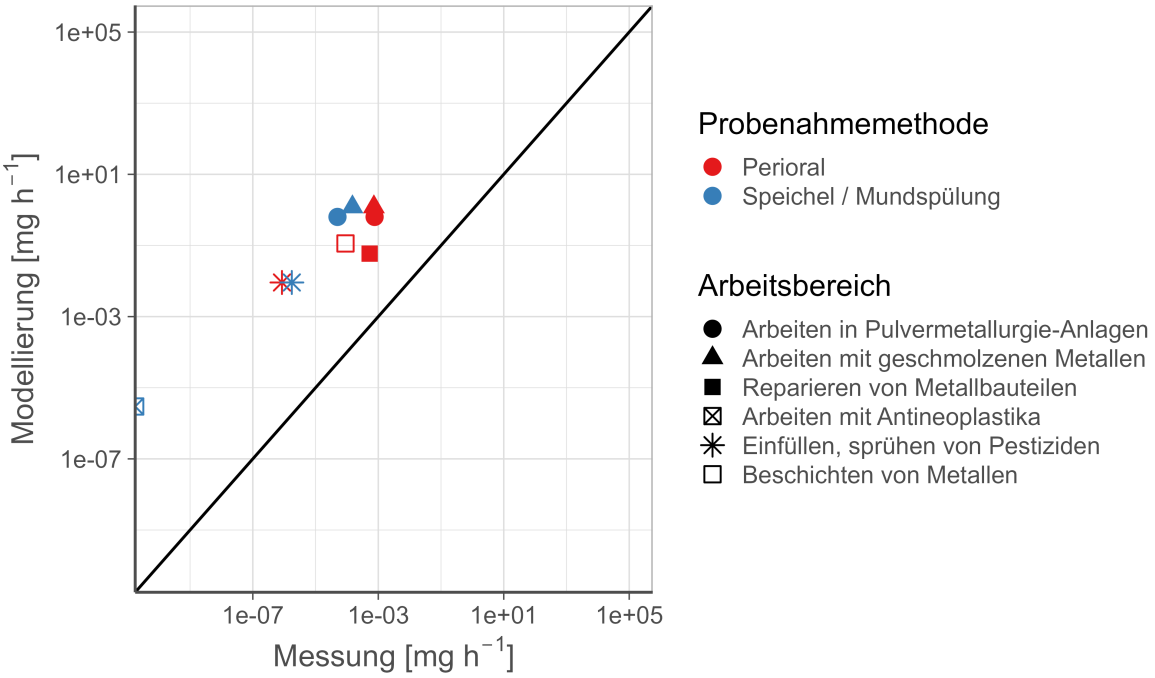


Abbildung IV.2: Gegenüberstellung von Modell- und Messergebnissen. Unterschieden werden Probenahmemethoden und Szenarien. Diagonal ist für einen einfacheren Vergleich die 1:1-Linie dargestellt. Beide Skalen sind logarithmisch. Die Messdaten sind Minima.

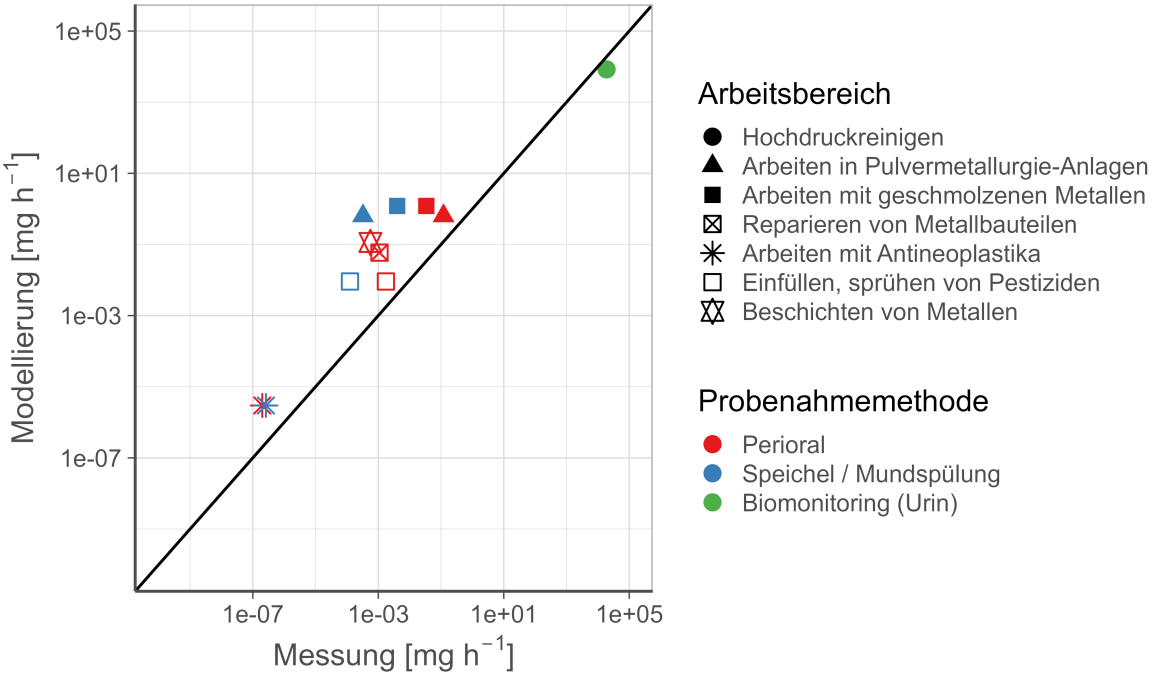


Abbildung IV.3: Gegenüberstellung von Modell- und Messergebnissen. Unterschieden werden Probenahmemethoden und Szenarien. Diagonal ist für einen einfacheren Vergleich die 1:1-Linie dargestellt. Beide Skalen sind logarithmisch. Die Messdaten sind Maxima.

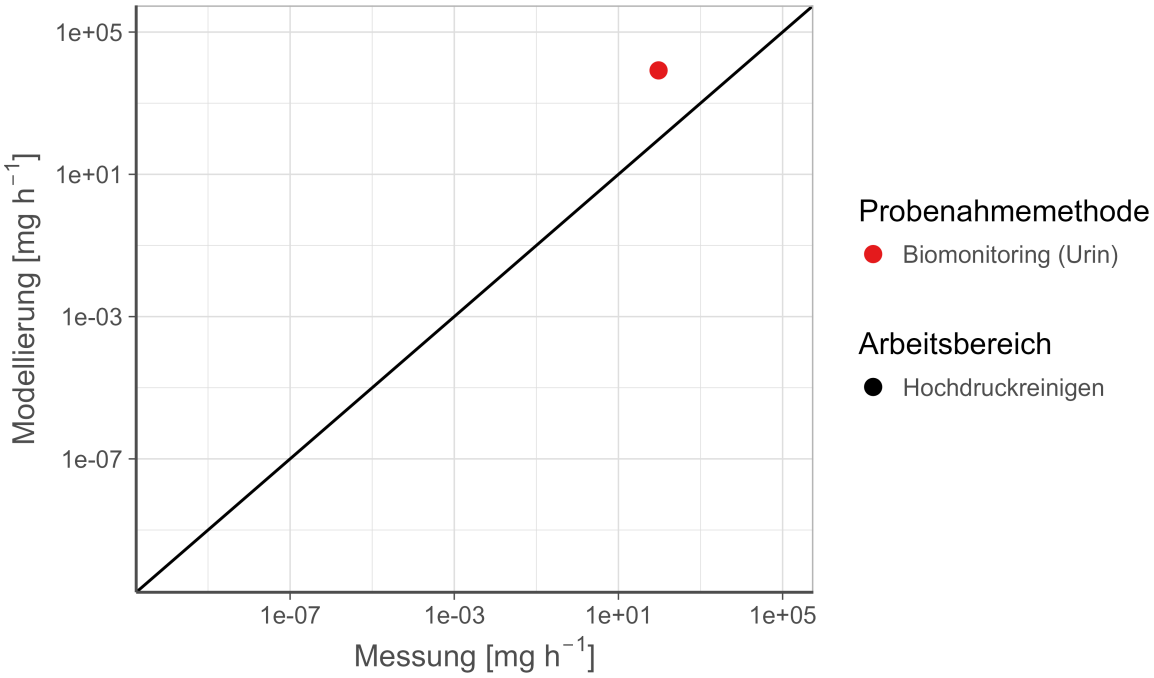


Abbildung IV.4: Gegenüberstellung von Modell- und Messergebnissen. Unterschieden werden Probenahmemethoden und Szenarien. Diagonal ist für einen einfacheren Vergleich die 1:1-Linie dargestellt. Beide Skalen sind logarithmisch. Die Messdaten sind 10. Perzentile.

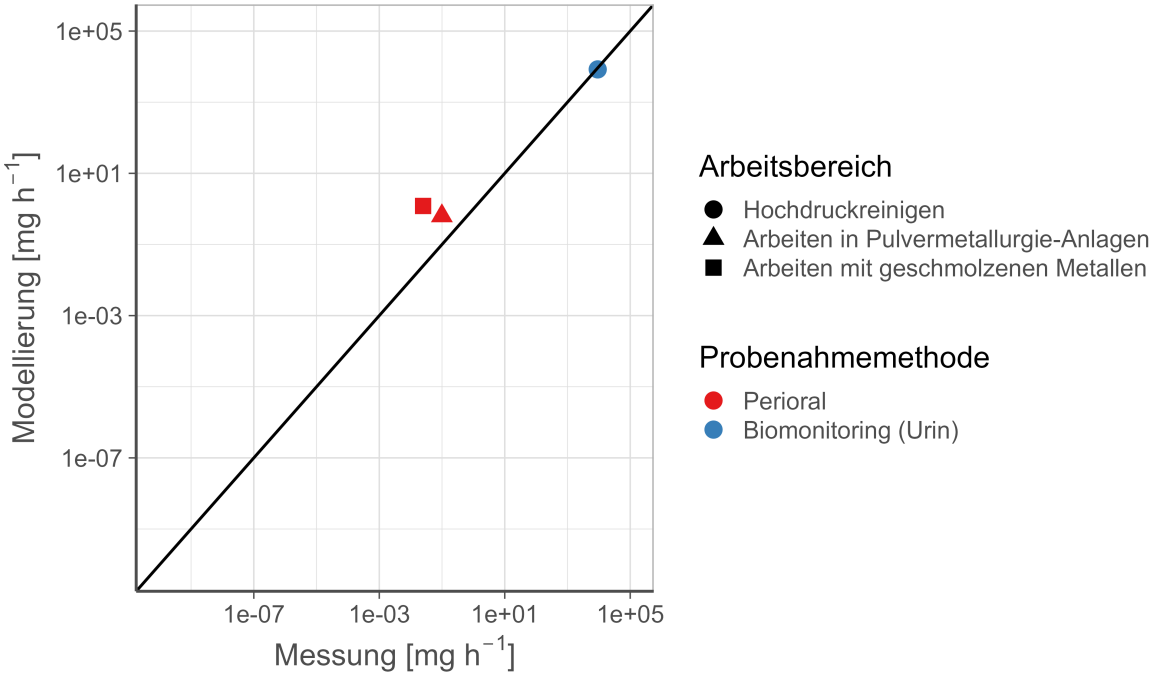


Abbildung IV.5: Gegenüberstellung von Modell- und Messergebnissen. Unterschieden werden Probenahmemethoden und Szenarien. Diagonal ist für einen einfacheren Vergleich die 1:1-Linie dargestellt. Beide Skalen sind logarithmisch. Die Messdaten sind 90. Perzentile.

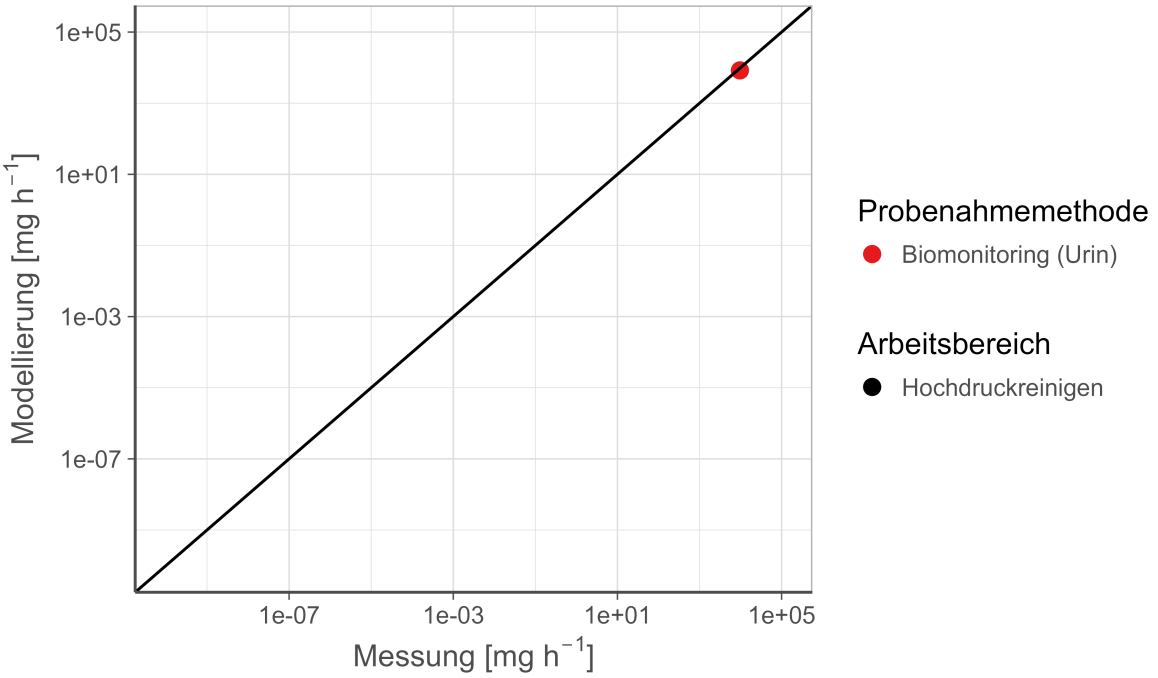


Abbildung IV.6: Gegenüberstellung von Modell- und Messergebnissen. Unterschieden werden Probenahmemethoden und Szenarien. Diagonal ist für einen einfacheren Vergleich die 1:1-Linie dargestellt. Beide Skalen sind logarithmisch. Die Messdaten sind 95. Perzentile.

IV.6 Identifikation einflussreicher Modellparameter

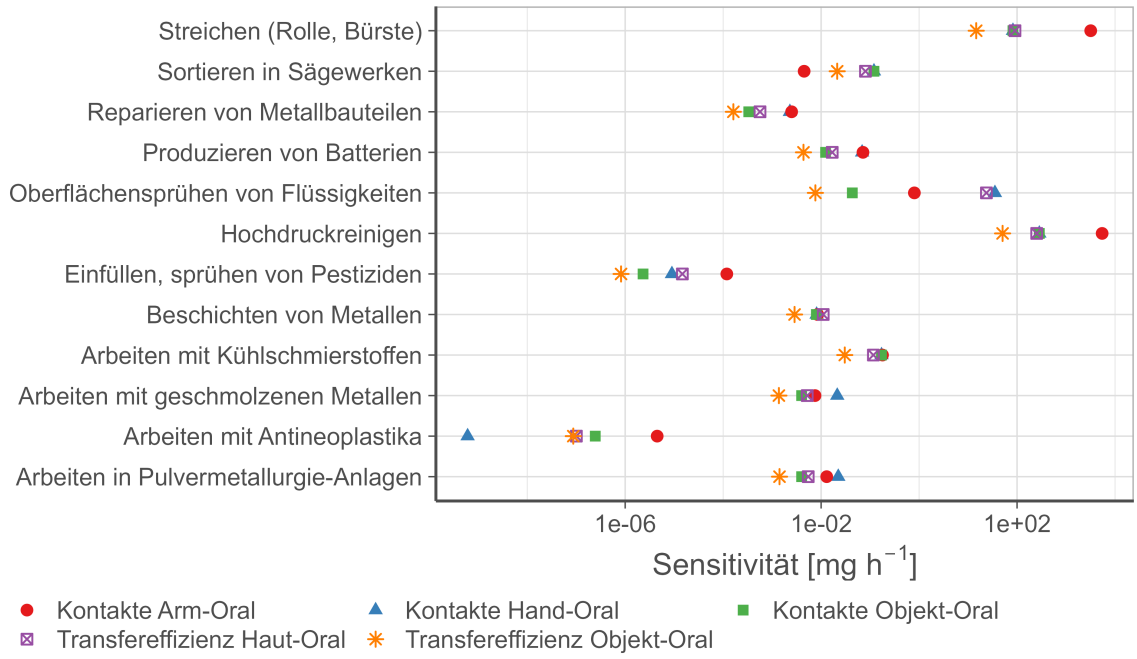


Abbildung IV.7: Die lineare Sensitivität beschreibt das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse für alle Standard-Szenarien und variierten Modellparameter. Die Sensitivität ist logarithmisch aufgetragen.

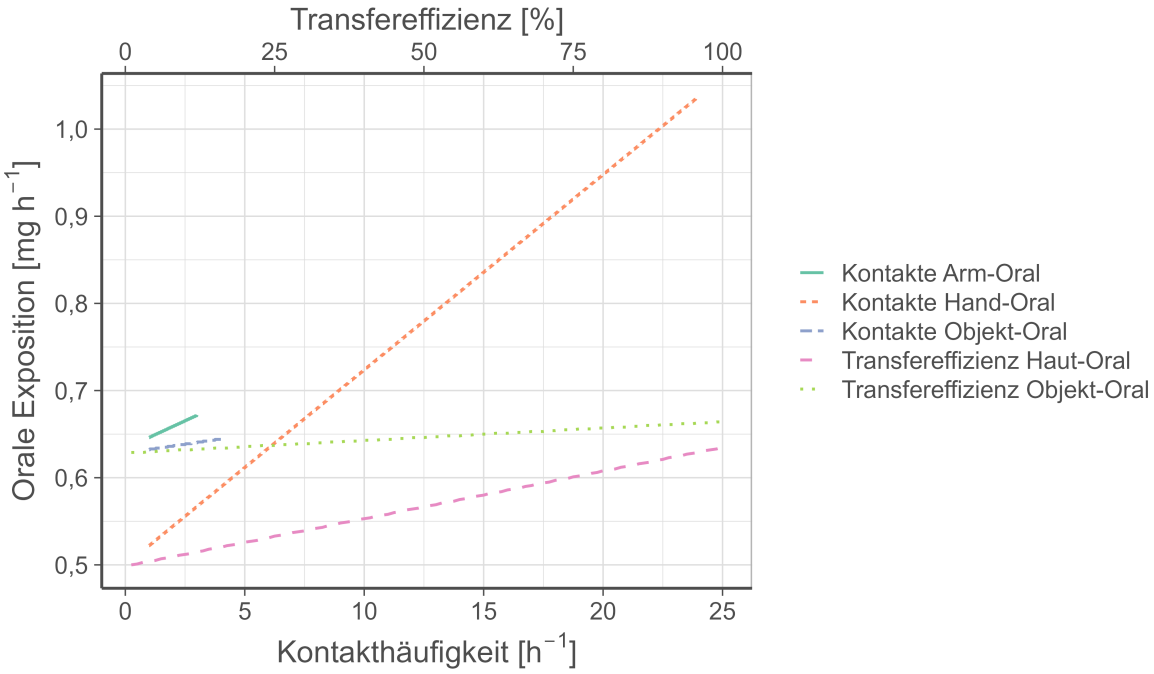


Abbildung IV.8: Sensitivitätsanalyse für Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen. Kontakthäufigkeiten sind auf der unteren, Transfereffizienzen auf der oberen Achse aufgetragen.

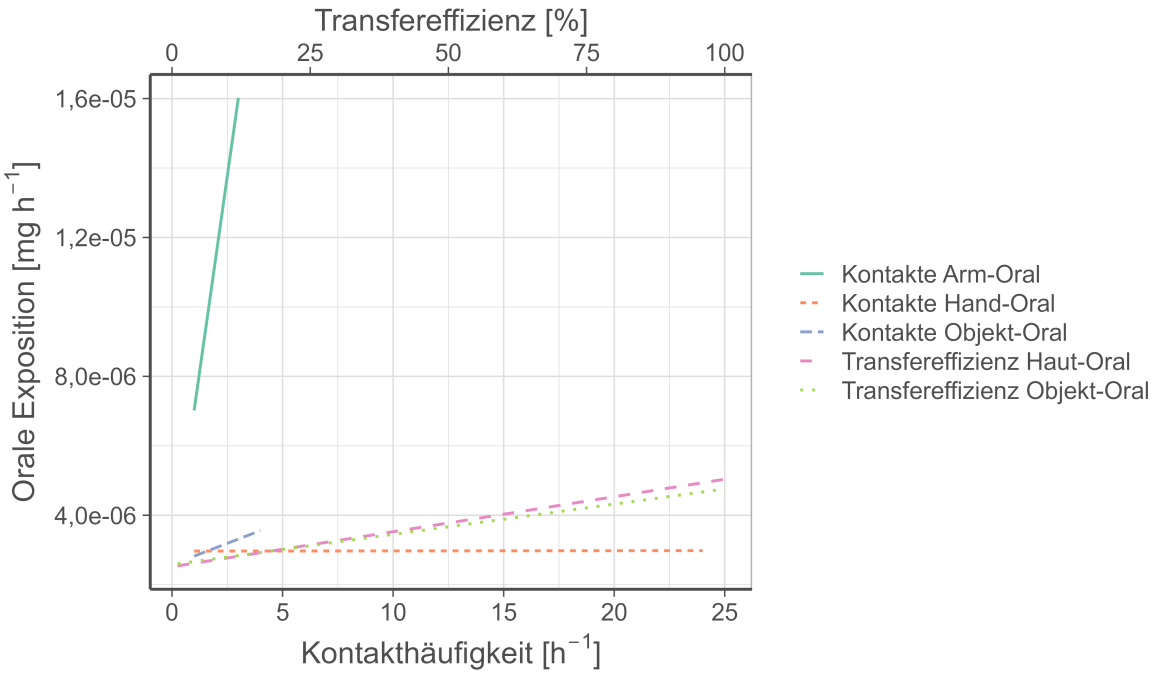


Abbildung IV.9: Sensitivitätsanalyse für Arbeiten mit Antineoplastika. Kontakthäufigkeiten sind auf der unteren, Transfereffizienzen auf der oberen Achse aufgetragen.

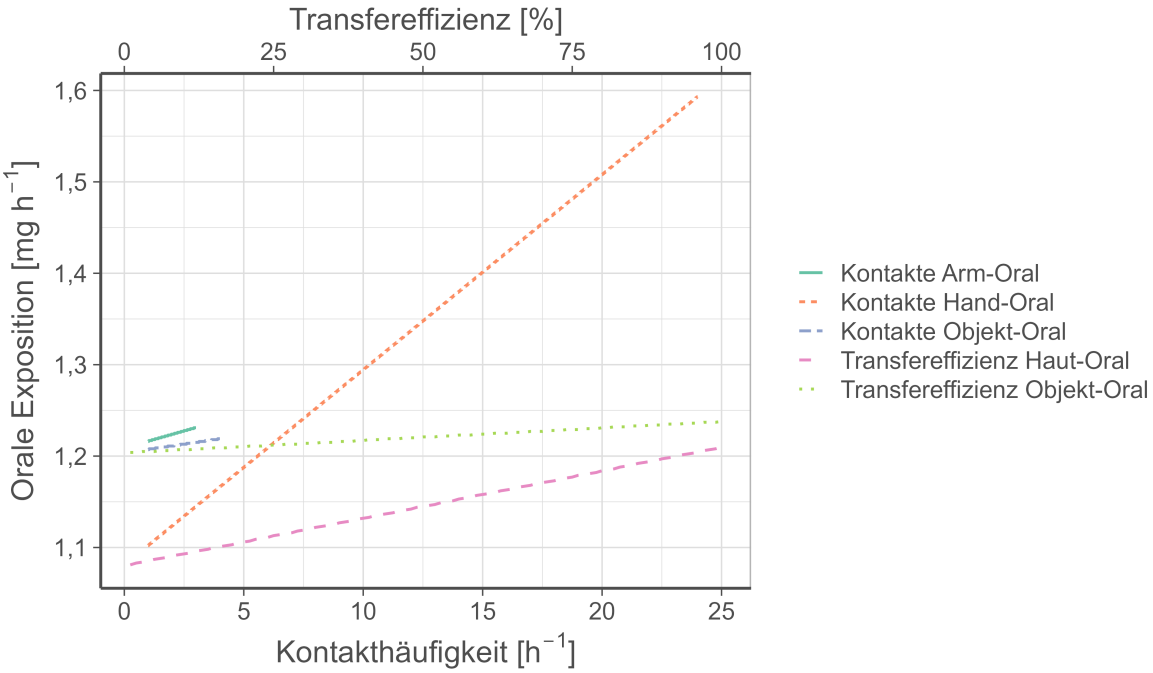


Abbildung IV.10: Sensitivitätsanalyse für Arbeiten mit geschmolzenen Metallen. Kontakthäufigkeiten sind auf der unteren, Transfereffizienzen auf der oberen Achse aufgetragen.

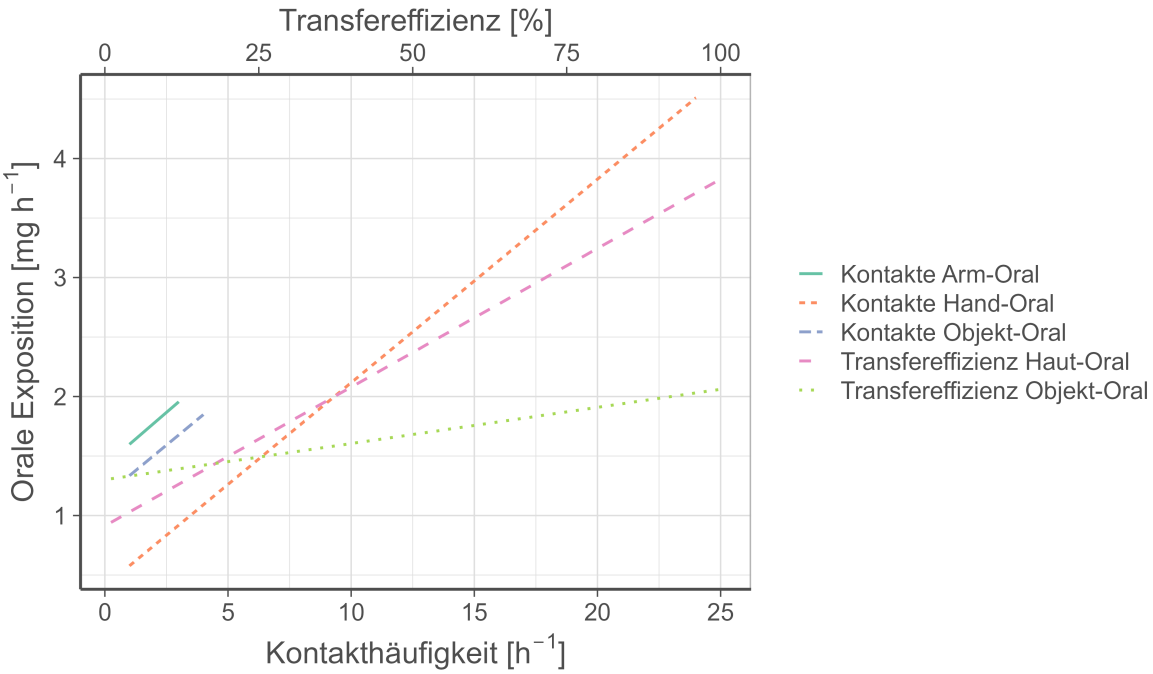


Abbildung IV.11: Sensitivitätsanalyse für Arbeiten mit Kühlschmierstoffen. Kontakthäufigkeiten sind auf der unteren, Transfereffizienzen auf der oberen Achse aufgetragen.

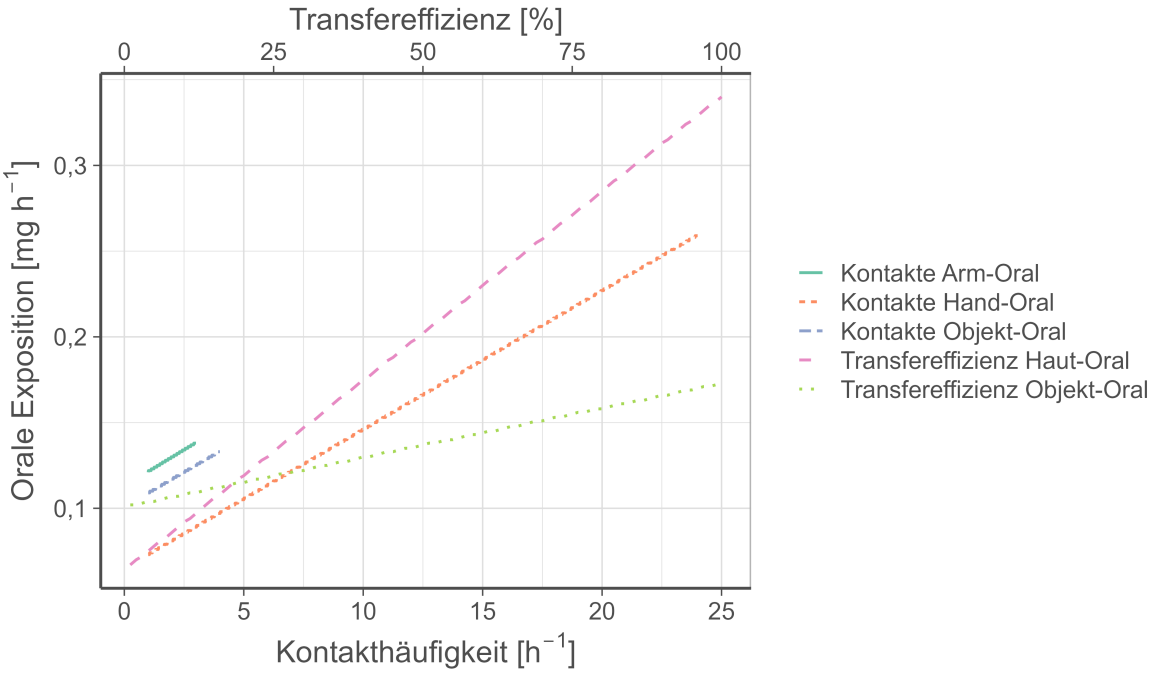


Abbildung IV.12: Sensitivitätsanalyse für Beschichten von Metallen. Kontakthäufigkeiten sind auf der unteren, Transfereffizienzen auf der oberen Achse aufgetragen.

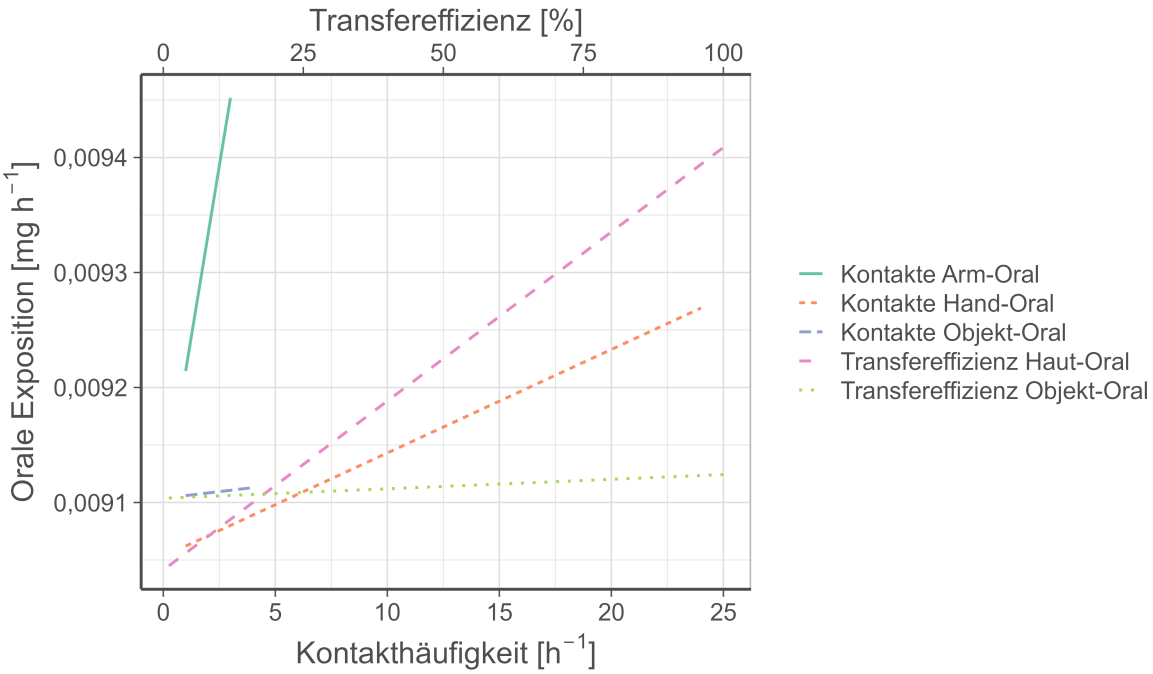


Abbildung IV.13: Sensitivitätsanalyse für Einfüllen, sprühen von Pestiziden. Kontakthäufigkeiten sind auf der unteren, Transfereffizienzen auf der oberen Achse aufgetragen.

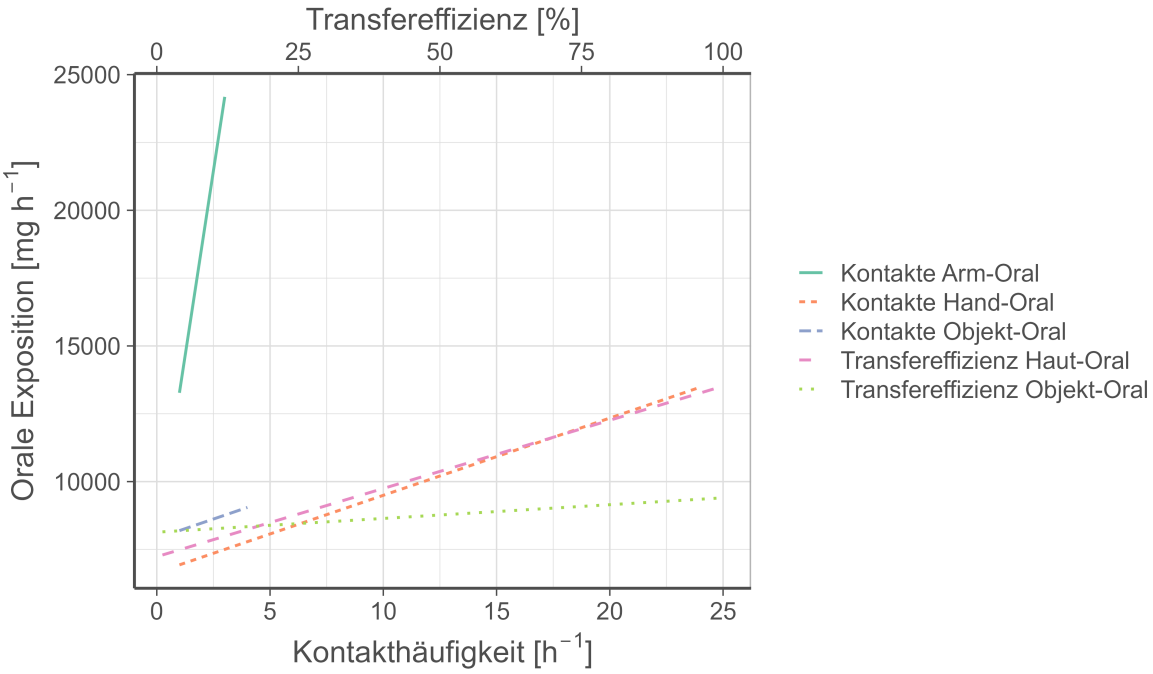


Abbildung IV.14: Sensitivitätsanalyse für Hochdruckreinigen. Kontakthäufigkeiten sind auf der unteren, Transfereffizienzen auf der oberen Achse aufgetragen.

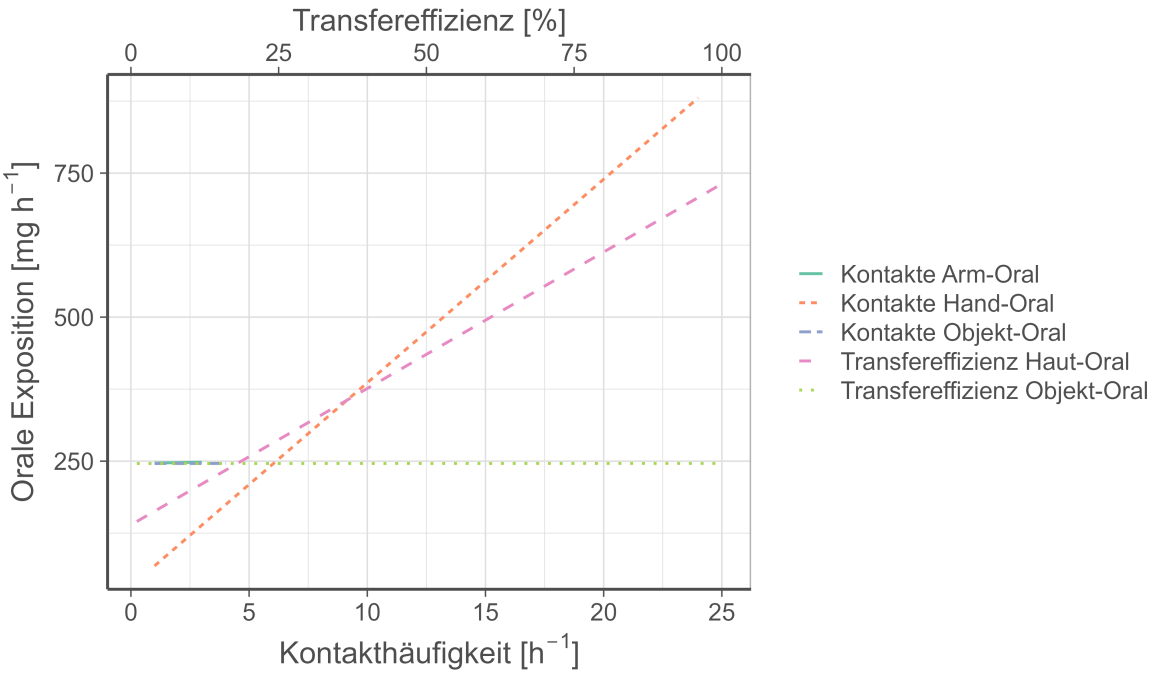


Abbildung IV.15: Sensitivitätsanalyse für Oberflächensprühen von Flüssigkeiten. Kontakthäufigkeiten sind auf der unteren, Transfereffizienzen auf der oberen Achse aufgetragen.

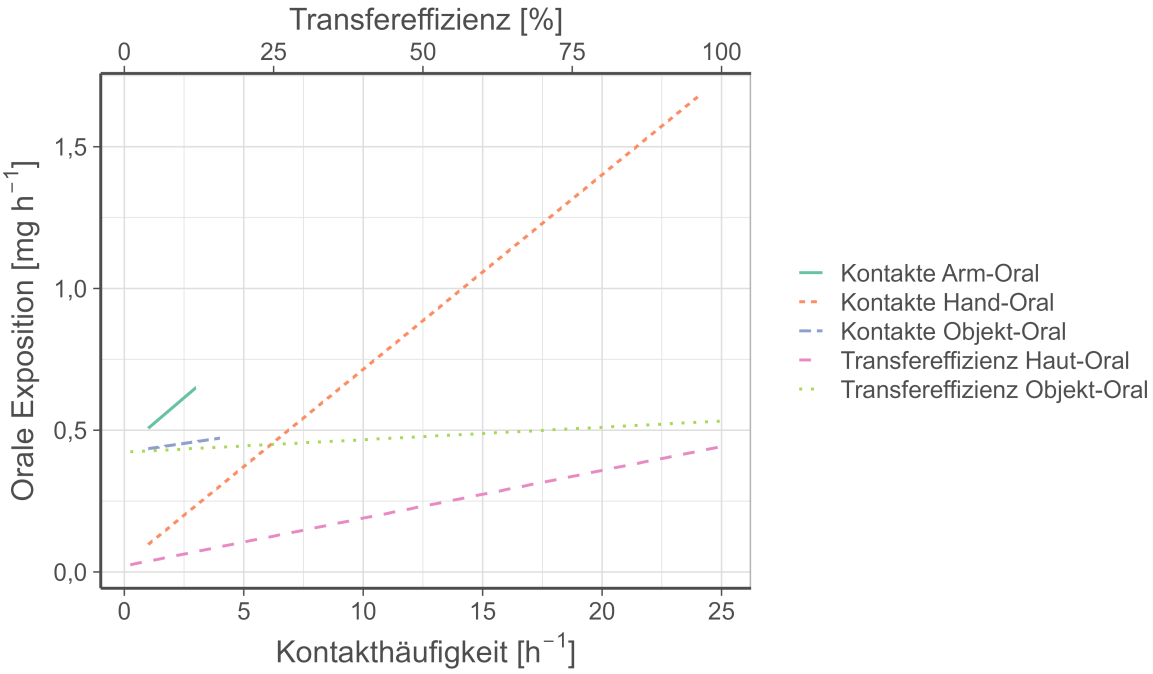


Abbildung IV.16: Sensitivitätsanalyse für Produzieren von Batterien. Kontakthäufigkeiten sind auf der unteren, Transfereffizienzen auf der oberen Achse aufgetragen.

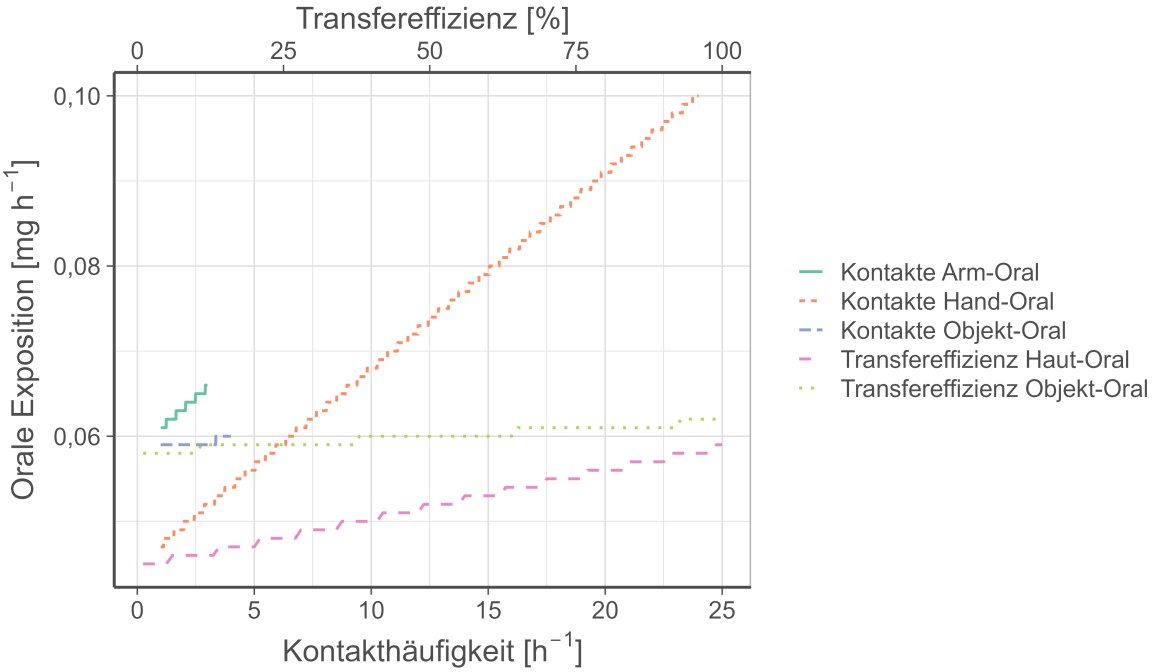


Abbildung IV.17: Sensitivitätsanalyse für Reparieren von Metallbauteilen. Kontakthäufigkeiten sind auf der unteren, Transfereffizienzen auf der oberen Achse aufgetragen.

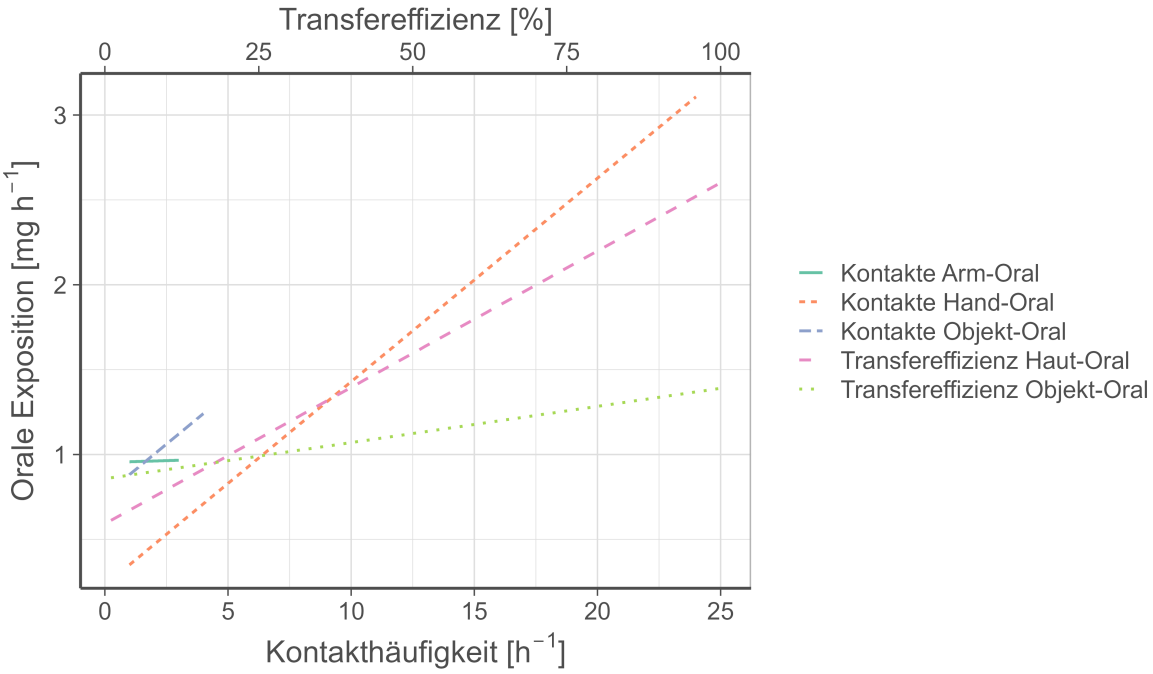


Abbildung IV.18: Sensitivitätsanalyse für Sortieren in Sägewerken. Kontakthäufigkeiten sind auf der unteren, Transfereffizienzen auf der oberen Achse aufgetragen.

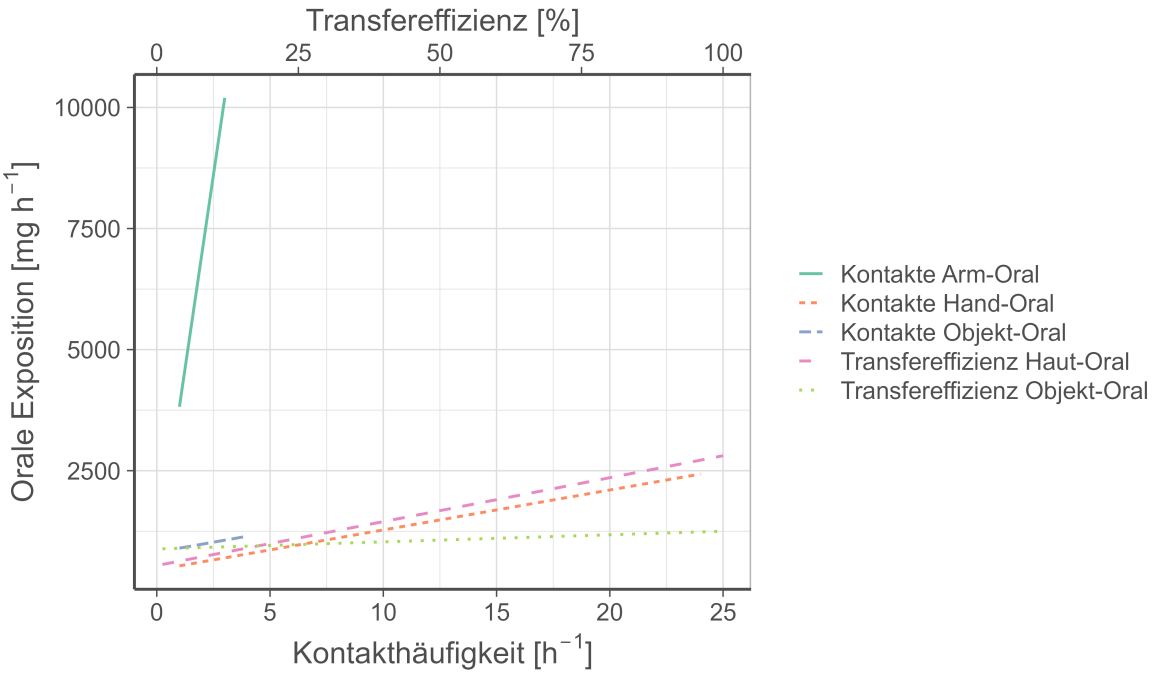


Abbildung IV.19: Sensitivitätsanalyse für Streichen (Rolle, Bürste). Kontakthäufigkeiten sind auf der unteren, Transfereffizienzen auf der oberen Achse aufgetragen.

Tabelle IV.17: Ergebnisse der relativen Sensitivitätsanalyse für alle Standard-Szenarien. Eingabe und Ausgabe beziehen sich jeweils auf die relative Änderung der Parameter bzw. Berechnungsergebnisse. Die letzte Spalte gibt danach das Verhältnis aus relativer Änderung der Ausgabe zur relativen Änderung der Eingabe an. Fett hervorgehoben ist jeweils das Maximum dieses Verhältnisses je Standard-Szenarium.

Szenarium	Parameter	Eingabe	Ausgabe	Ausgabe : Eingabe
Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen	Kontakte Hand-Oral	24	2,0	0,08
Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen	Kontakte Arm-Oral	3	1,0	**0,35**
Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen	Kontakte Objekt-Oral	4	1,0	0,25
Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen	TE Haut-Oral	100	1,3	0,01
Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen	TE Objekt-Oral	100	1,1	0,01
Arbeiten mit Antineoplastika	Kontakte Hand-Oral	24	1,0	0,04
Arbeiten mit Antineoplastika	Kontakte Arm-Oral	3	2,3	**0,76**
Arbeiten mit Antineoplastika	Kontakte Objekt-Oral	4	1,3	0,32
Arbeiten mit Antineoplastika	Transfereffizienz Haut-Oral	100	2,0	0,02
Arbeiten mit Antineoplastika	Transfereffizienz Objekt-Oral	100	1,8	0,02
Arbeiten mit geschmolzenen Metallen	Kontakte Hand-Oral	24	1,4	0,06
Arbeiten mit geschmolzenen Metallen	Kontakte Arm-Oral	3	1,0	**0,34**
Arbeiten mit geschmolzenen Metallen	Kontakte Objekt-Oral	4	1,0	0,25
Arbeiten mit geschmolzenen Metallen	Transfereffizienz Haut-Oral	100	1,1	0,01
Arbeiten mit geschmolzenen Metallen	Transfereffizienz Objekt-Oral	100	1,0	0,01
Arbeiten mit Kühlschmierstoffen	Kontakte Hand-Oral	24	7,8	0,33
Arbeiten mit Kühlschmierstoffen	Kontakte Arm-Oral	3	1,2	**0,41**
Arbeiten mit Kühlschmierstoffen	Kontakte Objekt-Oral	4	1,4	0,35
Arbeiten mit Kühlschmierstoffen	Transfereffizienz Haut-Oral	100	4,1	0,04
Arbeiten mit Kühlschmierstoffen	Transfereffizienz Objekt-Oral	100	1,6	0,02

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle IV.17 – Fortführung

Szenarium	Parameter	Eingabe	Ausgabe	Ausgabe : Eingabe
Beschichten von Metallen	Kontakte Hand-Oral	24	3,5	0,15
Beschichten von Metallen	Kontakte Arm-Oral	3	1,1	**0,38**
Beschichten von Metallen	Kontakte Objekt-Oral	4	1,2	0,31
Beschichten von Metallen	Transfereffizienz Haut-Oral	100	5,1	0,05
Beschichten von Metallen	Transfereffizienz Objekt-Oral	100	1,7	0,02
Einfüllen, sprühen von Pestiziden	Kontakte Hand-Oral	24	1,0	0,04
Einfüllen, sprühen von Pestiziden	Kontakte Arm-Oral	3	1,0	**0,34**
Einfüllen, sprühen von Pestiziden	Kontakte Objekt-Oral	4	1,0	0,25
Einfüllen, sprühen von Pestiziden	Transfereffizienz Haut-Oral	100	1,0	0,01
Einfüllen, sprühen von Pestiziden	Transfereffizienz Objekt-Oral	100	1,0	0,01
Hochdruckreinigen	Kontakte Hand-Oral	24	1,9	0,08
Hochdruckreinigen	Kontakte Arm-Oral	3	1,8	**0,61**
Hochdruckreinigen	Kontakte Objekt-Oral	4	1,1	0,28
Hochdruckreinigen	Transfereffizienz Haut-Oral	100	1,9	0,02
Hochdruckreinigen	Transfereffizienz Objekt-Oral	100	1,2	0,01
Oberflächensprühen von Flüssigkeiten	Kontakte Hand-Oral	24	12,9	**0,54**
Oberflächensprühen von Flüssigkeiten	Kontakte Arm-Oral	3	1,0	0,34
Oberflächensprühen von Flüssigkeiten	Kontakte Objekt-Oral	4	1,0	0,25
Oberflächensprühen von Flüssigkeiten	Transfereffizienz Haut-Oral	100	5,0	0,05
Oberflächensprühen von Flüssigkeiten	Transfereffizienz Objekt-Oral	100	1,0	0,01
Produzieren von Batterien	Kontakte Hand-Oral	24	17,3	**0,72**
Produzieren von Batterien	Kontakte Arm-Oral	3	1,3	0,43

Fortgeführt auf Folgeseite

Tabelle IV.17 – Fortführung

Szenarium	Parameter	Eingabe	Ausgabe	Ausgabe : Eingabe
Produzieren von Batterien	Kontakte Objekt-Oral	4	1,1	0,27
Produzieren von Batterien	Transfereffizienz Haut-Oral	100	17,7	0,18
Produzieren von Batterien	Transfereffizienz Objekt-Oral	100	1,3	0,01
Reparieren von Metallbauteilen	Kontakte Hand-Oral	24	2,1	0,09
Reparieren von Metallbauteilen	Kontakte Arm-Oral	3	1,1	**0,36**
Reparieren von Metallbauteilen	Kontakte Objekt-Oral	4	1,0	0,25
Reparieren von Metallbauteilen	Transfereffizienz Haut-Oral	100	1,3	0,01
Reparieren von Metallbauteilen	Transfereffizienz Objekt-Oral	100	1,1	0,01
Sortieren in Sägewerken	Kontakte Hand-Oral	24	8,9	**0,37**
Sortieren in Sägewerken	Kontakte Arm-Oral	3	1,0	0,34
Sortieren in Sägewerken	Kontakte Objekt-Oral	4	1,4	0,35
Sortieren in Sägewerken	Transfereffizienz Haut-Oral	100	4,3	0,04
Sortieren in Sägewerken	Transfereffizienz Objekt-Oral	100	1,6	0,02
Streichen (Rolle, Bürste)	Kontakte Hand-Oral	24	4,5	0,19
Streichen (Rolle, Bürste)	Kontakte Arm-Oral	3	2,7	**0,89**
Streichen (Rolle, Bürste)	Kontakte Objekt-Oral	4	1,3	0,32
Streichen (Rolle, Bürste)	Transfereffizienz Haut-Oral	100	5,0	0,05
Streichen (Rolle, Bürste)	Transfereffizienz Objekt-Oral	100	1,4	0,01

IV.7 Gegenüberstellung der Expositionspfade

Tabelle IV.18: Vergleich der oralen, dermalen und inhalativen Variabilität. Mediane, 75. Perzentile (75 P.) sowie 90. Perzentile (90 P.) stellen aggregierte Werte der Variabilität zwischen und innerhalb von Beschäftigten für inhalative und dermale Exposition dar. Verhaltensbasierte Variabilitätsdaten resultieren aus der Monte Carlo-Simulation zu oraler Exposition.

Pfad	**Variabilität / Szenarium**	**Median**	**75. P.**	**90. P.**	**Verhaltens-basiert**
Inhalativ	zwischen	0,32	0,94	1,89	-
Inhalativ	innerhalb	0,79	1,15	1,91	-
Dermal	zwischen	0,27	4,57	6,43	-
Dermal	innerhalb	0,65	2,15	3,12	-
Oral	Hochdruckreinigen	-	-	-	1,33
Oral	Produzieren von Batterien	-	-	-	1,89
Oral	Beschichten von Metallen	-	-	-	1,22
Oral	Arbeiten in Pulvermetallurgie-Anlagen	-	-	-	1,08
Oral	Arbeiten mit geschmolzenen Metallen (Raffinerie, Produktion)	-	-	-	1,04
Oral	Reparieren von Metallbauteilen	-	-	-	1,09
Oral	Arbeiten mit Kühlschmierstoffen	-	-	-	1,53
Oral	Arbeiten mit Antineoplastika	-	-	-	1,63
Oral	Einfüllen, sprühen von Pestiziden	-	-	-	1,01
Oral	Streichen (Rolle, Bürste)	-	-	-	3,01
Oral	Sortieren in Sägewerken	-	-	-	1,60
Oral	Oberflächensprühen von Flüssigkeiten	-	-	-	1,59

Literatur

[1] Y. Christopher. „Inadvertent ingestion exposure to hazardous substances in the workplace“. Dissertation. Aberdeen: University of Aberdeen, 2008.

[2] G. W. Hughson. *An occupational hygiene assessment of dermal nickel exposures in primary production industries*. Research Report TM/04/05. https://www.iom-world.org/wp-content/uploads/2024/04/IOM_TM0405.pdf. Institute of Occupational Medicine, 2004.

[3] S. Dugheri u. a. „A Qualitative and Quantitative Occupational Exposure Risk Assessment to Hazardous Substances during Powder-Bed Fusion Processes in Metal-Additive Manufacturing“. In: *Safety* 8.2 (2022). DOI: 10.3390/safety8020032.

[4] W. Fransman, R. Vermeulen und H. Kromhout. „Dermal exposure to cyclophosphamide in hospitals during preparation, nursing and cleaning activities“. In: *Int Arch Occup Environ Health* 78 (2005), S. 403–412. DOI: https://doi.org/10.1007/s00420-004-0595-1.

[5] C. Sottani u. a. „Occupational exposure to antineoplastic drugs in four Italian health care settings“. In: *Toxicol. Lett.* 213.1 (2012), S. 107–115. DOI: https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2011.03.028.

[6] F. Labrèche u. a. „Occupational exposure to antineoplastic drugs: what about hospital sanitation personnel?“ In: *Int Arch Occup Environ Health* 94 (2021), S. 1877–88. DOI: https://doi.org/10.1007/s00420-021-01731-w.

[7] A. F. Villa u. a. „Evaluation of oxaliplatin exposure of healthcare workers during heated intraperitoneal perioperative chemotherapy (HIPEC)“. In: *Ind. Health* 53.1 (2015), S. 28–37. DOI: 10.2486/indhealth.2014-0025.

[8] G. W. Hughson. *An occupational hygiene assessment of dermal inorganic lead exposures in primary and intermediate user industries*. Research Report TM/04/06. https://www.iom-world.org/wp-content/uploads/2024/04/IOM_TM0406.pdf. 2005.

[9] G. W. Hughson. *An occupational hygiene assessment of dermal nickel exposures in primary production and primary user industries. Phase 2 Report*. Research Report TM/05/06. https://www.iom-world.org/wp-content/uploads/2024/04/IOM_TM0506.pdf. Institute of Occupational Medicine, 2005.

[10] M. Gorman Ng u. a. „Field measurements of inadvertent ingestion exposure to metals“. In: *Ann. Work Expo. Health* 61.9 (2017), S. 1097–1107. DOI: 10.1093/annweh/wxx071.

[11] Y. Thomassen u. a. „Multi-component assessment of worker exposures in a copper refinery Part 1. Environmental monitoring“. In: *J. Environ. Monit.* 6.12 (2004), S. 985–991. DOI: 10.1039/B408464K.

[12] M.-L. Henriks-Eckerman u. a. „Determination of Occupational Exposure to Alkanolamines in Metal-Working Fluids“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 51.2 (2006), S. 153–160. DOI: 10.1093/annhyg/mel079.

[13] A. T. Simpson u. a. „Occupational Exposure to Metalworking Fluid Mist and Sump Fluid Contaminants“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 47.1 (2003), S. 17–30. DOI: 10.1093/annhyg/meg006.

[14] M. Mäkinen und M. Linnainmaa. „Dermal Exposure to Chromium in Electroplating“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 48.3 (2004), S. 277–283. DOI: 10.1093/annhyg/meg072.

[15] S. Viegas u. a. „HBM4EU Chromates Study: Determinants of Exposure to Hexavalent Chromium in Plating, Welding and Other Occupational Settings“. In: *Int J Environ Res Public Health* 19.6 (2022). DOI: 10.3390/ijerph19063683.

[16] L. Shaw u. a. „Relationships between inhalable and total hexavalent chromium exposures in steel passivation, welding and electroplating operations of Ontario“. In: *Int. J. Hyg. Environ.* 230 (2020), S. 113601. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113601.

[17] H. Beattie u. a. „The use of bio-monitoring to assess exposure in the electroplating industry“. In: *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 27.1 (2017), S. 47–55. DOI: doi.org/10.1038/jes.2015.67.

[18] A. Connolly u. a. „Evaluating Glyphosate Exposure Routes and Their Contribution to Total Body Burden: A Study Among Amenity Horticulturalists“. In: *Ann Work Expo Health* 63.2 (2019), S. 133–147. DOI: 10.1093annwehwxy104.10.1093/annweh/wxy104.

[19] M. Boulanger u. a. „Herbicide exposure during occupational knapsack spraying in French gardeners and municipal workers“. In: *Ann. Work Expo. Health* 67.8 (2023), S. 965–978. DOI: 10.1093/annweh/wxad045.

[20] M.-A. Zhao u. a. „Potential Dermal Exposure to Flonicamid and Risk Assessment of Applicators During Treatment in Apple Orchards“. In: *J. Occup. Environ. Hyg.* 12.8 (2015), S. D147–D152. DOI: 10.1080/15459624.2015.1009984.

[21] R. Mahaboonpeeti u. a. „Evaluation of Dermal Exposure to the Herbicide Alachlor Among Vegetable Farmers in Thailand“. In: *Ann. Work Expo. Health* 62.9 (2018), S. 1147–1158. DOI: 10.1093/annweh/wxy081.

[22] S. Flack u. a. „Development and application of quantitative methods for monitoring dermal and inhalation exposure to propiconazole“. In: *J. Environ. Monit.* 10.3 (2008), S. 336–344. DOI: 10.1039/B714882H.

[23] J. Lee u. a. „Occupational exposure and risk assessment for agricultural workers of thiamethoxam in vineyards“. In: *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 243 (2022), S. 113988. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2022.113988.

[24] K. Schwarz u. a. *Human exposure to biocidal products: Measurement of inhalation and dermal exposure during the application of biocide foams.* 2022, S. 209. DOI: 10.21934/baua:report20220106.

[25] K. Machera u. a. „Determination of Potential Dermal and Inhalation Operator Exposure to Malathion in Greenhouses with the Whole Body Dosimetry Method“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 47.1 (2003), S. 61–70. DOI: 10.1093/annhyg/mef097.

[26] H. H. Noh u. a. „Risk of dermal and inhalation exposure to chlorantraniliprole assessed by using whole-body dosimetry in Korea“. In: *Pest Manag. Sci.* 75.4 (2019), S. 1159–1165. DOI: https://doi.org/10.1002/ps.5255.

[27] K. W. Fent u. a. „Tape-strip sampling for measuring dermal exposure to 1,6-hexamethylene diisocyanate“. In: *Scand J Work Environ Health* 3 (2006), S. 225–240. DOI: 10.5271/sjweh.1003.

[28] I. Links u. a. „Occupational Exposure During Application and Removal of Antifouling Paints“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 51.2 (2006), S. 207–218. DOI: 10.1093/annhyg/mel074.

[29] A. Pronk u. a. „Dermal, inhalation, and internal exposure to 1,6-HDI and its oligomers in car body repair shop workers and industrial spray painters“. In: *Occup. Environ. Med.* 63.9 (2006), S. 624–631. DOI: 10.1136/oem.2005.023226.

[30] K. W. Fent u. a. „Quantification and Statistical Modeling—Part II: Dermal Concentrations of Monomeric and Polymeric 1,6-Hexamethylene Diisocyanate“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 53.7 (2009), S. 691–702. DOI: 10.1093/annhyg/mep048.

[31] C.-H. Lai und T.-Y. Yan. „Characteristics and aerosol size distributions of metal-containing paint particles at a spray-painting workplace“. In: *RSC Adv.* 6 (114 2016), S. 113754–113761. DOI: 10.1039/C6RA20179B.

[32] Y. H. Hwan u. a. „Using structural equation model to explore occupational lead exposure pathways“. In: *Sci Total Environ* 284.1-3 (2002), S. 95–108. DOI: 10.1016/s0048-9697(01)00870-1.

[33] Y. H. Hwang u. a. „Lip lead as an alternative measure for lead exposure assessment of lead battery assembly workers“. In: *Aihaj* 61.6 (2000), S. 825–31. DOI: 10.10801529866000898459 3.

[34] F. H. Were u. a. „Air and Blood Lead Levels in Lead Acid Battery Recycling and Manufacturing Plants in Kenya“. In: *J. Occup. Environ. Hyg.* 9.5 (2012), S. 340–344. DOI: 10.1080/15459624.2012.673458.

[35] C. P. Boyce, S. N. Sax und J. M. Cohen. „Particle size distributions of lead measured in battery manufacturing and secondary smelter facilities and implications in setting workplace lead exposure limits“. In: *J. Occup. Environ. Hyg.* 14.8 (2017), S. 594–608. DOI: 10.1080/15459624.2017.1309046.

[36] O. Hanser u. a. „Occupational exposure to metals among battery recyclers in France: Biomonitoring and external dose measurements“. In: *Waste Manag.* 150 (2022), S. 122–130. DOI: 10.1016/j.wasman.2022.06.044.

[37] S. Mahalingam u. a. „Elemental characterization of PM10 and PM2.5 and exposure risk assessment: Auto-repair garage“. In: *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 21 (2024). DOI: 10.1007/s13762-023-05400-y.

[38] Z. Rahimi u. a. „Evaluation of airborne and blood lead concentration in auto repair technicians in Sanandaj industrial town“. In: *Water Air Soil Pollut* 236.71 (2025), S. 12. DOI: 10.1007/s11270-024-07729-7.

[39] K. Eriksson, L. Wiklund und C. Larsson. „Dermal Exposure to Terpenic Resin Acids in Swedish Carpentry Workshops and Sawmills“. In: *Ann. Occup. Hyg.* 48.3 (2004), S. 267–275. DOI: 10.1093/annhyg/meh013.

[40] P. A. Demers u. a. „Exposure to Dust, Resin Acids, and Monoterpenes in Softwood Lumber Mills“. In: *AIHAJ - Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 61.4 (2000), S. 521–528. DOI: 10.1080/15298660008984564.

[41] A. Straumfors u. a. „Exposure to Wood Dust, Microbial Components, and Terpenes in the Norwegian Sawmill Industry“. In: *Ann. Work Expo. Health* 62.6 (2018), S. 674–688. DOI: 10.1093/annweh/wxy041.

[42] R. Franken u. a. *SysDEA: Systematic analysis of dermal exposure to hazardous chemical agents at the workplace. F2349*. 2019, S. 235. DOI: 10.21934/baua:bericht20190116.