

Aus dem Institut und der Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und
Umweltmedizin

Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. Dennis Nowak

Einfluss von Umgebungseinflüssen am Arbeitsplatz auf Beschäftigte und Bystander

Habilitationsschrift

zur Erlangung der Lehrbefähigung für das Fach

Arbeitsmedizin

vorgelegt von

Dr. med. Caroline Quartucci

2025

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassende Bewertung von Gesundheitsrisiken durch Umgebungsfaktoren am Arbeitsplatz	3
Umgebungsfaktoren am Arbeitsplatz	5
Gesundheitlich relevante Expositionen durch Umgebungsfaktoren am Arbeitsplatz	6
Exposition gegenüber Gefahrstoffen	6
Beryllium.....	6
Zytostatika	7
Quecksilber.....	9
Perflouroctansäure (PFOA).....	10
Mehlstaub.....	11
Exposition gegenüber biologischen Arbeitsstoffen	12
SARS-CoV-2	13
Legionellen	14
Exposition gegenüber physikalischen Einwirkungen	15
Saisonale Hitze.....	15
Exposition gegenüber psychischen Belastungsfaktoren	17
Schlussfolgerung.....	20
Literatur	21
Übersicht über die der Habilitationsschrift zugrunde liegenden Arbeiten	25

Zusammenfassende Bewertung von Gesundheitsrisiken durch Umgebungsfaktoren am Arbeitsplatz

Um ein sicheres und gesundes Arbeitsumfeld zu gewährleisten, müssen Umgebungsfaktoren an Arbeitsplätzen berücksichtigt werden. Dazu zählen chemische, biologische, physikalische und psychische Faktoren der Arbeitsumgebung, die gemeinsam betrachtet werden müssen. Nur auf diese Weise ist eine umfassende Betrachtung und Beurteilung der Gesundheitsgefährdungen für Beschäftigte und Bystander möglich. Arbeitgebenden müssen eine Gefährdungsbeurteilung durchführen, um die Risiken am Arbeitsplatz zu ermitteln und zu bewerten. Zudem ist das Ergreifen von geeigneten Arbeitsschutzmaßnahmen notwendig, um sicherzustellen, dass die Umgebungsfaktoren am Arbeitsplatz nicht zu einer Gefährdung der Beschäftigten führen.

Im vorliegenden Habilitationsprojekt wurden Einflüsse von einigen spezifischen Gefahrstoffen, biologischen Arbeitsstoffen, physikalischen Einflussfaktoren und psychischen Belastungsfaktoren aus der Arbeitsumgebung auf die Gesundheit von Beschäftigten und Bystandern ermittelt.

Es konnte gezeigt werden, dass Gefahrstoffe (im vorliegenden Fall Beryllium), bereits in niedrigeren Konzentrationen als bisher bekannt spezifische Erkrankungen auslösen können. Zudem hat es sich als notwendig erwiesen, dass bereits bestehende Monitoringmethoden weiterentwickelt werden, um sie an die sich verändernden Arbeits- und Umgebungsbedingungen anzupassen (im vorliegenden Fall für die Beispiele Zytostatika, Quecksilber, Mehlstaub und Legionellen). Es ist weiterhin notwendig, bereits getroffene Schutzmaßnahmen zu evaluieren und auf ihre Wirksamkeit hin zu prüfen (in der vorliegenden Arbeit am Beispiel PFOA).

Da sich die Arbeitswelt immer weiter verändert und neue Herausforderungen entstehen, müssen auch im Bereich des Arbeitsschutzes neue Wege beschritten werden, um mit den Veränderungen Schritt zu halten und Beschäftigten und Bystandern eine sichere (Arbeits-) Umgebung zu bieten.

Gerade im Bereich der biologischen Gefährdungen in der Arbeitsumgebung können sich die Gegebenheiten sehr schnell ändern. Wie schnell dies möglich ist, zeigte sich im Rahmen der COVID-19-Pandemie. Im vorliegenden Habilitationsprojekt konnte gezeigt werden, wie die Kombination von Fallgeschichten und genomischen Daten eingesetzt werden kann, um die Ausbreitung von SARS-CoV-2 auf globaler, regionaler und lokaler Ebene zu nachzuverfolgen. Zudem konnte gezeigt werden, dass das Risiko einer SARS-CoV-2-Infektion für Beschäftigte des Gesundheitswesens in der direkten Patientenversorgung erhöht war.

Auch der Klimawandel stellt die Arbeitswelt zunehmend vor Herausforderungen. Durch die Zunahme der heißen Tage in Deutschland werden viele Beschäftigte und Bystander zusätzlich belastet. Im vorliegenden Habilitationsprojekt konnte insbesondere die Kombination aus (saisonaler) Hitze und dem Tragen von persönlicher Schutzausrüstung (PSA) als ungünstig identifiziert werden.

Durch den Wandel in der Arbeitswelt entstehen auch neue bzw. veränderte psychische Belastungen. Dieses Habilitationsprojekt trägt zur Erforschung der Zusammenhänge zwischen Stress am Arbeitsplatz und den daraus resultierenden Auswirkungen bei Beschäftigten in Einrichtungen des Gesundheitswesens bei. Die Ergebnisse können dazu beitragen, Risiko- und Schutzfaktoren des Arbeitsumfelds für erhöhte Entzündungsparameter in humanen Blutproben zu identifizieren.

Das vorliegende Habilitationsprojekt zeigt den Einfluss einiger spezifischer Einflüsse der Arbeitsumgebung auf Beschäftigte und Bystander auf. Es stellt dar, in wieweit verschiedene Umgebungsfaktoren die Gesundheit der Beschäftigten und Bystander beeinträchtigen können. Auf diese Weise sollen die Ergebnisse dieser Habilitationsschrift zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen beitragen und als Grundlage für zukünftige Präventionsmaßnahmen dienen.

Umgebungsfaktoren am Arbeitsplatz

Der berufliche Alltag kann auch Gefährdungen und Belastungen mit sich bringen, die zwar teilweise erwartet, aber nicht immer auf den ersten Blick als solche erkennbar sind. Die Arbeitsumgebung beeinflusst die Gesundheit und das Wohlbefinden der Beschäftigten erheblich. Verschiedene Umgebungseinflüsse wie Lärm, Luftqualität, Temperatur und Gestaltung des Arbeitsplatzes können die Arbeitsleistung und die Produktivität beeinträchtigen. Darüber hinaus können Umgebungsfaktoren auch die Gesundheit von Bystandern beeinträchtigen. Als Bystander gelten zum Beispiel an benachbarten Arbeitsplätzen beschäftigte Personen oder Menschen, die in der Umgebung eines Betriebes arbeiten oder wohnen und in ihrem Umfeld ungewollt mit Arbeitsstoffen aus dem Betrieb in Kontakt kommen. Einige spezifische Umgebungsfaktoren wie der Exposition gegenüber Beryllium, Quecksilber, Zytostatika, saisonale Hitze am Arbeitsplatz, inhalative Allergene, SARS-CoV-2, Legionellen oder psychische Belastungen können die Gesundheit der Beschäftigten und Bystander stark beeinflussen. In dieser Habilitationsschrift soll der Einfluss dieser speziellen Umgebungseinflüsse auf Beschäftigte und Bystander untersucht werden. Die Ergebnisse werden Aufschluss darüber geben, in wieweit diese Umgebungsfaktoren die Gesundheit der Beschäftigten und Bystander beeinträchtigen können. Auf diese Weise können die Ergebnisse dieser Habilitationsschrift zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen beitragen und als Grundlage für zukünftige Präventionsmaßnahmen dienen.

Gesundheitlich relevante Expositionen durch Umgebungsfaktoren am Arbeitsplatz

Im Folgenden sollen medizinisch relevante Expositionen und ihr Einfluss auf Beschäftigte und Bystander dargestellt werden. Eine gemeinsame Betrachtung von verschiedenen chemischen, biologischen, physikalischen und psychischen Umgebungsfaktoren ist notwendig, um einen umfassenden Eindruck über potenziell gesundheitsschädigende Einwirkungen an Arbeitsplätzen und dem Umfeld zu bekommen.

Exposition gegenüber Gefahrstoffen

Unter Gefahrstoffen versteht man Stoffe, Gemische oder Erzeugnisse mit gefährlichen Eigenschaften. Bei Menschen können sie akute oder chronische Gesundheitsschäden auslösen. In der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) sind unter anderem die Tätigkeit mit Beryllium, Platinverbindungen, Quecksilber und Mehlstaub als Auslösekriterien für eine arbeitsmedizinische Pflichtvorsorge genannt.

Beryllium

Beryllium ist ein Metall, das beispielsweise in der Luftfahrt, in der Elektronik und im Bergbau eingesetzt wird. Durch berufliche Berylliumexposition kann eine chronische Berylliose (engl. chronic beryllium disease, CBD) ausgelöst werden. Die CBD ist, wie auch die Sarkoidose, eine granulomatöse Erkrankung, die hauptsächlich an der Lunge auftritt. Eine Unterscheidung der beiden Erkrankungen ist allein anhand des klinischen Erscheinungsbildes nicht möglich. Im Unterschied zur Sarkoidose kann jedoch bei der CBD eine durch die Berylliumexposition induzierte Sensibilisierung gegenüber Beryllium nachgewiesen werden. Der Nachweis einer Berylliumsensibilisierung zur Differenzialdiagnose erfolgt mittels Beryllium-Lymphozytentransformationstest (Be-LTT) (Soriano et al., 2022). Da die Berylliumexposition meist beruflich verursacht wird, kann die CBD unter bestimmten Voraussetzungen als Berufskrankheit (BK-Nr. 1110 BKV) anerkannt werden.

Die Studie „A Cluster of Beryllium Sensitization Traced to the Presence of Beryllium in Concrete Dust“ konnte jedoch nachweisen, dass es bei Personen, die keine berufliche Berylliumexposition hatten, zur Ausbildung Beryllium-assoziiertes Erkrankungen kam (Frye et al., 2021).

Bei einem Beschäftigten eines Bauhofs wurde im Rahmen der Abklärung respiratorischer Beschwerden eine Sarkoidose diagnostiziert. In der weiteren Abklärung wurden

leitliniengerecht zwei Be-LTTs bei ihm durchgeführt, die positive Ergebnisse zeigten. Aufgrund dessen wurde die Erkrankung als CBD eingestuft. In der genannten Studie wurde in der Folge eine Gruppe von Beschäftigten desselben Betriebes ohne offensichtliche Berylliumexposition am Arbeitsplatz untersucht. 21 von 30 im Betrieb beschäftigten Personen wurden auf das Vorliegen einer Berylliumsensibilisierung getestet. Hierfür wurde ein Be-LTT mit frisch entnommenen mononukleären Zellen aus dem peripheren Blut durchgeführt. Die durchgeführten Be-LTTs zeigten bei fünf von 21 untersuchten Personen eine Berylliumsensibilisierung, was auf eine lokale Berylliumquelle schließen lässt.

Die Beschäftigten berichteten über ein vermehrtes Staubvorkommen am Arbeitsplatz. In der Nähe des Betriebes befand sich ein betonverarbeitender Betrieb, von dem Betonstaub auf das Betriebsgelände der untersuchten Beschäftigten geweht wurde. Daraufhin wurden am Arbeitsplatz der Beschäftigten Staubproben gesammelt, deren Berylliumgehalt mittels Graphit-Absorptionsspektroskopie gemessen und mit Staubproben aus verschiedenen Regionen Deutschlands (Kontrollproben), verglichen. Es zeigte sich, dass Staubproben von unterschiedlichen Orten in Deutschland verschiedene Gehalte an Beryllium aufwiesen. Betonstaub aus der Arbeitsumgebung der Betroffenen enthielt deutlich höhere Mengen an Beryllium ($1138 \pm 162 \mu\text{g}/\text{kg}$) als Staub von anderen Orten (Bereich 147 ± 18 - $452 \pm 206 \mu\text{g}/\text{kg}$). Bemerkenswert ist, dass die Kontrollproben ebenfalls unterschiedliche Berylliumkonzentrationen aufwiesen. Die Studie zeigt, dass es in einer Umgebung mit höheren Berylliumkonzentrationen in der Luft bzw. im Betonstaub bei nicht beruflich Berylliumexponierten zu einer Berylliumsensibilisierung kommen kann.

Als Präventionsmaßnahme wird empfohlen, dass für Mitarbeiter, die in oder in der Nähe von betonverarbeitenden Betrieben tätig sind, angemessene Sicherheitsmaßnahmen am Arbeitsplatz zu ergreifen sind, um eine unerwünschte Exposition gegenüber Beryllium zu vermeiden.

Zytostatika

Der Umgang mit Zytostatika stellt ein berufliches Gesundheitsrisiko für Beschäftigte in Apotheken und Krankenhäusern dar. Dies betrifft sowohl Beschäftigte, die direkt mit Zytostatika arbeiten (z. B. in der Herstellung), wie auch Personen, die sich in denselben Räumen aufhalten und über den Kontakt zu kontaminierten Oberflächen mit diesen Stoffen in Kontakt kommen können (Bystander). Aus diesem Grund hat sich die Überwachung der Oberflächenkontamination am Arbeitsplatz in Apotheken und Krankenhäusern als wichtiges Instrument des Risikomanagements etabliert (Böhlandt A, 2016; Chabut et al., 2022; Palamini et al., 2020). Ein Langzeitmonitoring der Oberflächenkontamination mittels Wischproben

ermöglicht es Apotheken und Krankenhäusern, mögliche Quellen der Zytostatika-Freisetzung, deren Ausbreitung und der Expositionswege zu ermitteln. Zudem können auf diese Weise die in den Apotheken und Krankenhäusern angewandten Maßnahmen des Arbeitsschutzes überprüft werden. Dies unterstützt Apotheken und Krankenhäuser dabei, ihre eigenen Ergebnisse einzuschätzen und ihre Schutzmaßnahmen zu verbessern (Böhlandt A, 2016; Schierl et al., 2016).

In der Studie „Evaluation of Long-Term Data on Surface Contamination by Antineoplastic Drugs in Pharmacies“ (Quartucci et al., 2023) wurden Wischproben zur Analyse von antineoplastischen Arzneimitteln auf Oberflächen verwendet, um die Zytostatikaexposition an den betroffenen Arbeitsplätzen bzw. in der Arbeitsplatzumgebung zu minimieren und die Wirksamkeit der durchgeführten Reinigungsmaßnahmen zu bewerten. Bereits im Jahr 2009 wurden Richtwerte (guidance values, GV) vorgeschlagen (Schierl et al., 2009), um die Interpretation der Ergebnisse zu erleichtern, was zu einem Rückgang der Oberflächenkontamination führte. Da sich in den letzten Jahrzehnten sowohl die Arbeitsplätze selbst, als auch die Maßnahmen des Arbeitsschutzes verändert haben, war es das Ziel der Studie, den (lang-) zeitlichen Verlauf der Oberflächenkontamination zu bewerten, kritische Zytostatika und Probenahmestellen zu ermitteln und die Richtwerte an die neuen Gegebenheiten anzupassen.

Es wurden die Zytostatika Platin (Pt), 5-Fluorouracil (FU), Cyclophosphamid (CP), Ifosfamid (IF), Gemcitabin (GEM), Methotrexat (MTX), Docetaxel (DOC) und Paclitaxel (PAC) in mehr als 17.000 Wischproben aus den Jahren 2000 bis 2021 analysiert.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Oberflächenkontaminationen im Allgemeinen relativ gering waren. Nur 7,0 % aller untersuchten Proben überschritten den Richtwert I (GV-I), der auf den Medianwert festgelegt wurde und als mittlere Belastung definiert ist. 4,3 % überschritten den Richtwert II (GV-II), der dem 75. Perzentil zugeordnet ist und auf eine hohe Belastung hinweist. Die meisten Überschreitungen der Richtwerte wurden für Pt (26,9%), CP (18,5%) und GEM (16,6%) festgestellt. Die am stärksten von Oberflächenkontaminationen betroffenen Orte am Arbeitsplatz waren Isolatoren (24,4 %), Lagerbereiche (17,6 %) und Laminarflow-Hauben (16,6 %). Bereiche der Arbeitsumgebung, wie auch Bereiche ohne direkten Kontakt zu Zytostatika waren kontaminiert (8,9 %).

Da die Oberflächenkontaminationen insgesamt rückläufig sind bzw. generell auf einem niedrigen Niveau lagen, wurden die Richtwerte entsprechend der verfügbaren Daten angepasst. Für die Bestimmung der angepassten Richtwerte wurden die Daten von 2015 bis 2021 verwendet. Im Jahr 2009 wurden die Perzentilen P50 und P75 für GV-I bzw. GV-II für FU und Platin verwendet (Schierl et al., 2009). Die P50 für alle Zytostatika mit Ausnahme von Platin lagen jedoch bereits unter der Nachweisgrenze (Limit of detection, LOD), sodass die

LOD als angepasster GV-I verwendet wurde. Folglich muss ein Ergebnis oberhalb der LOD als vermeidbare Kontamination betrachtet werden. Da die Mehrheit der Apotheken in der Lage war, Ergebnisse unterhalb der LOD zu erzielen, sollten andere Apotheken dies auch anstreben. Für Pt werden bei der Ableitung von GV-I auch die Hintergrundwerte berücksichtigt. Wenn möglich, wurde P90 für die Bestimmung von GV-II verwendet. Liegt die P90 unter der LOD, wird vorgeschlagen, das Zehnfache der LOD als GV-II zu verwenden.

Anhand der nun angepassten GV können die Apotheken ihre individuellen Ergebnisse vergleichen und ihre Arbeitsabläufe entsprechend dem aktuellen Stand des Qualitäts- und Risikomanagements optimieren.

Die Ermittlung kritischer Probenahmestellen kann den Apotheken dabei helfen, eine ungewollte Verteilung von Zytostatika in der Arbeitsumgebung zu reduzieren, die Reinigungsverfahren weiter zu verbessern und somit das Risiko einer beruflichen Exposition gegenüber Zytostatika sowohl für Beschäftigte mit direktem Kontakt, als auch für Bystander zu verringern. Somit wird ein wichtiger Beitrag zur Prävention arbeitsbedingter Erkrankungen geschaffen.

Quecksilber

Quecksilber (Hg) ist das einzige Metall, das bereits bei Raumtemperatur flüssig ist. In der Luft kann theoretisch eine Sättigungsdampfkonzentration von ca. 15mg Hg/m³ erreicht werden (Holleman A, 2008), was es ermöglicht, dass der zulässige Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) um ein Vielfaches überschritten werden kann. Bei Beschäftigten die gegenüber Quecksilber und/oder seinen Verbindungen exponiert sind, ist gemäß Anhang Teil 1 (1) der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) unter bestimmten Voraussetzungen eine arbeitsmedizinische Vorsorge durch den Arbeitgebenden zu veranlassen. Bestandteil dieser Vorsorge kann ein Human-Biomonitoring (HBM) sein. Für organische Quecksilberverbindungen, wie sie im arbeitsmedizinischen Kontext z.B. als Phenyl-Hg-Verbindungen als Katalysator bei der Polyurethanherstellung vorkamen, wird hierbei meist eine venöse Blutentnahme durchgeführt, was jedoch einige Nachteile wie spezielle Voraussetzungen für Transport und Lagerung und den Bedarf an medizinischem Personal für die Probenentnahme hat. Aus diesem Grund ist das HBM von Hg unter Verwendung einer getrockneten Blutmatrix anstelle einer venösen Blutentnahme zur Expositionsbewertung von wachsendem Interesse. Da dies jedoch (noch) nicht dem Standard entspricht, ist es notwendig, die Entwicklung, Validierung und Bewertung der Anwendung alternativer Methoden für das Hg-Biomonitoring beim Menschen zu untersuchen.

In den Studien „Mercury Biomonitoring in German Adults using Volumetric Absorptive Microsampling“ (Koutsimpani-Wagner et al., 2022) und „Validation Implementation of Mercury Biomonitoring in German Adults using Dried Blood Spot Sampling in combination with Direct Mercury Analysis“ (Schweizer et al., 2021) wurden entsprechende Methoden entwickelt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die volumetrische absorptive Mikroprobenahme (VAMS) in Kombination mit der direkten Quecksilberanalyse eine genaue und praktikable Alternative für das Human-Biomonitoring von Hg (Koutsimpani-Wagner et al., 2022). Zudem konnten vergleichbare Ergebnisse für Dried Blood Spots (DBS) und venöses Blut bei der direkten Hg-Analyse gezeigt werden (Schweizer et al., 2021). Darüber hinaus konnte nachgewiesen werden, dass sich DBS für das Hg-Biomonitoring in der Allgemeinbevölkerung in Deutschland eignen. DBS können somit auch für das HBM von Hg bei Bystandern verwendet werden.

Perfluorooctansäure (PFOA)

Die Perfluorooctansäure („PerFluoroOctanoic Acid“, PFOA) gehört zur großen Stoffgruppe der per- und polyfluorierten Alkylverbindungen (PFAS oder PFC (per- und polyfluorierten Chemikalien)). Es handelt sich dabei um fluorierte organische Verbindungen, an deren Kohlenstoffgerüst die Wasserstoffatome durch Fluoratome ersetzt sind. PFOA kam bzw. kommt zum Beispiel bei der Herstellung von Antihaft-Küchengeschirr, regenabweisender Kleidung, Lebensmittelverarbeitungsgeräten oder Medizinprodukten zum Einsatz. PFOA ist sehr persistent und hat ein hohes Potenzial zur Bioakkumulation.

In der Vergangenheit wurde PFOA in einer Fluoropolymer-Produktionsanlage in einem bayerischen Landkreis hergestellt und als Emulgator verwendet. Diese Chemikalie wurde direkt in die Umwelt freigesetzt, was zu einer Verunreinigung des örtlichen Trinkwassers führte. Bei einer Human-Biomonitoring-Erhebung im Jahr 2018 wurden in der örtlichen Bevölkerung des betroffenen Landkreises erhöhte mittlere PFOA-Blutserumspiegel festgestellt (23,18 µg/l in der Allgemeinbevölkerung, 20,71 µg/l in der Kindergruppe). Ziel der aktuellen Erhebung war es, zu untersuchen, ob die Sanierung des Trinkwassers als Hauptquelle der PFOA-Exposition zu einer Verringerung der internen PFOA-Belastung geführt hat und den Zusammenhang der internen PFOA-Belastung mit möglichen Einflussfaktoren abzuschätzen.

In der Erhebung „Human biomonitoring follow-up study on PFOA contamination and investigation of possible influencing factors on PFOA exposure in a German population originally exposed to emissions from a fluoropolymer production“ (Lahne, Gerstner, et al., 2024) wurden Personen, die bereits 2018 an der HBM-Untersuchung im betroffenen Landkreis

teilgenommen hatten, untersucht. Für die Bestimmung der PFOA-Serumkonzentration wurden jeder teilnehmenden Person 5 ml Blut abgenommen. Darüber hinaus wurden Informationen zu soziodemografischen Merkmalen, zum Gesundheitszustand, zum Ernährungsverhalten und zu anderen Lebensstilfaktoren mit Hilfe eines Fragebogens erhoben. Um den Zusammenhang der PFOA-Blutserumspiegel mit möglichen Einflussfaktoren wie Alter, Geschlecht und Verzehr von Fisch und Wildfleisch zu untersuchen, wurde ein logistisches Regressionsmodell verwendet.

Insgesamt nahmen 764 Personen an der Folgeuntersuchung im Jahr 2022 teil. Die Analysen wurden getrennt für die Allgemeinbevölkerung (n=559), Frauen im Alter von 15-49 Jahren (n=120) und Kinder unter 12 Jahren (n=30) durchgeführt. Im Vergleich zur Erhebung von 2018 sank der mittlere PFOA-Gehalt im Jahr 2022 in allen drei Studiengruppen ab. In der Allgemeinbevölkerung lag der mediane PFOA-Wert im Jahr 2022 bei 10,00 µg/l, verglichen mit 23,18 µg/l im Jahr 2018, was einem Rückgang von 56,9 % entspricht. In der Gruppe der Frauen im Alter von 15-49 Jahren lag der mittlere PFOA-Gehalt im Jahr 2022 bei 4,33 µg/l, während er 10,76 µg/l im Jahr 2018, was einem Rückgang von 59,8 % entspricht. In der Gruppe der Kinder lag der Median der PFOA Konzentration im Jahr 2022 bei 5,50 µg/l und im Jahr 2018 bei 20,71 µg/l, was einem Rückgang von 73,4 % entspricht.

In allen Studiengruppen sank der mittlere PFOA-Serumspiegel erwartungsgemäß, was die Wirksamkeit der Maßnahmen zur Sanierung der Trinkwasserversorgung bestätigt. Darüber hinaus wurde in der Studie das Alter als signifikanter Prädiktor für die interne PFOA-Belastung identifiziert, während für den Verzehr von Fisch und Wildfleisch kein Einfluss festgestellt wurde. Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um den Einfluss der Ernährungsgewohnheiten auf die innere PFOA-Belastung genauer zu quantifizieren.

Mehlstaub

Neben den oben genannten Gefahrstoffen können auch allergisierende Stoffe am Arbeitsplatz sowohl bei Beschäftigten, als auch bei Bystandern gesundheitliche Probleme verursachen. Besonders Personen, die bereits (andere) allergische Erkrankungen haben, können auch auf Allergene in der Arbeitsumgebung reagieren.

Eine gut bekannte Berufskrankheit, die durch Allergene am Arbeitsplatz ausgelöst wird, ist das Bäckerasthma (Awad el Karim et al., 1986; De Matteis et al., 2017; Jacobs et al., 2008; Nicholson et al., 2005; Quirce & Diaz-Perales, 2013; Tarlo et al., 2008). Sowohl exogene als auch endogene Risikofaktoren tragen zu dessen Entstehung bei. Ein geschärftes Bewusstsein für die auslösenden Faktoren und eine frühzeitige Diagnosestellung können bei der Prävention hilfreich sein. Bei Verdacht auf eine beginnende allergische Erkrankung sind individuelle

Schutz- und Präventionsmaßnahmen erforderlich. Für den Einsatz in der Praxis sollten deshalb geeignete Instrumente verwendet werden, die es ermöglichen, frühe Anzeichen von berufsbedingten Allergien zu erkennen und zudem im Arbeitsalltag leicht angewendet werden können (Chan-Yeung et al., 2003; Rumchev et al., 2021).

In der Studie „The impact of years of training and possible technical, procedural, and individual risk factors for the development of atopic symptoms among bakery and confectionery trainees“ (Klaut et al., 2024) wurden 127 Auszubildende für Bäcker- bzw. Konditorenberufe über einen Zeitraum von einem Schuljahr hinweg beobachtet. Ziel der Studie war es, einen zeitlichen Zusammenhang zwischen der Dauer der Mehlstaubexposition sowie möglichen technischen, organisatorischen und persönlichen Risikofaktoren am Arbeitsplatz für die Entwicklung von berufsbedingten Allergiesymptomen zu ermitteln.

Als Testinstrumente dienten zwei Fragebögen. Es wurde untersucht, ob sich die Symptome im Laufe eines Schuljahres verändern und welche Bedingungen am Arbeitsplatz dafür verantwortlich sein könnten.

Es zeigte sich ein Anstieg von selbstberichteten Allergiesymptomen (Rhinitis, Husten, Hautausschlag) während der Dauer der Ausbildung (z. B. Rhinitis bei Bäckern am Arbeitsplatz: 0% im ersten Ausbildungsjahr, 20% im zweiten und 33% im dritten Ausbildungsjahr). Die Installation von Dunstabzugssystemen, sogenannten „Wrasenabzügen“, und ein staubarmer Umgang mit Backmitteln führte zu weniger Symptomen am Arbeitsplatz (30 % der Teilnehmer mit Rhinitis-Symptomen arbeiteten ohne Wrasenabzüge). Eine Atopie in der (Familien-) Anamnese war positiv mit dem Auftreten von Allergiesymptomen am Arbeitsplatz korreliert.

Um die Entstehung eines berufsbedingten Asthmas bei Bäckern zu verhindern, sollten geeignete technische, organisatorische und persönliche Arbeitsschutzmaßnahmen entwickelt bzw. umgesetzt werden.

Exposition gegenüber biologischen Arbeitsstoffen

Auch die Exposition gegenüber biologischen Arbeitsstoffen darf im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung nicht vernachlässigt werden. Gerade biologische Arbeitsstoffe, die sich über die Luft verbreiten, können massive gesundheitliche Auswirkungen auf eine große Anzahl von Beschäftigten und Bystandern haben. Sie können beim Menschen beispielsweise Infektionen verursachen, oder auch sensibilisierende oder toxische Wirkungen ausüben.

SARS-CoV-2

Die letzten Jahre wurden in diesem Kontext von SARS-CoV-2 („severe acute respiratory syndrome coronavirus 2“) dominiert. Die durch das Virus verursachte Pandemie der Coronavirus-Krankheit 19 (COVID-19) hat die Gesundheitssysteme weltweit an den Rand des Zusammenbruchs gebracht. Die hohen Patientenzahlen und die hohe Ansteckungsfähigkeit von SARS-CoV-2 [22] überforderten die Gesundheitssysteme und setzten das Personal im Gesundheitswesen an vorderster Front einem Infektionsrisiko aus.

Aus diesem Grund war der Schutz der Beschäftigten des Gesundheitswesens vor einer Ansteckung mit SARS-CoV-2 ein wichtiges Ziel, um die Gesundheitssysteme in einer Pandemie zu stabilisieren. Es war essentiell herauszufinden, welche Beschäftigten des Gesundheitswesens einem besonderen Infektionsrisiko ausgesetzt sind und auf welchem Wege sie sich infiziert haben.

In der Studie „Genomic epidemiology reveals multiple introductions of SARS-CoV-2 followed by community and nosocomial spread, Germany, February to May 2020“ (Muenchhoff et al., 2021) über Fälle der ersten Welle der Pandemie am LMU Klinikum in München konnte gezeigt werden, wie die genomische Epidemiologie unter Verwendung einer Kombination aus detaillierten Fallgeschichten und der Erstellung menschlicher Interaktionsnetzwerke zusammen mit viralen Sequenzdaten verwendet werden kann, um die Ausbreitung von SARS-CoV-2 auf internationaler, nationaler und lokaler Ebene zu verfolgen. Diese Informationen konnten für die Umsetzung und Anpassung von Maßnahmen zur Infektionsprävention und -kontrolle genutzt werden und zur Umsetzung und Anpassung von Eindämmungsstrategien auf der Ebene des Arbeitsschutzes und der Bystander genutzt werden.

In der Studie „Prospective Longitudinal Serosurvey of Health Care Workers in the First Wave of the SARS-CoV-2 Pandemic in a Quaternary Care Hospital in Munich, Germany“ (Weinberger et al., 2021) wurde die Hypothese aufgestellt, dass eine größere Anzahl und Intensität von Kontakten zu infizierten Patienten auf COVID-19-Stationen zu mehr Infektionen bei Beschäftigten im Gesundheitswesen führt, was sich in einer höheren Häufigkeit von SARS-CoV-2-Serokonversionen widerspiegelt. Es wurden das Auftreten von Infektionen mit SARS-CoV-2 bei diesen Beschäftigten mit denen auf Nicht-COVID-19-Stationen Tätigen oder solchen, die außerhalb der Patientenversorgung beschäftigt waren, verglichen. Es konnten gezeigt werden, dass das Risiko einer SARS-CoV-2-Infektion für Beschäftigte des Gesundheitswesens in der direkten Patientenversorgung erhöht war. Strenge Maßnahmen zur Infektionskontrolle sind unerlässlich, um Beschäftigte im direkten Patientenkontakt während einer laufenden Pandemie zu schützen (Weinberger et al., 2021).

Legionellen

Weitere potenzielle Krankheitserreger, der in den letzten Jahren verstärkt im Fokus der Aufmerksamkeit standen, sind Legionellen. Es handelt sich dabei um gramnegative Bakterien, die natürlicherweise Bestandteil von feuchten Biotopen und Gewässern sind und bei Temperaturen zwischen 25°C und 45°C beste Bedingungen zur Vermehrung finden. Sie werden durch Aerosole auf den Menschen übertragen und können die sogenannte Legionellose auslösen. Die pneumonische Form der Legionellose, die Legionärskrankheit (LD), ist durch eine schwere atypische Lungenentzündung mit einer Letalität von etwa 10% gekennzeichnet (ECDC, 2015; Fields et al., 2002; RKI, 2021).

Meist geschieht die Übertragung über Aerosole aus technischen Wassersystemen und –anlagen, wie beispielsweise Verdunstungskühlanlagen (VKA, wodurch es zu Legionelloseausbrüchen kommen kann (Cebrian et al., 2018; Hammami et al., 2019; Maisa et al., 2015; Walser et al., 2014).

Ein Problem bei der Überwachung von VKA stellt die bisher übliche Nachweismethode für Legionellen dar: die Kultur. Mit einer Dauer von bis zu 14 Tagen von der Probenahme bis zum Ergebnis und dem gleichzeitig bestehenden Risiko der Unterschätzung der real vorhandenen Legionellenkonzentration besitzt diese Methode zahlreiche Einschränkungen, die eine schnelle Einschätzung der gesundheitlichen Gefährdung für Beschäftigte und Bystander erschweren. Aus diesem Grund ist die Einführung von schnellen, kulturunabhängigen Nachweismethoden notwendig, um gesundheitliche Gefährdungen schnell und sicher nachzuweisen und entsprechende (Schutz-) Maßnahmen einzuleiten.

In der Studie „Verification and application of qPCR and viability-qPCR for evaporative cooling system monitoring complementing the culture method“ (Redwitz et al., 2024)F wurden zwei kommerzielle Kits für die quantitative Polymerase-Kettenreaktion (qPCR) und die Viabilitäts-qPCR (v-qPCR) untersucht. Kryokonservierte *Legionella pneumophila* wurden als Kalibrierungsstandard etabliert, wobei die Anzahl der intakten (ILC) und der gesamten Legionellen (TLC) durchflusszytometrisch bestimmt wurde.

Die Analyse der Proben von VKA zeigte die erwarteten Unterschiede zwischen Kultur und v-qPCR, wobei letztere in den meisten Proben (>90%) teilweise hohe Konzentrationen lebensfähiger *Legionella spp.* nachweisen konnte. Im Gegensatz dazu wurden nur 12 % der Proben in der Kultur positiv auf *Legionella spp.* getestet, wobei eine zuverlässige Quantifizierung nicht möglich war. Insbesondere bei v-qPCR-Daten ist die korrekte Interpretation der Ergebnisse ein entscheidender Punkt für die zukünftige Anwendung in der Routineüberwachung als Ergänzung zur Kultur. Eine Differenzierung zwischen *L. pneumophila* und *Legionella spp.* sowie vereinfachte Bewertungsansätze für die Ergebnisinterpretation

könnten erforderlich sein. Auf diese Weise könnten die Vorteile einer schnellen Umsatzzeit und der Nachweis von Legionellen, die ansonsten durch die Kultur übersehen werden, dazu beitragen, das Risiko von Ausbrüchen zu verringern und gleichzeitig unnötige Maßnahmen und damit verbundene Kosten zu vermeiden. Darüber hinaus könnte die parallele und regelmäßige Anwendung neuer Methoden neben der Kultur in der Routineüberwachung nicht nur dazu beitragen, den Status von VKA und vergleichbaren Systemen besser zu bewerten. Hierfür muss jedoch der Anreiz zur Anwendung kulturunabhängiger Methoden gefördert werden. Entsprechende Leitlinien könnten eine Lösung darstellen.

Exposition gegenüber physikalischen Einwirkungen

Saisonale Hitze

Der Klimawandel wird zukünftig auch in Deutschland zu einer Zunahme von Hitzetagen führen und hat nachteilige Auswirkungen auf die Lebens- und Arbeitsbedingungen der Menschen. Gerade in den Sommermonaten kann es an Arbeitsplätzen im Außen- und Innenbereich zu hohen Lufttemperaturen kommen, die zu teilweise schwerwiegenden Gesundheitsstörungen führen können (Kenny et al., 2010; Levi et al., 2018). Beschäftigte, die im Rahmen Ihrer Tätigkeit körperlich anstrengende Arbeiten verrichten, bestimmte Schutz- oder Arbeitskleidung tragen müssen und/oder bei Tätigkeiten im Freien der (saisonalen) Hitze ausgesetzt sind, haben hierfür eine höhere Gefährdung. Jedoch können auch Beschäftigte ohne weitere Gefährdungen unter bestimmten Voraussetzungen davon betroffen sein.

Eine deutschlandweite Befragung von Akteuren des Arbeitsschutzes zeigte, dass saisonale Hitze am Arbeitsplatz selten in der Gefährdungsbeurteilung berücksichtigt wird, auch wenn bereits andere Maßnahmen zum Arbeitsschutz im Betrieb durchgeführt werden (Lahne, Strasser, et al., 2024). Der Großteil der an der Befragung Teilnehmenden hat gesundheitliche Gefährdungen durch saisonale Hitze an Arbeitsplätzen identifiziert. In Betrieben, in denen saisonale Hitze in der Gefährdungsbeurteilung erfasst wird, werden meist technische, organisatorische und persönliche Maßnahmen zur Reduktion der Hitzebelastung durchgeführt.

Im Projekt „CAREHeat“ wurden im Speziellen die Auswirkungen saisonaler Hitze auf in der Pflege tätige Personen untersucht.

Die randomisierte Crossover-Studie „Assessment of subjective well-being of healthcare workers in response to heat and personal protective equipment under controlled conditions using a standardized protocol“ (Quartucci et al., 2024) untersuchte das subjektive Wohlbefinden von im Gesundheitswesen Beschäftigten unter kontrollierten Bedingungen, wenn sie Hitze ausgesetzt sind und (zusätzlich) persönliche Schutzausrüstung (PSA) tragen. Die Teilnehmenden führten in einer Klimakammer etwa 3,5 Stunden lang standardisierte Pflegetätigkeiten bei unterschiedlichen Innenraumtemperaturen (22 °C und 27 °C) und unterschiedlichen Arbeitsbedingungen (mit oder ohne PSA) aus. Die Auswirkungen auf das subjektive Wohlbefinden der Teilnehmenden wurden mit Hilfe eines Fragebogens ermittelt.

Die Ergebnisse zeigen, dass Hitze einen größeren Einfluss auf die thermische, physische und psychische Belastung hatte, als die PSA. Umgekehrt hatte PSA eine größere Wirkung auf die körperliche Beanspruchung und Anstrengung. In den meisten Fällen führte die kombinierte Exposition gegenüber Hitze und zeitgleich getragener PSA zu den höchsten selbstempfundenen Beschwerden. Darüber hinaus berichteten die Teilnehmenden über vermehrtes Schwitzen und andere Unannehmlichkeiten, wenn sie bei erhöhten Temperaturen oder mit PSA arbeiteten.

In dieser Studie wurden saisonale Hitze und PSA, insbesondere aber die Kombination beider Faktoren, als ungünstige Arbeitsbedingungen identifiziert. Obwohl die Versuche in einer kontrollierten Umgebung durchgeführt wurden, liefern die Ergebnisse wertvolle Informationen über die Auswirkungen von saisonaler Hitze und PSA auf Beschäftigte des Gesundheitswesens in einer realen Umgebung. Darüber hinaus kann das in dieser Studie verwendete Design bei der Bewertung der Wirkung von Schutzmaßnahmen von Vorteil sein.

In der Studie „Effects of heat and personal protective equipment on thermal strain in healthcare workers: part B—application of wearable sensors to observe heat strain among healthcare workers under controlled conditions“ (Wibowo et al., 2024) führten 18 Teilnehmende pflegerische Tätigkeiten nach einem standardisierten Protokoll unter kontrollierten klimatischen Bedingungen durch. Die Bedingungen waren (a) 22 °C, (b) 22 °C und PSA, (c) 27 °C und (d) 27 °C und PSA. Ein Ohrsensor und ein Hautsensor wurden verwendet, um die physiologischen Parameter der Teilnehmenden aufzuzeichnen.

Die Ergebnisse zeigen, dass Hitze und PSA einen signifikanten Einfluss auf die gemessenen physiologischen Parameter hatten. Beim Tragen von PSA war die Körpertemperatur der Teilnehmer im Median um 0,1 °C höher als ohne PSA. Bei 27 °C war die Körpertemperatur im Median 0,5 °C höher als bei 22 °C. Bei der mittleren Hauttemperatur führte das Tragen von

PSA zu einem Anstieg um 0,4 °C und höhere Raumtemperaturen zu einem Anstieg um 1,0 °C. Ein Anstieg der mittleren Herzfrequenz wurde auch bei PSA (+ 2/min) und Hitze (+ 3/min) beobachtet.

Durch den klimawandelbedingten Anstieg der Temperatur in den Sommermonaten können Gesundheitsrisiken für Beschäftigte verschärft werden. Weitere Studien mit gut konzipierten Interventionen (beispielsweise Kühlwesten) sind erforderlich, um in der Praxis umsetzbare Schutzmaßnahmen zu entwickeln.

Exposition gegenüber psychischen Belastungsfaktoren

Neben den physischen Einflüssen am Arbeitsplatz können auch psychische Faktoren zu Gesundheitsproblemen bei Beschäftigten führen. Die Arbeit in der Pflege ist mit einem hohen Maß an beruflichem Stress verbunden, der erhebliche Risiken für die Gesundheit birgt (Copanitsanou et al., 2017; Lu et al., 2019). Die fortlaufende Exposition gegenüber Stressfaktoren am Arbeitsplatz konnte bereits mit verschiedenen negativen Auswirkungen auf die Gesundheit, wie beispielsweise kardiovaskuläre Erkrankungen, in Verbindung gebracht werden (Kivimaki & Kawachi, 2015; Kivimaki et al., 2012; Madsen et al., 2017; Taouk et al., 2020). Bisherige Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass systemische Entzündungen niedrigen Grades eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung chronischer Erkrankungen spielen (Couzin-Frankel, 2010; Liu et al., 2017; Rohleder, 2019). Es wird vermutet, dass systemische Entzündungsmarker wie das C-reaktive Protein (CRP) oder zirkulierende Leukozyten am atherosklerotischen Prozess beteiligt sind (Ridker & Luscher, 2014; Sin & Man, 2003). Die folgenden Studien fokussieren auf biologisch nachweisbare Auswirkungen psychischer Belastungsfaktoren bei Beschäftigten im Gesundheitswesen, im Speziellen in Altenpflegeeinrichtungen.

Die Studie „Psychosocial working conditions and chronic low-grade inflammation in geriatric care professionals: A cross-sectional study“ (Kaltenegger et al., 2022) untersucht den Zusammenhang zwischen psychosozialen Arbeitsbedingungen und der Erhöhung von Entzündungsparametern (CRP, Leukozytenanzahl) bei Beschäftigten in Altenpflegeeinrichtungen. Es wurde eine Querschnittsstudie durchgeführt, um den Zusammenhang von psychosozialen Arbeitsbelastungen und der Entzündungsmarker-Konzentration bei Beschäftigten in Altenpflegeeinrichtungen zu untersuchen. Zur Bewertung psychosozialer Arbeitsmerkmale (Arbeitsüberlastung, Arbeitsautonomie, soziale Unterstützung) wurden standardisierte Fragebögen auf der Grundlage des

Arbeitsbelastungsmodells von Karasek verwendet. Für die Biomarker wurden Blutproben entnommen. Die Analysen umfassten uni- und multivariate logistische und lineare Regressionsanalysen. Bei 5,4 % der Teilnehmenden konnte eine leichte Erhöhung des CRP nachgewiesen werden. Zudem war eine hohe berufliche Autonomie mit erhöhten CRP-Werten verbunden (bereinigte OR = 4,10, 95% CI [1,10, 15,26], $p = .035$). Es wurden keine signifikanten Zusammenhänge mit der Leukozytenzahl der Teilnehmer festgestellt.

Die Studie trägt zur Erforschung der Zusammenhänge zwischen Stress am Arbeitsplatz und den daraus resultierenden Erkrankungen bei Beschäftigten in Altenpflegeeinrichtungen bei. Die Ergebnisse der Studie können dazu beitragen, Risiko- und Schutzfaktoren des Arbeitsumfelds für erhöhte Entzündungsparameter zu identifizieren. Die Ergebnisse bedürfen jedoch einer genaueren Untersuchung, und künftige prospektive Studien über Zusammenhänge zwischen psychosozialen Arbeitsbedingungen, geringgradigen Entzündungen und langfristigen Gesundheitsergebnissen bei Pflegekräften sind erforderlich.

In der Studie „Learning on the job, the use of selection, optimization, and compensation strategies, and their association with telomere length as an indicator of biological aging“ (Weber et al., 2019) wurde die Beziehung zwischen der Leukozyten-Telomerlänge (LTL), einem potenziellen Biomarker für biologisches Altern, und Auswahl, Optimierung und Kompensation (SOK) sowie Lernmöglichkeiten als Strategien, die ein effizientes Management und den Gewinn von Ressourcen am Arbeitsplatz beinhalten, untersucht. Aufgrund des zunehmenden Bedarfs an älteren Arbeitskräften, der durch den demografischen Wandel verursacht wird, ist die Unterstützung des gesunden Alterns in der Arbeitswelt von zunehmender Bedeutung. Eine vorhergehende Studie (Chmelar et al., 2017) fokussierte sich auf die Analyse der Arbeitsbedingungen, insbesondere des Stresses, umfasste jedoch nicht das Lernen am Arbeitsplatz und die SOK-Strategien. Zu diesem Zweck wurden die gemeinsamen Auswirkungen von Lernmöglichkeiten und der Nutzung von SOK-Strategien auf die LTL von peripheren Blutleukozyten als biologischem Marker für die Alterung bestimmt. Insgesamt untersuchte die Studie, ob Lernmöglichkeiten im Rahmen der Tätigkeit und die Nutzung von SOK-Strategien mit längeren Telomeren verbunden sind es einen Interaktionseffekt zwischen Lernmöglichkeiten und der Nutzung von SOK-Strategien auf die LTL gibt.

Im Rahmen der Querschnittsstudie wurden Beschäftigten in Altenpflegeeinrichtungen Blutproben entnommen, um die LTL mittels PCR zu messen. Außerdem wurden alle Teilnehmer mit standardisierten Fragebögen gebeten, ihre Lernmöglichkeiten bei der Arbeit und die Verwendung von SOK-Strategien zu bewerten. Die Analysen wurden mittels multipler linearer Regressionen durchgeführt.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass bei Beschäftigten in Altenpflegeeinrichtungen SOK-Strategien und Lernmöglichkeiten tendenziell mit der LTL der peripheren Blutleukozyten verbunden sind. Die Ergebnisse bedürfen jedoch einer genaueren Untersuchung. Unsere Ergebnisse könnten für die Konzeption zukünftiger Studien nützlich sein, da sie auf ein Zusammenspiel zwischen psychosozialen Arbeitsbedingungen und individuellen Verhaltensstrategien hinweisen, das sich möglicherweise in Markern des biologischen Alterns wie der LTL widerspiegelt. Vor allem aber wären weiterführende Längsschnittuntersuchungen hilfreich, um die kausalen Zusammenhänge zwischen ungünstigen und günstigen psychosozialen Arbeitsbedingungen und biologischer Alterung zu entschlüsseln.

Schlussfolgerung

Auf der Basis der genannten Studien arbeitet dieses Habitationsprojekt den Einfluss einiger spezifischer Einflüsse der Arbeitsumgebung auf Beschäftigte und Bystander heraus. Es wurde aufgezeigt, in wieweit verschiedene Umgebungsfaktoren die Gesundheit der Beschäftigten und Bystander beeinträchtigen können. Auf diese Weise sollen die Ergebnisse dieser Habilitationsschrift zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen beitragen und als Grundlage für zukünftige Präventionsmaßnahmen dienen.

Literatur

- Awad el Karim, M. A., Gad el Rab, M. O., Omer, A. A., & el Haimi, Y. A. (1986). Respiratory and allergic disorders in workers exposed to grain and flour dusts. *Arch Environ Health*, 41(5), 297-301. <https://doi.org/10.1080/00039896.1986.9936700>
- Böhlandt A, S. R. (2016). Benefits of Wipe Sampling: Evaluation of Long-Term 5-Fluorouracil and Platinum Monitoring Data. *Pharm Technol Hops Pharm* 1(3), 139-150.
- Cebrian, F., Montero, J. C., & Fernandez, P. J. (2018). New approach to environmental investigation of an explosive legionnaires disease outbreak in Spain: early identification of potential risk sources by rapid Legionella spp immunosensing technique. *BMC Infect Dis*, 18(1), 696. <https://doi.org/10.1186/s12879-018-3605-8>
- Chabut, C., Tanguay, C., Gagne, S., Caron, N., & Bussieres, J. F. (2022). Surface contamination with nine antineoplastic drugs in 109 canadian centers; 10 years of a monitoring program. *J Oncol Pharm Pract*, 28(2), 343-352. <https://doi.org/10.1177/1078155221992103>
- Chan-Yeung, M., Malo, J. L., Tarlo, S. M., Bernstein, L., Gautrin, D., Mapp, C., Newman-Taylor, A., Swanson, M. C., Perrault, G., Jaques, L., Blanc, P. D., Vandenplas, O., Cartier, A., Becklake, M. R., & American Thoracic, S. (2003). Proceedings of the first Jack Pepys Occupational Asthma Symposium. *Am J Respir Crit Care Med*, 167(3), 450-471. <https://doi.org/10.1164/rccm.167.3.450>
- Chmelar, C., Jorres, R. A., Kronseder, A., Muller, A., Nowak, D., & Weigl, M. (2017). Associations Between Age, Psychosocial Work Conditions, Occupational Health-Being, and Telomere Length in Geriatric Care Professionals: A Mixed-Methods Study. *J Occup Environ Med*, 59(10), 949-955. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000001102>
- Copanitsanou, P., Fotos, N., & Brokalaki, H. (2017). Effects of work environment on patient and nurse outcomes. *Br J Nurs*, 26(3), 172-176. <https://doi.org/10.12968/bjon.2017.26.3.172>
- Couzin-Frankel, J. (2010). Inflammation bares a dark side. *Science*, 330(6011), 1621. <https://doi.org/10.1126/science.330.6011.1621>
- De Matteis, S., Heederik, D., Burdorf, A., Colosio, C., Cullinan, P., Henneberger, P. K., Olsson, A., Raynal, A., Rooijackers, J., Santonen, T., Sastre, J., Schlunssen, V., van Tongeren, M., Sigsgaard, T., European Respiratory Society, E., & Health, C. (2017). Current and new challenges in occupational lung diseases. *Eur Respir Rev*, 26(146). <https://doi.org/10.1183/16000617.0080-2017>
- ECDC. (2015). *Legionnaires' disease in Europe 2013*.
- Fields, B. S., Benson, R. F., & Besser, R. E. (2002). Legionella and Legionnaires' disease: 25 years of investigation. *Clin Microbiol Rev*, 15(3), 506-526. <https://doi.org/10.1128/CMR.15.3.506-526.2002>
- Frye, B. C., Quartucci, C., Rakete, S., Grubanovic, A., Hohne, K., Mangold, F., Giere, R., Muller-Quernheim, J., & Zissel, G. (2021). A Cluster of Beryllium Sensitization Traced to the Presence of Beryllium in Concrete Dust. *Chest*, 159(3), 1084-1093. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.09.073>
- Hammami, N., Laisnez, V., Wybo, I., Uvijin, D., Broucke, C., Van Damme, A., Van Zandweghe, L., Bultynck, W., Temmerman, W., Van De Ginste, L., Moens, T., & Robesyn, E. (2019). A cluster of Legionnaires' disease in Belgium linked to a cooling tower, August-September 2016: practical approach and challenges. *Epidemiol Infect*, 147, e326. <https://doi.org/10.1017/S0950268819001821>
- Holleman A, W. E. (2008). Kapitel XXIII Die Zinkgruppe, Abschnitt 2, Das Quecksilber. In *Lehrbuch der Anorganischen Chemie* (Vol. 102, pp. 1497-1512).
- Jacobs, J. H., Meijster, T., Meijer, E., Suarathana, E., & Heederik, D. (2008). Wheat allergen exposure and the prevalence of work-related sensitization and allergy in bakery workers. *Allergy*, 63(12), 1597-1604. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2008.01698.x>

- Kaltenegger, H. C., Weigl, M., Becker, L., Rohleder, N., Nowak, D., & Quartucci, C. (2022). Psychosocial working conditions and chronic low-grade inflammation in geriatric care professionals: A cross-sectional study. *PLoS One*, *17*(9), e0274202. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274202>
- Kenny, G. P., Yardley, J., Brown, C., Sigal, R. J., & Jay, O. (2010). Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases. *CMAJ*, *182*(10), 1053-1060. <https://doi.org/10.1503/cmaj.081050>
- Kivimaki, M., & Kawachi, I. (2015). Work Stress as a Risk Factor for Cardiovascular Disease. *Curr Cardiol Rep*, *17*(9), 630. <https://doi.org/10.1007/s11886-015-0630-8>
- Kivimaki, M., Nyberg, S. T., Batty, G. D., Fransson, E. I., Heikkila, K., Alfredsson, L., Bjorner, J. B., Borritz, M., Burr, H., Casini, A., Clays, E., De Bacquer, D., Dragano, N., Ferrie, J. E., Geuskens, G. A., Goldberg, M., Hamer, M., Hooftman, W. E., Houtman, I. L., . . . Consortium, I. P.-W. (2012). Job strain as a risk factor for coronary heart disease: a collaborative meta-analysis of individual participant data. *Lancet*, *380*(9852), 1491-1497. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60994-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60994-5)
- Klaut, G. M., Karrasch, S., Kutzora, S., Nowak, D., & Quartucci, C. (2024). The impact of years of training and possible technical, procedural, and individual risk factors for the development of atopic symptoms among bakery and confectionery trainees. *Int Arch Occup Environ Health*. <https://doi.org/10.1007/s00420-024-02079-7>
- Koutsimpani-Wagner, A., Quartucci, C., Rooney, J. P. K., Bose-O'Reilly, S., & Rakete, S. (2022). Mercury biomonitoring in German adults using volumetric absorptive microsampling. *Environ Monit Assess*, *194*(4), 315. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09962-1>
- Lahne, H., Gerstner, D., Volkel, W., Schober, W., Aschenbrenner, B., Herr, C., Heinze, S., & Quartucci, C. (2024). Human biomonitoring follow-up study on PFOA contamination and investigation of possible influencing factors on PFOA exposure in a German population originally exposed to emissions from a fluoropolymer production plant. *Int J Hyg Environ Health*, *259*, 114387. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2024.114387>
- Lahne, H., Strasser, A., Weilhhammer, V., Sirrenberg, M., Heinze, S., & Quartucci, C. (2024). Thematisierung saisonaler Hitze in der Gefährdungsbeurteilung- Addressing seasonal heat in the risk assessment. *Umweltmed – Hygiene – Arbeitsmed*, *29*(1), 7-11.
- Levi, M., Kjellstrom, T., & Baldasseroni, A. (2018). Impact of climate change on occupational health and productivity: a systematic literature review focusing on workplace heat. *Med Lav*, *109*(3), 163-179. <https://doi.org/10.23749/mdl.v109i3.6851>
- Liu, Y. Z., Wang, Y. X., & Jiang, C. L. (2017). Inflammation: The Common Pathway of Stress-Related Diseases. *Front Hum Neurosci*, *11*, 316. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00316>
- Lu, H., Zhao, Y., & While, A. (2019). Job satisfaction among hospital nurses: A literature review. *Int J Nurs Stud*, *94*, 21-31. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2019.01.011>
- Madsen, I. E. H., Nyberg, S. T., Magnusson Hanson, L. L., Ferrie, J. E., Ahola, K., Alfredsson, L., Batty, G. D., Bjorner, J. B., Borritz, M., Burr, H., Chastang, J. F., de Graaf, R., Dragano, N., Hamer, M., Jokela, M., Knutsson, A., Koskenvuo, M., Koskinen, A., Leineweber, C., . . . Consortium, I. P.-W. (2017). Job strain as a risk factor for clinical depression: systematic review and meta-analysis with additional individual participant data. *Psychol Med*, *47*(8), 1342-1356. <https://doi.org/10.1017/S003329171600355X>
- Maisa, A., Brockmann, A., Renken, F., Luck, C., Pleischl, S., Exner, M., Daniels-Haardt, I., & Jurke, A. (2015). Epidemiological investigation and case-control study: a Legionnaires' disease outbreak associated with cooling towers in Warstein, Germany, August-September 2013. *Euro Surveill*, *20*(46). <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2015.20.46.30064>
- Muenchhoff, M., Graf, A., Krebs, S., Quartucci, C., Hasmann, S., Hellmuth, J. C., Scherer, C., Osterman, A., Boehm, S., Mandel, C., Becker-Pennrich, A. S., Zoller, M., Stubbe, H. C., Munker, S., Munker, D., Milger, K., Gapp, M., Schneider, S., Ruhle, A., . . . Keppler, O. T. (2021). Genomic epidemiology reveals multiple introductions of SARS-CoV-2 followed by community and

- nosocomial spread, Germany, February to May 2020. *Euro Surveill*, 26(43). <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2021.26.43.2002066>
- Nicholson, P. J., Cullinan, P., Taylor, A. J., Burge, P. S., & Boyle, C. (2005). Evidence based guidelines for the prevention, identification, and management of occupational asthma. *Occup Environ Med*, 62(5), 290-299. <https://doi.org/10.1136/oem.2004.016287>
- Palamini, M., Gagne, S., Caron, N., & Bussieres, J. F. (2020). Cross-sectional evaluation of surface contamination with 9 antineoplastic drugs in 93 Canadian healthcare centers: 2019 results. *J Oncol Pharm Pract*, 26(8), 1921-1930. <https://doi.org/10.1177/1078155220907125>
- Quartucci, C., Rooney, J. P. K., Nowak, D., & Rakete, S. (2023). Evaluation of long-term data on surface contamination by antineoplastic drugs in pharmacies. *Int Arch Occup Environ Health*. <https://doi.org/10.1007/s00420-023-01963-y>
- Quartucci, C., Wibowo, R., Do, V., Bose, O. R. S., Nowak, D., Weilhhammer, V., Weinmann, T., & Rakete, S. (2024). Assessment of subjective well-being of healthcare workers in response to heat and personal protective equipment under controlled conditions using a standardized protocol. *J Occup Med Toxicol*, 19(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s12995-024-00418-5>
- Quirce, S., & Diaz-Perales, A. (2013). Diagnosis and management of grain-induced asthma. *Allergy Asthma Immunol Res*, 5(6), 348-356. <https://doi.org/10.4168/aair.2013.5.6.348>
- Redwitz, R., Streich, P., Zamfir, M., Walser-Reichenbach, S., Seidel, M., Herr, C., Heinze, S., & Quartucci, C. (2024). Verification and application of qPCR and viability-qPCR for Legionella monitoring in evaporative cooling systems complementing the conventional culture method *Science of the Total Environment*
- Ridker, P. M., & Luscher, T. F. (2014). Anti-inflammatory therapies for cardiovascular disease. *Eur Heart J*, 35(27), 1782-1791. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehu203>
- RKI. (2021). *Infektionsepidemiologisches Jahrbuch meldepflichtiger Krankheiten für 2020*.
- Rohleder, N. (2019). Stress and inflammation - The need to address the gap in the transition between acute and chronic stress effects. *Psychoneuroendocrinology*, 105, 164-171. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2019.02.021>
- Rumchev, K., Zhao, Y., & Lee, A. (2021). Case Report: Occupational Dust Exposure Among Bakery Workers in Perth, Western Australia. *Front Public Health*, 9, 723154. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.723154>
- Schierl, R., Bohlandt, A., & Nowak, D. (2009). Guidance values for surface monitoring of antineoplastic drugs in German pharmacies. *Ann Occup Hyg*, 53(7), 703-711. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mep050>
- Schierl, R., Masini, C., Groeneveld, S., Fischer, E., Bohlandt, A., Rosini, V., & Paolucci, D. (2016). Environmental contamination by cyclophosphamide preparation: Comparison of conventional manual production in biological safety cabinet and robot-assisted production by APOTECaChemo. *J Oncol Pharm Pract*, 22(1), 37-45. <https://doi.org/10.1177/1078155214551316>
- Schweizer, A. K., Kabesch, M., Quartucci, C., Bose-O'Reilly, S., & Rakete, S. (2021). Implementation of mercury biomonitoring in German adults using dried blood spot sampling in combination with direct mercury analysis. *Environ Monit Assess*, 193(8), 488. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09254-0>
- Sin, D. D., & Man, S. F. (2003). Why are patients with chronic obstructive pulmonary disease at increased risk of cardiovascular diseases? The potential role of systemic inflammation in chronic obstructive pulmonary disease. *Circulation*, 107(11), 1514-1519. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000056767.69054.b3>
- Soriano, D., Quartucci, C., Agarwal, P., Muller-Quernheim, J., & Frye, B. C. (2022). [Sarcoidosis and berylliosis]. *Internist (Berl)*, 63(5), 557-565. <https://doi.org/10.1007/s00108-022-01323-x> (Sarkoidose und Berylliose.)

- Taouk, Y., Spittal, M. J., LaMontagne, A. D., & Milner, A. J. (2020). Psychosocial work stressors and risk of all-cause and coronary heart disease mortality: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Work Environ Health*, 46(1), 19-31. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3854>
- Tarlo, S. M., Balmes, J., Balkissoon, R., Beach, J., Beckett, W., Bernstein, D., Blanc, P. D., Brooks, S. M., Cowl, C. T., Daroowalla, F., Harber, P., Lemiere, C., Liss, G. M., Pacheco, K. A., Redlich, C. A., Rowe, B., & Heitzer, J. (2008). Diagnosis and management of work-related asthma: American College Of Chest Physicians Consensus Statement. *Chest*, 134(3 Suppl), 1S-41S. <https://doi.org/10.1378/chest.08-0201>
- Walser, S. M., Gerstner, D. G., Brenner, B., Holler, C., Liebl, B., & Herr, C. E. (2014). Assessing the environmental health relevance of cooling towers--a systematic review of legionellosis outbreaks. *Int J Hyg Environ Health*, 217(2-3), 145-154. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2013.08.002>
- Weber, J., Jorres, R., Kronseder, A., Muller, A., Weigl, M., & Chmelar, C. (2019). Learning on the job, the use of selection, optimization, and compensation strategies, and their association with telomere length as an indicator of biological aging. *Int Arch Occup Environ Health*, 92(3), 361-370. <https://doi.org/10.1007/s00420-019-01408-5>
- Weinberger, T., Steffen, J., Osterman, A., Mueller, T. T., Muenchhoff, M., Wratil, P. R., Graf, A., Krebs, S., Quartucci, C., Spaeth, P. M., Grabein, B., Adorjan, K., Blum, H., Keppler, O. T., & Klein, M. (2021). Prospective Longitudinal Serosurvey of Healthcare Workers in the First Wave of the Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) Pandemic in a Quaternary Care Hospital in Munich, Germany. *Clin Infect Dis*, 73(9), e3055-e3065. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa1935>
- Wibowo, R., Do, V., Quartucci, C., Koller, D., Daanen, H. A. M., Nowak, D., Bose-O'Reilly, S., & Rakete, S. (2024). Effects of heat and personal protective equipment on thermal strain in healthcare workers: part B-application of wearable sensors to observe heat strain among healthcare workers under controlled conditions. *Int Arch Occup Environ Health*, 97(1), 35-43. <https://doi.org/10.1007/s00420-023-02022-2>

Übersicht über die der Habilitationsschrift zugrunde liegenden Arbeiten

Frye, B. C., Quartucci, C., Rakete, S., Grubanovic, A., Hohne, K., Mangold, F., Giere, R., Muller-Quernheim, J., & Zissel, G. (2021). A Cluster of Beryllium Sensitization Traced to the Presence of Beryllium in Concrete Dust. *Chest*, 159(3), 1084-1093. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.09.073>

Kaltenegger, H. C., Weigl, M., Becker, L., Rohleder, N., Nowak, D., & Quartucci, C. (2022). Psychosocial working conditions and chronic low-grade inflammation in geriatric care professionals: A cross-sectional study. *PLoS One*, 17(9), e0274202. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274202>

Kaltenegger, H.C., Becker, L., Rohleder, N. et al. Associations of technostressors at work with burnout symptoms and chronic low-grade inflammation: a cross-sectional analysis in hospital employees. *Int Arch Occup Environ Health* 96, 839–856 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00420-023-01967-8>

Klaut, G. M., Karrasch, S., Kutzora, S., Nowak, D., & Quartucci, C. (2024). The impact of years of training and possible technical, procedural, and individual risk factors for the development of atopic symptoms among bakery and confectionery trainees. *Int Arch Occup Environ Health*. <https://doi.org/10.1007/s00420-024-02079-7>

Koutsimpani-Wagner, A., Quartucci, C., Rooney, J. P. K., Bose-O'Reilly, S., & Rakete, S. (2022). Mercury biomonitoring in German adults using volumetric absorptive microsampling. *Environ Monit Assess*, 194(4), 315. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09962-1>

Lahne, H., Gerstner, D., Volkel, W., Schober, W., Aschenbrenner, B., Herr, C., Heinze, S., & Quartucci, C. (2024). Human biomonitoring follow-up study on PFOA contamination and investigation of possible influencing factors on PFOA exposure in a German population originally exposed to emissions from a fluoropolymer production plant. *Int J Hyg Environ Health*, 259, 114387. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2024.114387>

Mittermeier I, Merlic D, Braschl S, Sealtiel L, Weilnhammer V, Quartucci C, Weinmann T, Adorjan K, Gerstner D, Heinze S, Herr C, Sirrenberg M. Mental health and work-related factors in healthcare workers in a pandemic - meta-analysis. *Psychol Health Med*. 2023 Dec;28(10):3005-3051. doi: 10.1080/13548506.2023.2193750. Epub 2023 Mar 26. PMID: 36967568.

Muenchhoff, M., Graf, A., Krebs, S., Quartucci, C., Hasmann, S., Hellmuth, J. C., Scherer, C., Osterman, A., Boehm, S., Mandel, C., Becker-Pennrich, A. S., Zoller, M., Stubbe, H. C., Munker, S., Munker, D., Milger, K., Gapp, M., Schneider, S., Ruhle, A., . . . Keppler, O. T. (2021). Genomic epidemiology reveals multiple introductions of SARS-CoV-2 followed by community and nosocomial spread, Germany, February to May 2020. *Euro Surveill*, 26(43). <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2021.26.43.2002066>

Quartucci, C., Rooney, J. P. K., Nowak, D., & Rakete, S. (2023). Evaluation of long-term data on surface contamination by antineoplastic drugs in pharmacies. *Int Arch Occup Environ Health*. <https://doi.org/10.1007/s00420-023-01963-y>

Quartucci, C., Wibowo, R., Do, V., Bose, O. R. S., Nowak, D., Weilnhammer, V., Weinmann, T., & Rakete, S. (2024). Assessment of subjective well-being of healthcare workers in response to heat and personal protective equipment under controlled conditions using a standardized protocol. *J Occup Med Toxicol*, 19(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s12995-024-00418-5>

Redwitz, R., Streich, P., Zamfir, M., Walser-Reichenbach, S., Seidel, M., Herr, C., Heinze, S., & Quartucci, C. (2024). Verification and application of qPCR and viability-qPCR for Legionella monitoring in

evaporative cooling systems complementing the conventional culture method *Science of the Total Environment*

Schweizer, A. K., Kabesch, M., Quartucci, C., Bose-O'Reilly, S., & Rakete, S. (2021). Implementation of mercury biomonitoring in German adults using dried blood spot sampling in combination with direct mercury analysis. *Environ Monit Assess*, 193(8), 488. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09254-0>

Weber, J., Jorres, R., Kronseder, A., Muller, A., Weigl, M., & Chmelar, C. (2019). Learning on the job, the use of selection, optimization, and compensation strategies, and their association with telomere length as an indicator of biological aging. *Int Arch Occup Environ Health*, 92(3), 361-370. <https://doi.org/10.1007/s00420-019-01408-5>

Weinberger, T., Steffen, J., Osterman, A., Mueller, T. T., Muenchhoff, M., Wratil, P. R., Graf, A., Krebs, S., Quartucci, C., Spaeth, P. M., Grabein, B., Adorjan, K., Blum, H., Keppler, O. T., & Klein, M. (2021). Prospective Longitudinal Serosurvey of Healthcare Workers in the First Wave of the Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) Pandemic in a Quaternary Care Hospital in Munich, Germany. *Clin Infect Dis*, 73(9), e3055-e3065. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa1935>

Wibowo, R., Do, V., Quartucci, C., Koller, D., Daanen, H. A. M., Nowak, D., Bose-O'Reilly, S., & Rakete, S. (2024). Effects of heat and personal protective equipment on thermal strain in healthcare workers: part B-application of wearable sensors to observe heat strain among healthcare workers under controlled conditions. *Int Arch Occup Environ Health*, 97(1), 35-43. <https://doi.org/10.1007/s00420-023-02022-2>