



Sachstand

Gesundheitliche Auswirkungen von Laserdruckeremissionen Informationen zu ausgewählten Studien

Gesundheitliche Auswirkungen von Laserdruckeremissionen

Informationen zu ausgewählten Studien

Aktenzeichen: WD 9 - 3000 - 094/19
Abschluss der Arbeit: 24. Januar 2020
Fachbereich: WD 9: Gesundheit, Familie, Senioren, Frauen und Jugend

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
2.	Studien zur Ermittlung der Nanopartikelemission durch Laserdrucker	7
3.	Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen einer kurzzeitigen Exposition gegenüber Druckeremissionen	8
4.	Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen einer beruflichen Langzeitexposition gegenüber Druckeremissionen	11

1. Einleitung

Laserdrucker und Kopierer geben während des Druckvorgangs verschiedene Nanopartikel an die Raumluft ab. Seit Jahren wird diskutiert, ob die Emissionen dieser Geräte negative gesundheitliche Auswirkungen auf den menschlichen Körper bis hin zu einer erhöhten Krebsgefahr haben und inwieweit mögliche Gefahren insbesondere im Bereich der Arbeitsmedizin und des Arbeitsschutzes beachtet werden müssen¹. Eine ganze Reihe von Institutionen haben – teilweise schon vor einigen Jahren – das bestehende Gesundheitsrisiko von Laserdruckeremissionen eingeschätzt und es wurden entsprechende Empfehlungen veröffentlicht.

So kam z. B. das Bundesinstitut für Risikoforschung (BfR) in einer Risikoeinschätzung, der sog. Toner-Studie², im Jahr 2008 zu dem Ergebnis, dass die Prävalenz für das Auftreten gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch Laserdruckeremissionen gering sei. Auch seien nach den dem BfR vorliegenden Daten schwerwiegende Gesundheitsschäden von Ärzten nicht beobachtet worden. Zwar könne aufgrund der vorliegenden Befunde zur gesundheitlichen Beeinträchtigung von Exponierten nicht ausgeschlossen werden, dass es durch die Exposition gegenüber Emissionen aus Büromaschinen zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen könne. Allerdings sei ein klarer Zusammenhang aufgrund der unzureichenden Datenlage nicht herzustellen. Auch seien die gesundheitlichen Beeinträchtigungen in den dokumentierten Fällen nicht schwerwiegend. Das BfR hat den zuständigen Ministerien³ die Durchführung von Studien empfohlen, die die Aufklärung der physikalischen und chemischen Identität der gemessenen Partikel zum Ziel haben. Die Ergebnisse der Untersuchungen zu den Partikeln sollten nach Ansicht des BfR ausgewertet werden, bevor weitere Studien mit kontrollierter humaner Exposition oder epidemiologische Studien erwogen werden.

Die Bewertung des BfR zu den Gesundheitsgefahren durch Laserdruckeremissionen ist nach Ansicht des Bundesumweltministeriums (BMU) nach wie vor eine der wichtigen Grundlagen für die Einschätzung.⁴ Die sog. Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes hat

-
1. Vergleiche zur Diskussion etwa den Beitrag von Witte, Julia/Balasko, Die Gefahr aus dem Laserdrucker, in: Die Welt vom 28. Dezember 2012, abrufbar unter https://www.welt.de/print/die_welt/hamburg/article112265173/Die-Gefahr-aus-dem-Laserdrucker.html oder auch: Die Wissenschaft ist uneins, Krebsgefahr durch Drucker?, in: ntv vom 11. Februar 2012, abrufbar unter <https://www.n-tv.de/technik/Krebsgefahr-durch-Drucker-article95517.html>.
 2. BfR (2008), BfR schließt Arbeiten zur „Toner“-Problematik mit einer gesundheitlichen Bewertung möglicher Risiken durch Druckeremissionen ab – Gesundheitliche Bewertung Nr. 014/2008 des BfR vom 31. März 2008, abrufbar unter https://www.bfr.bund.de/cm/343/bfr_schliesst_arbeiten_zur_toner_problematik_ab.pdf. Die Stellungnahme des BfR enthält eine Darstellung der bis zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vorliegenden Daten bzw. Studien zum Gefährdungspotential und der Exposition durch Druckeremissionen sowie Vorschläge zu risikomindernden Maßnahmen.
 3. Hierbei handelte es sich um die Bundesministerien für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie für Arbeit und Soziales.
 4. Vergleiche die Informationen auf der aktuellen Internetseite des BMU zum Thema Druckeremission, abrufbar unter <https://www.bmu.de/themen/gesundheit-chemikalien/gesundheit-und-umwelt/innenraumluft/emissionen-aus-laserdruckern/> (Stand 15. April 2019, zuletzt abgerufen am 20. Januar 2020).

sich in der Vergangenheit, letztmalig im Jahr 2017, ebenfalls wiederholt mit den Forschungsergebnissen zu Laserdruckeremissionen befasst. Laserdrucker sind nach Ansicht der IRK eine von vielen Quellen für Innenraumluftbelastungen, stellen aber keine spezifische Gesundheitsgefahr dar.⁵ Auch die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (baua) teilt die Einschätzung, dass keine Hinweise vorlägen, dass Laserdrucker und Kopiergeräte grundsätzlich eine relevante Rolle für Erkrankungen spielen würden.⁶

Dennoch gibt es Empfehlungen, die Belastung durch Druckeremissionen zu verringern. So empfiehlt das BfR zur Risikominimierung die Verwendung von Geräten, die den Standard des Umweltzeichens „Blauer Engel“ einhalten. Geräte, die dieses Umweltzeichen tragen, müssten Mindeststandards einhalten, wodurch hohe und gesundheitlich bedenkliche Benzolgehalte, wie sie in einzelnen Studien beim Druck- und Kopiervorgang gemessen wurden, vermieden würden.⁷ Das BfR verweist in diesem Zusammenhang auf die Empfehlungen die baua zum Umgang mit Druckern, inklusive ihrer Wartung, sowie zur Anschaffung neuer Geräte, zur nachträglichen Ausrüstung vorhandener Geräte und zu den Anforderungen an den Aufstellort. Die aktuellsten Empfehlungen stammen dabei aus dem Jahr 2017.⁸

Zur Vermeidung möglicher negativer Auswirkungen auf die Gesundheit wird teilweise ein Umstieg von Laserdruckern auf Tintenstrahldrucker vorgenommen bzw. angestrebt. So hat z. B. das niedersächsische Justizministerium im Jahr 2012 angekündigt, die bis dahin verwendeten Laserdrucker durch Tintenstrahldrucker zu ersetzen. Grund für diese Maßnahme sei, dass die Gesundheitsgefährdung durch Laserdruckeremissionen nicht vollständig ausgeschlossen werden könne.⁹ Der Austausch von Laserdrucker durch emissionsarme Tintenstrahldrucker wurde von der

5 Siehe die Ausführungen auf der Internetseite des BMU hierzu, abrufbar unter <https://www.bmu.de/themen/gesundheits-chemikalien/gesundheits-und-umwelt/innenraumluft/emissionen-aus-laserdruckern/>.

6 Baua (Hrsg.) (2015), Tonerstaub und Emissionen von Druckern und Kopierern am Arbeitsplatz, abrufbar unter https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Fokus/artikel17.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (zuletzt abgerufen am 20. Januar 2020).

7 BfR (2008), BfR schließt Arbeiten zur „Toner“-Problematik mit einer gesundheitlichen Bewertung möglicher Risiken durch Druckeremissionen ab – Gesundheitliche Bewertung Nr. 014/2008 des BfR vom 31. März 2008, abrufbar unter https://www.bfr.bund.de/cm/343/bfr_schliesst_arbeiten_zur_toner_problematik_ab.pdf.

8 Baua (2017), Drucker und Kopierer – Sicher bei der Arbeit nutzen, baua Praxis kompakt, 2. Aktualisierte Auflage, Mai 2017, abrufbar unter https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Praxis-kompakt/F43.pdf?__blob=publicationFile&v=7.

9 Vergleiche hierzu Presseartikel vom 17. November 2012, abrufbar unter <https://www.haz.de/Nachrichten/Der-Norden/Uebersicht/Justizministerium-lasst-4033-Drucker-verschrotten> (zuletzt abgerufen am 20. Januar 2020).

Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN im Jahr 2017 auch für die Bundesministerien und ihre nachgeordneten Behörden gefordert.¹⁰ Der entsprechende Antrag ist jedoch im Februar 2017 abgelehnt worden.¹¹

In den letzten Jahren wurden verschiedene Studien zur Frage, ob und inwieweit die bei der Bedienung von Druckern oder Kopierern entstehenden Emissionen gesundheitliche Auswirkungen auf die exponierten Personen haben, durchgeführt und veröffentlicht. In diesem Zusammenhang wird deutlich, dass es grundsätzlich problematisch ist, die konkreten gesundheitlichen Auswirkungen eines einzelnen Einflussfaktors – und damit auch von Druckeremissionen – auf den Menschen zu ermitteln. Insbesondere die Herstellung einer Kausalität zwischen einzelnen Einflussfaktoren und auftretenden gesundheitlichen Beeinträchtigungen ist im Einzelfall kaum nachweisbar. Die körperliche Reaktion auf das Vorliegen einzelner Faktoren und damit auch das Auftreten von bestimmten Symptomen bzw. Erkrankungen ist individuell zum Teil sehr verschieden. Insofern können bestimmte Einflussfaktoren lediglich als Risikofaktoren eingestuft werden. Um eine derartige Einschätzung vornehmen zu können, müssten entweder (gesunde) Testpersonen gezielt dem jeweiligen Risikofaktor ausgesetzt werden und die Folgen dieser Exposition mit Hilfe geeigneter Methoden auf bestimmte Lungenfunktionsparameter bzw. Biomarker anschließend untersucht werden oder der Gesundheitszustand von Personen, die dem entsprechenden Faktor ohnehin ausgesetzt sind, über einen längeren Zeitraum beobachtet werden. Dabei müsste jedoch der Einfluss anderer Risikofaktoren auf diese Parameter (wie z. B. Rauchen, Belastung der Innenraumluft durch andere Faktoren wie verbaute Materialien, Qualität der Lüftungsanlagen) soweit wie möglich ausgeschlossen werden.¹²

Die Gewinnung von Studienteilnehmern zur Ermittlung der unmittelbaren gesundheitlichen Folgen einer Exposition gegenüber Laserdruckeremissionen gestaltet sich aufgrund der möglichen negativen Auswirkungen jedoch insgesamt schwierig und wirft – jedenfalls bei einer längeren Exposition – nicht zuletzt ethische Fragen auf. Gleichwohl gibt es durchaus einzelne Untersuchungen, die Probanden gezielt gegenüber Laserdruckeremissionen exponiert und körperliche Reaktionen darauf gemessen haben. Diese Studien beziehen sich dabei ausschließlich auf die Ermittlung möglicher Veränderungen in Bezug auf verschiedene Parameter bzw. Biomarker aufgrund einer kurzzeitigen Exposition gegenüber Laserdruckeremissionen. Die gesundheitlichen Folgen einer länger anhaltenden Exposition wurden im Rahmen anderer Studien an beruflich exponierten Personen, die unabhängig von der Studie ohnehin einer (hohen) Nanopartikelkonzentration durch Laserdrucker ausgesetzt gewesen wären, untersucht.

10 BT-Drs. 18/10874, Innenraumluft sauber halten – Partikelfreisetzung aus Laserdruckern beenden, Antrag vom 18. Januar 2017, abrufbar unter <http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/18/108/1810874.pdf>.

11 BT-Drs. 18/11071, Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit zu dem Antrag BT-Drs. 18/10874, 2. Februar 2017, abrufbar unter <http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/18/110/1811071.pdf>.

12 Zu den Schwierigkeiten bei der Konzipierung und Auswertung von Beobachtungsstudien vergleiche Hammer, Gaël P. (u. a.) (2009), Vermeidung verzerrter Ergebnisse in Beobachtungsstudien, in: Deutsches Ärzteblatt, Jg. 106, Heft 41 vom 9. Oktober 2009, abrufbar unter <https://www.aerzteblatt.de/archiv/66222/Vermeidung-verzerrer-Ergebnisse-in-Beobachtungsstudien> (zuletzt abgerufen am 20. Januar 2020).

Nachfolgend werden auftragsgemäß die Ergebnisse ausgewählter aktueller Studien vorgestellt. Dabei werden zunächst einige Studien zur Ermittlung der Nanopartikelemission durch Laserdrucker und zur Abschätzung der Aufnahme von Nanopartikel durch die menschliche Lunge betrachtet. Anschließend werden Studien dargestellt, die sich mit den gesundheitlichen Auswirkungen von Laserdruckeremissionen auseinandergesetzt haben. Unterschieden wird dabei zwischen Studien, die sich mit den Folgen einer kurzzeitigen Exposition auseinandergesetzt haben und Studien, bei denen die Folgen einer Langzeitexposition im Mittelpunkt standen.

2. Studien zur Ermittlung der Nanopartikelemission durch Laserdrucker

Im Jahr 2018 wurde eine Studie¹³, die in Griechenland durchgeführt wurde, veröffentlicht, deren Ziel es zum einen war, die Emissionen von Laserprintern zu ermitteln, und zum anderen die Prozesse, die zu einer Erhöhung der Nanopartikelkonzentration führen, zu charakterisieren. Hierzu wurden die beim Druckvorgang entstehenden Emissionen in einer speziell angefertigten Versuchskammer sowie in einem Druckerraum gemessen und miteinander verglichen. Nach Angabe der Autoren sei dabei eine Vervielfachung der Partikeldosis durch den Druckvorgang im Vergleich zur ermittelten Hintergrundbelastung zu verzeichnen gewesen. Insbesondere bei dem ersten Druckvorgang des Tages sei jeweils ein starker Anstieg der Partikelkonzentration gemessen worden. Darüber hinaus sollte im Rahmen der Studie das Ausmaß der Belastung des menschlichen Körpers durch von Laserdruckern abgegebene Nanopartikel abgeschätzt werden. Zur Abschätzung dieser Expositionslast wurde mit dem ExDoM2 ein spezielles Modell der Dosimetrie (Dosismessung) angewendet. Unter Anwendung dieses Modells ergab die Kalkulation bezogen auf einen einzelnen männlichen Erwachsenen einen Anstieg der Partikelkonzentration in den Atemwegen beim Start des Druckvorgangs um das 14,6 bis 24,1fache und während des Druckvorgangs um das 1,2 bis 5,2fache. Die Abschätzung der Konzentration von Nanopartikeln, die von Laserdruckern während des Druckvorgangs abgegeben wurden, in der menschlichen Lunge stand auch im Mittelpunkt einer weiteren in Griechenland durchgeführten Studie¹⁴, die im Jahr 2016 veröffentlicht wurde. Anwendung fand hier das sog. Multiple-Path Particle Dosimetry Modell v.2.1 (MPPD V 2.1), das die Kalkulation von Partikelkonzentrationen in verschiedenen Teilen des Atemsystems für Partikel unterschiedlicher Größe ermöglicht.¹⁵

Die Ergebnisse einer weiteren Studie¹⁶ zur Frage, ob und in welchem Ausmaß Drucker Nanopartikel abgeben, wurden bereits im Jahr 2015 veröffentlicht. Im Rahmen der in China durchgeführten

13 Serfozo, Norbert (u. a.) (2018), Evaluation of nanoparticle emissions from a laser printer in an experimental chamber and estimation of the human particle dose, in: Environmental Science and Pollution Research (2018) 25, S. 13103–13117, in englischer Sprache abrufbar unter <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11356-018-1448-x> (Stand 20. Januar 2020).

14 Voliotis, Aristeidis (u. a.) (2016), Fine and ultrafine particle doses in the respiratory tract from digital printing operations, in: Environ Sci Pollut Res (2017) 24:3027-3037, abrufbar unter <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11356-016-8047-5.pdf>.

15 Vergleiche hierzu auch <https://www.ara.com/products/multiple-path-particle-dosimetry-model-mppd-v-211> (zuletzt aufgerufen am 20. Januar 2020).

16 Xiaofei, Shi (u. a.) (2015), Evaluation of Nanoparticles Emitted from Printers in a lean Chamber, a Copy Center and Office Rooms: Health Risks of Indoor Air Quality, in: Journal of Nanoscience and Nanotechnology, Vol. 15, Nr. 12, 2015, Abstract in englischer Sprache abrufbar unter <https://www.ingentaconnect.com/content/asp/-jnn/2015/00000015/00000012/art00026%3bjsessionid=3im0o5foxvfgd.x-ic-live-02>.

Untersuchung wurde anhand von insgesamt 55 verschiedenen Druckern – bei fünf dieser Drucker handelte es sich um Tintenstrahldrucker, die übrigen 50 waren Laserdrucker – ermittelt, wie hoch die Belastung der Innenraumluft mit Nanopartikeln durch den jeweiligen Druckvorgang war. Der überwiegende Teil der Messungen fand in Büroräumen statt, in drei Fällen wurden die Messungen in Kopierzentren durchgeführt. Darüber hinaus wurde die Freisetzung von Nanopartikeln während des gesamten Druckvorgangs in einer Versuchskammer untersucht. Die Auswertung der gewonnenen Daten habe nach Angabe der Autoren ergeben, dass die meisten der untersuchten Laserdrucker in mehr oder weniger hoher Konzentration während des Druckvorgangs Partikel an die Raumluft abgeben, denen die Benutzer der jeweiligen Geräte ausgesetzt seien. Sie stellten darüber hinaus fest, dass die abgegebenen Nanopartikel über einen längeren Zeitraum in der Innenraumluft verbleiben. So seien 2,5 Stunden nach dem Druckvorgang noch mindestens zehn Prozent der Partikel in der Raumluft enthalten. Wichtige Faktoren zur Einschätzung des Expositionsrisikos seien das jeweilige Druckermodell, die Qualität des verwendeten Toners sowie die Anzahl bzw. die Dauer der Druckvorgänge.

3. Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen einer kurzzeitigen Exposition gegenüber Druckeremissionen

Im Auftrag des Spitzenverbandes der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) wurde im Zeitraum Februar 2011 bis November 2013 ein Forschungsvorhaben zur Untersuchung möglicher Gesundheitsgefährdungen durch Drucker- und Kopiereremissionen durchgeführt, dessen Ergebnisse im Jahr 2014 veröffentlicht wurden.¹⁷ Die Studie bestand aus zwei Teilvorhaben: Zum einen aus der Charakterisierung der Emissionen in einer Versuchskammer und zum anderen aus der Exposition von Probanden in einer Expositions-kammer. Im Rahmen des zweiten Teilvorhabens wurden insgesamt 52 Probanden in einer Klimakammer für insgesamt jeweils effektiv 75 Minuten, aufgeteilt auf zwei Expositionen, gegenüber Laserdruckeremissionen entweder in sehr niedriger oder sehr hoher Partikelkonzentration exponiert. Die Teilnehmer stammten dabei aus drei verschiedenen Gruppen. So nahmen insgesamt 23 gesunde Personen, 14 Personen mit leichtem, stabilem Asthma sowie 15 Personen mit anamnestischen Beschwerden im Umgang mit Laserdruckern (Betroffene) an der Studie teil. Zur Feststellung möglicher gesundheitlicher Auswir-

17 DGUV (2014), Untersuchung möglicher gesundheitlicher Gefährdungen durch Drucker- und Kopiereremissionen – Abschlussbericht der Projektpartner, Mai 2014, abrufbar unter <https://www.dguv.de/projekt-daten-bank/0294a/dguv-druckerprojekt-abschlussbericht-050514-ehret.pdf>. Zum Teilvorhaben einer Exposition von Probanden in einer Klimakammer, Projekt-Nr. FF-FP 0294A, vergleiche auch https://www.dguv.de/ifa/forschung/projektverzeichnis/ff-fpa_0294.jsp (zuletzt aufgerufen am 20. Januar 2020).

kungen wurden bei den Teilnehmern verschiedene Lungenfunktionsparameter mit Hilfe der Spirometrie¹⁸ sowie der Ganzkörperplethysmographie¹⁹ sowie Verfahren des Entzündungsmonitorings in der Ausatemluft, dem Nasensekret sowie im Blut durchgeführt. Darüber hinaus wurden verschiedene psychologische und psychometrische Methoden zur Feststellung der Reaktion der Probanden auf die Exposition angewendet.

Nach Angabe der Autoren wurden zwar eine Reihe von Änderungen nach der Exposition gegenüber Laserdruckeremissionen beobachtet. Allerdings seien diese in der Regel sowohl nach der sehr hohen als auch der sehr geringen Exposition aufgetreten und ließen nicht auf eine spezifische Sensitivität der Gruppen der Betroffenen oder der Asthmatiker schließen.²⁰ Nach Ansicht der Autoren sei eine hohe Kurzzeitexposition aus klinischer Perspektive nicht als besorgniserregend einzustufen. Die beobachteten sehr geringen Effekte und nicht statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Expositionen seien zwar teils physiologisch und methodologisch von Interesse, könnten aber nicht mit gutem Grund als klinisch relevant bezeichnet werden.²¹ Die Ergebnisse der Studie sprächen nicht dafür, dass die Exposition gegenüber hohen Laserdruckeremissionen einen objektivierbaren, den berichteten Erkrankungen entsprechenden Krankheitsprozess auf den Weg bringen könnte.²² Die Autoren weisen in ihrem Bericht auch auf Limitationen der Studie hin. So seien die Teilnehmer lediglich einer kurzen Exposition ausgesetzt gewesen. Auch seien zeitverzögerte Reaktionen auf eine Exposition möglich, die im Rahmen der direkt nach der jeweiligen Exposition durchgeführten Untersuchungen bzw. Messungen ggf. nicht feststellbar gewesen seien. Gleichwohl sei dieses Risiko durch die Auswahl von entsprechenden Parametern minimiert worden.

Auf der Grundlage dieses Forschungsvorhabens wurden in den Folgejahren weitere Beiträge zu einzelnen betrachteten Fragestellungen veröffentlicht. So konzentriert sich eine Veröffentlichung²³ aus dem Jahr 2018 auf die psychologischen und kognitiven Effekte der Emissionen. Die akuten psychologischen und kognitiven Effekte einer Laserdruckeremission seien gering und nur

-
- 18 Hierbei handelt es sich um ein diagnostisches Verfahren der Pneumologie zur Beurteilung der Lungenfunktion, bei dem Lungen- bzw. Atemvolumina und Luftflussgeschwindigkeiten gemessen und aufgezeichnet werden. Vergleiche hierzu <https://www.psychyrembel.de/spirometrie/KOLBT/doc/> (zuletzt aufgerufen am 20. Januar 2020).
- 19 Hierbei handelt es sich um ein Verfahren der Lungenfunktionsprüfung zur Bestimmung des Atemwegswiderstands und intrathorakalen Gasvolumens. Dabei werden Atemstromstärke sowie die atemabhängigen Luftdruckschwankungen am Mund des Patienten gemessen und aufgezeichnet, während dieser in einer luftdicht verschlossenen Kammer sitzt und durch einen Pneumotachografen atmet. Vergleiche hierzu <https://www.psychyrembel.de/Bodyplethysmographie/K08FQ/doc/> (zuletzt aufgerufen am 20. Januar 2020).
- 20 Die einzelnen Ergebnisse sind ausführlich im Abschlussbericht des Projekts dargestellt. Eine Zusammenfassung der wesentlichen Messergebnisse sowie eine kurze Einordnung derselben findet sich in einem gesonderten Kapitel des Berichts, vgl. hierzu DGUV (2014), S. 207 ff.
- 21 DGUV (2014), S. 210 ff.
- 22 DGUV (2014), S. 212.
- 23 Herbig, B. (u. a.) (2018), Psychological and cognitive effects of laser printer emissions: A controlled exposure study, in: *Indoor Air*. 2018, 28, S. 112-124, in englischer Sprache abrufbar unter <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/ina.12429>.

bestimmten Teilnehmergruppen, nicht aber verschiedenen Emissionskonzentrationen zuzuordnen. Eine weitere Darstellung der Studienergebnisse²⁴ wurde im Jahr 2017 veröffentlicht. Die Autoren kommen auch hier zu dem Ergebnis, dass die experimentellen akuten Reaktionen auf eine kurze, aber sehr hohe Exposition gegenüber Laserdruckeremissionen gering gewesen seien und kein klinisch relevanter Effekt im Vergleich zu einer Exposition gegenüber einer geringen Partikelkonzentration feststellbar sei. Gleichwohl sei bei verschiedenen Parametern ein Anstieg nach der Exposition festgestellt worden, der jedoch sowohl bei der sehr hohen als auch der niedrigen Partikelkonzentration aufgetreten sei.

Eine im Jahr 2013 veröffentlichte Studie²⁵, in deren Rahmen ebenfalls Probanden gezielt den Emissionen von Fotokopierern ausgesetzt wurden, kam hingegen zu anderen Ergebnissen als die Projektgruppe des DGUV. Zur Ermittlung möglicher gesundheitlicher Auswirkungen verbrachten neun gesunde Personen im Alter von 19 bis 40 Jahren an zwei bis drei zufällig ausgewählten Tagen²⁶ jeweils sechs Stunden in gut besuchten Kopierzentren; hierbei waren die Teilnehmer einer stark variablen Nanopartikelbelastung ausgesetzt, da im Rahmen der Studie kein Einfluss auf die Anzahl der Kopiervorgänge genommen wurde. Die Exposition fand insofern nicht in einer Versuchskammer, sondern unter realen Bedingungen und über einen längeren Zeitraum als im Rahmen des DGUV-Forschungsprojektes statt. Zum Vergleich verbrachten die Teilnehmer jeweils einen Tag in einer druckerfreien Büroumgebung und damit in einer Umgebung mit relativ konstanter Hintergrundbelastung mit Nanopartikeln. Die Nanopartikelkonzentration war nach Angaben der Autoren fünfmal so hoch wie die Hintergrundbelastung. Vor und direkt nach dem Aufenthalt in den emissionsbelasteten Räumlichkeiten sowie 24 und 30 Stunden später wurden von den Testpersonen Proben der Nasenschleimhaut sowie Urinproben entnommen und auf das Vorhandensein verschiedener Zytokine²⁷ und Biomarker (insbesondere 8-hydroxydeoxyguanosine (8-OH-dG)²⁸) untersucht. Im Hinblick auf 8-OH-dG sowie verschiedener entzündungsfördernder

24 Karrasch, S. (u. a.) (2017), Health effects of laser printer emissions: a controlled exposure study, in: *Indoor Air*, 2017, Vol. 27, Nr. 4, S. 753-765, in englischer Sprache abrufbar unter <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ina.12366> (zuletzt aufgerufen am 20. Januar 2020).

25 Kathri, M. (u. a.) (2013), Nanoparticles from photocopiers induce oxidative stress and upper respiratory tract inflammation in healthy volunteers., in: *Nanotoxicology*, August 2013, 7(5), S. 1024-1027, Abstract in englischer Sprache abrufbar unter <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22632457> (zuletzt aufgerufen am 20. Januar 2020).

26 Im Rahmen der Studie war geplant, dass die Teilnehmer jeweils drei Tage im Kopierzentrum verbringen. Vier der neun Probanden waren dazu jedoch lediglich für zwei Tage bereit. Die Veröffentlichung gibt keine Auskunft darüber, aus welchen Gründen sich diese Teilnehmer in geringerem Umfang als geplant den Emissionen ausgesetzt haben. Möglicherweise sollte dadurch das mögliche Gesundheitsrisiko reduziert werden; dies würde die Schwierigkeit, Probanden für entsprechende experimentelle Studien zu finden, widerspiegeln.

27 Zytokine sind körpereigene Signalmoleküle, die von vielen Zellarten im Rahmen der natürlichen und spezifischen Immunantwort gebildet werden. Sie beeinflussen u. a. das Wachstum sowie proinflammatorische, immunregulatorische und hämatopoetische Eigenschaften von Entzündungszellen. Vergleiche hierzu <https://www.pschyrembel.de/zytokine/KOPJO/doc/> (zuletzt aufgerufen am 20. Januar 2020).

28 Hierbei handelt es sich um einen leicht messbaren Biomarker für oxidativen Stress, vergleiche hierzu <https://de.wikipedia.org/wiki/8-Hydroxydesoxyguanosin> (zuletzt aufgerufen am 20. Januar 2020).

Proteine wurde nach der Exposition mit Tonerstäuben eine zwei- bis zehnmals erhöhte Konzentration gemessen, die nach Angabe der Autoren bis zu 36 Stunden angehalten habe.

Aus diesen Messwerten schlussfolgern die Autoren, dass Kopierer Entzündungen der oberen Atemwege und oxidativen Stress induzieren. Diese Reaktionen hielten circa 24 Stunden an. Die Autoren halten es insgesamt für unwahrscheinlich, dass eine derartige kurzzeitige Störung des Systems signifikante negative Auswirkungen auf gesunde Individuen habe. Sie werfen jedoch die Frage auf, welche Auswirkungen eine chronische Exposition auf die menschliche Gesundheit bzw. welche Auswirkungen eine Exposition auf Personen, die bereits an Atemwegserkrankungen wie Asthma oder andere chronische Erkrankungen leiden, haben könnten. Unter Berücksichtigung der Studienergebnisse gehen sie davon aus, dass sich die Personen bei einer chronischen Exposition im Zustand einer chronischen Entzündung befinden müssten.

4. Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen einer beruflichen Langzeitexposition gegenüber Druckeremissionen

Im Rahmen einer im Jahr 2019 veröffentlichten Studie²⁹ wurden die Auswirkungen einer beruflichen Exposition gegenüber Druckeremissionen auf die Funktion der Lunge untersucht. In die Untersuchung wurden insgesamt 100 in Kopierläden beschäftigte Personen sowie weitere 100 Personen einer Vergleichsgruppe einbezogen. Durchgeführt wurde die Studie in **Pakistan** im Zeitraum von Januar bis September 2017. Dabei wurden neben der Auswertung von Fragebögen verschiedene Lungenfunktionsparameter, die üblicherweise zur Diagnose und Beobachtung des Verlaufs bestimmter Lungenerkrankungen herangezogen werden, mit Hilfe eines Spirometers getestet. Darüber hinaus fanden Blutuntersuchungen statt, mit denen der Level der im Blut befindlichen thiobarbitursäure-reaktiven Substanzen (TBARS) ermittelt wurde. Im Hinblick auf die Lungenfunktionsparameter wurde eine deutliche Reduzierung bei den exponierten Arbeitskräften im Vergleich zur Vergleichsgruppe festgestellt. Auch wurde bei ihnen eine signifikant erhöhte Konzentration von TBARS im Blut ermittelt. Die Autoren schließen daraus, dass die berufliche Exposition mit Druckeremissionen einen signifikanten Effekt auf die normale Lungenfunktion und das Ausmaß des oxidativen Stresses haben kann.

Eine andere prospektive Kohortenstudie³⁰, die ebenfalls im Jahr 2019 veröffentlicht wurde und sich mit den gesundheitlichen Auswirkungen einer beruflichen Exposition gegenüber Druckeremissionen auseinandergesetzt hat, kam hingegen zu einem anderen Ergebnis. So habe die berufliche Exposition gegenüber Druckeremissionen nur einen geringen negativen Einfluss auf die Lungenfunktion – sofern das Arbeitsumfeld über ein ausreichend kontrolliertes Ventilationsystem verfüge. Die Studie wurde über einen Zeitraum von insgesamt zehn Jahren von 2003 bis

29 Javed, Houda (u. a.) (2019), Occupational health surveillance: pulmonary function testing and oxidative stress among photocopying workers in Pakistan, in: *Medycyna Pracy* 2019, 70(4), S. 403–410, in englischer Sprache abrufbar unter <http://medpr.imp.lodz.pl/Occupational-Health-Surveillance-Pulmonary-function-testing-and-oxidative-stress.100619.0.2.html> (zuletzt aufgerufen am 20. Januar 2020).

30 Terunuma, Niina (u. a.) (2019), A Cohort Study on Respiratory Symptoms and Diseases Caused by Toner-Handling Work: Longitudinal Analyses from 2003 to 2013, in: *Atmosphere* 2019, 10(11), 647, in englischer Sprache abrufbar unter https://www.researchgate.net/publication/336822971_A_Cohort_Study_on_Respiratory_Symptoms_and_Diseases_Caused_by_Toner-Handling_Work_Longitudinal_Analyses_from_2003_to_2013 (zuletzt aufgerufen am 20. Januar 2020).

2013 in **Japan** durchgeführt. Einbezogen wurden dabei insgesamt 1.468 Beschäftigte eines Toner- und Kopierherstellungsunternehmens. Davon arbeiteten 887 Arbeiter mit Tonern, die übrigen in die Studie einbezogenen 581 Arbeiter nicht. Die Gruppe der Arbeiter, die mit Tonern arbeiteten, wurden wiederum in zwei verschiedene Gruppen unterteilt: Eine Gruppe, die einer hohen Emission, und eine Gruppe, die einer niedrigen Konzentration an Tonerstäuben ausgesetzt war. Mit Beginn der Studie im Jahr 2003 seien die Teilnehmer jährlich zu ihrem Gesundheitszustand befragt und einem Gesundheitscheck unterzogen worden; dabei wurde offenbar jeweils ein Lungenfunktionstest durchgeführt und es wurden verschiedene Blutwerte ermittelt. Die festgestellte Inzidenz für Atemwegserkrankungen sowie Veränderungen in der Prävalenz von subjektiven Atemwegssymptomen waren dabei nach Angabe der Autoren sowohl bei den Arbeitern, die mit Tonern arbeiteten, als auch bei den Arbeitern, die nicht mit Toner arbeiteten, ähnlich. Das Odds-Ratio für jährliche Veränderungen in der Prävalenz von Keuchen ohne Asthma sei in der Gruppe der Arbeiter, die mit Toner arbeiteten und der hohen Tonerstaubemission ausgesetzt waren, signifikant niedriger als in der Vergleichsgruppe. Nach Ansicht der Autoren habe die berufliche Tätigkeit mit Tonern keinen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit, an Pneumonie, Pneumokoniose (durch anorganische Staube verursachte Lungenkrankheit³¹) und Lungenkrebs zu erkranken.

Eine weitere Veröffentlichung³² zu den möglichen gesundheitlichen Auswirkungen einer beruflichen Tonerstaubexposition aus dem Jahr 2018 bezieht sich ebenfalls auf Arbeiter, die in einem Unternehmen zur Herstellung von Tonern und Kopiergeräten beschäftigt waren. Auch diese Kohortenstudie wurde im Zeitraum 2003 bis 2013 in **Japan** durchgeführt. Im Rahmen der Studie wurden die Teilnehmer regelmäßig untersucht (Röntgenuntersuchung der Lunge, Spirometrie, Ermittlung verschiedener Biomarker) und nach subjektiven Symptomen befragt. Die Autoren kamen bei der Auswertung zu dem Ergebnis, dass in Bezug auf bestimmte Biomarker keine Unterschiede zwischen den exponierten Arbeitern und der Vergleichsgruppe feststellbar seien. Auch seien keine typischen Anzeichen einer Pneumokoniose bei den Röntgenuntersuchungen beobachtet worden. Dennoch zeigte sich die Tendenz, dass bei den exponierten Teilnehmer im Verlaufe der Studie Anstiege in der Häufigkeit von Symptomen von Atemwegserkrankungen sowie geringere Werte bei der Spirometrie zu verzeichnen waren als bei der Vergleichsgruppe. Die Unterschiede seien jedoch lediglich im Hinblick auf chronischen Husten signifikant. Nach Ansicht der Autoren seien Veränderungen der Lunge aufgrund einer beruflichen Exposition gegenüber Druckeremissionen relativ ungewöhnlich. Unabhängig davon könnten nach Ansicht der Autoren jedoch Symptome durch eine zeitweilige Irritation der Atemwege und Entzündungsreaktionen auftreten.³³

* * *

31 Vergleiche hierzu <https://www.pschyrembel.de/pneumoconiosis/KOHBG/doc/> (zuletzt aufgerufen am 20. Januar 2020).

32 Nakadate, Toshio (u. a.) (2018), Assessing the chronic respiratory health risk associated with inhalation exposure to powdered toner for printing in actual working conditions: a cohort study on occupationally exposed workers over 10 years, in: *BMJ Open* 2018, 8:e022049, in englischer Sprache abrufbar unter <https://bmjopen.bmj.com/content/8/10/e022049> (zuletzt aufgerufen am 20. Januar 2020).

33 Anmerkung: Beide japanische Studien wurden offenbar zumindest teilweise durch Zuwendungen von Photokopierunternehmen aus Japan finanziert.