

Saubere Luft in Innenräumen ist existenziell für unsere Gesundheit: Wir wollen saubere Atemluft, auf die wir uns verlassen können

Heike Krüger

Die gemeinnützige nano-Control, Internationale Stiftung fordert verpflichtende Regeln für die Atemluft im Innenraum sowie für die Aufstellung und den Betrieb ubiquitärer Toner-basierter Drucksysteme „Laserdrucker und Kopierer“ zur nachhaltigen Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen.

Die Luftqualitätsrichtlinie der WHO aus dem Jahr 2008 war über Jahre hinaus der Eckpfeiler der EU-Luftreinhaltepolitik, hatte ihren Fokus aber ausschließlich auf der Außenluft. Der Sonderbericht „Luftverschmutzung des Europäischen Rechnungshofes 2018“ offenbarte, dass „unsere Gesundheit nach wie vor nicht hinreichend geschützt ist. [...] Die Luftverschmutzung verursacht jedes Jahr in der EU etwa 400.000 vorzeitige Todesfälle und mehrere Hundert Milliarden Euro an gesundheitsbezogenen externen Kosten“.¹

Unsere Welt hat sich im Laufe der Corona-Pandemie verändert und die Bedeutung der Luftqualität im Innenraum für die menschliche Gesundheit, das Wohlbefinden, die Produktivität und das Lernen erkannt. In der Wissenschaft hat sich ein Konsens zu Gefahren durch Luftverschmutzung und die Notwendigkeit der Minimierung luftgetragener, ultrafeiner Partikel – besonders im Innenraum – gebildet. Was vor der Pandemie nur für draußen galt, wurde durch ein kleines luftgetragenes Virus allgegenwärtig und messbar und auch die Folgen wurden deutlich sichtbar.

Plötzlich war ein großes Interesse an der Innenraumluft vorhanden, denn saubere, gesunde Atemluft im Innenraum war plötzlich auch für Unternehmen wirtschaftlich immens wichtig. Für die einen, weil ihr Geschäftsmodell die Luftreinhaltung ist, für die anderen, weil sie auf gesunde, leistungsfähige Mitarbeiter angewiesen sind.

So tragisch für viele Menschen diese Konstellation auch endete oder bis zum heutigen Tag Auswirkungen hat, auch weil wir bis dahin keinerlei Fokus auf die Qualität der Innenraumluft hatten, desto mehr sollten wir doch jetzt dafür sensibilisiert sein. Gesunde, schadstofffreie Atemluft im Innenraum muss zu jeder Zeit selbstverständlich sein. An jedem Arbeitsplatz und in jeder Wohnung, denn der moderne Mensch hält sich zu 90 % seiner Lebenszeit in Innenräumen auf.

Paradigmenwechsel wurde eingeläutet

Die WHO hat im Jahr 2021 die Luftgüteleitlinien überarbeitet. Die Außen- und Innenraumluft wurden gleichgestellt.

Erstmals gibt sie Empfehlungen zur Good Practice zu ultrafeinen Partikeln: „Hohe Partikel Anzahl Konzentrationen (Particle number concentrations = PNC) können als > 10.000 Partikel/cm³ (24 Stundenmittel) oder 20.000 Partikel/cm³ (1 Stundenmittel) angesehen werden.“

Als „nicht verbrennungsbedingte Quelle und Prozess, der einen erheblichen Einfluss auf die Luftverschmutzung in Innenräumen hat, wird die Renovierung von Häusern, die Verwendung von Konsumgütern (z.B. Reinigungsmittel und Insektizide) und der Betrieb von Geräten wie z.B. Laserdruckern“ genannt.²

Eine internationale Expertengruppe zieht ein Fazit

Mehr als 40 internationale Experten haben sich zusammenschlossen und fordern unter den veränderten Rahmenbedingungen im März 2024 die weltweite Einführung von Normen für die Luftqualität für öffentliche Gebäude für drei wichtige Schadstoffe: Kohlendioxid (CO₂), Kohlenmonoxid (CO) und lungengängiger PM_{2,5}-Partikel sowie rechtlich verbindliche Regeln für Luftwechselraten.

Nach zwei Jahrzehnten der Entwicklung einer Evidenzbasis in der Wissenschaft, umrahmt von einer „komplexen politischen, sozialen und rechtlichen Situation“ fehlt eine ambitionierte Luftreinhaltepolitik, um für diesen Erkenntnisstand entsprechende Vorschriften umzusetzen. Prof. Lidia Morawska QUT (Queensland University of Technology) versammelte schon während der Pandemie 240 Wissenschaftler um sich. Gemeinsam erreichten sie, dass WHO und Regulierungsbehörden ihre Ratschläge zu Übertragungswegen des Corona-Virus aktualisierten. Ihr war es möglich, die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Politik zu intensivieren, eine gute Basis für ihren neuerlichen Ansatz zur Schaffung von Regelungen für die Innenraumluftqualität.³

Cath Noakes (University of Leeds) sagt dazu: „Wir müssen das Bewusstsein dafür schärfen, dass Innenraumluft wichtig ist. Viele Innenräume sind öffentliche Räume, in denen der Einzelne wenig Kontrolle über die Qualität der Luft hat, die er einatmet. [...] Mit der Einführung von Normen für die Luftqualität in öffentlichen Gebäuden wird das Recht derjenigen anerkannt, die diese Gebäude nutzen, ein sicheres und gesundes Umfeld zu erwarten, so wie man auch Vertrauen in die Lebensmittelhygiene oder die Brandschutzbestimmungen haben sollte.“⁴

Qualität der Atemluft – ewige Diskussion über Messverfahren

Tonerbasierte Laserdruckgeräte und -kopierer stellen als ubiquitäre Technik laut internationalen Studien eine relevante Quelle für Belastungen der Innenraumluftqualität dar. In Deutschland

befinden sich ca. 20 Millionen Geräte in Büros und öffentlich zugänglichen Räumen. Durch die schlechte Luftqualität in den Innenräumen kommt es zu Beeinträchtigungen und über längere Zeit zu Erkrankungen.

Weltweit gibt es bis heute kaum gesetzliche Regulierungen für die Innenraumluftqualität (IAQ), die sich mit der Konzentration von Innenraum-Schadstoffen befassen.

Messungen, die erst – wenn überhaupt – nach Aufforderung und Beschwerden von Betroffenen vorgenommen werden, basieren bis heute auf der Gravimetrie zur Bestimmung von Schwebstaub und Staubemissionen. Emissionsraten werden weiter in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in mg/h oder in mg/min gemessen. Dies geschieht dann ohne irgendwelche Richtwerte oder Vorgaben in Bezug auf die geringe Partikelgröße.

Umweltzeichen Blauer Engel

Das Emissions-Prüfverfahren wird seit mehr als 10 Jahren mittels Partikelzählung durchgeführt. Man hat schon damals verstanden, dass eine Gefahrenbewertung, bezogen auf das Gewicht dieser winzigen, für uns unsichtbaren Partikel, nicht möglich ist. Die Partikel sind schlicht zu leicht.

Die Luftqualität wird beim Betrieb von Laserdruckern in Innenräumen durch den Ausstoß von bis zu 7,6 Milliarden ultrafeiner Partikel schon bei einer Seite Druck (Initial Burst) nachweislich massiv belastet und verschlechtert (Ergebnis Messungen der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), aus dem Jahr 2011 als Basis für die Prüfbedingungen zum Blauen Engel).⁵

Das Umweltbundesamt (UBA) vergibt den „Blauen Engel“, ein Umweltzeichen mit dem besonders umweltschonende Produkte ausgezeichnet werden, für Geräte derzeit mit einem Prüfwert PER10 PW [Partikel/10 min] von $\leq 3,0 \cdot 10^{11}$. Am 01. Januar 2025 folgt der nächste Schritt auf den Prüfwert $\leq 2,5 \cdot 10^{11} = 250$ Milliarden Partikel pro 10 Minuten Druck.

Die *Computer Bild* berichtete am 16. Dezember 2023 unter dem Titel „Schnell, brilliant, günstig und gesundheitsschädlich?“ über die möglichen Gefahren durch die Emissionen aus Laserdruckgeräten. Sie stellten fest, dass es seit ihrer letzten Testung 2014 kaum Verbesserungen in Bezug auf die Emissionen gibt.⁶

nano-Control errechnete in *umwelt · medizin · gesellschaft* Heft 4/2019 auf Basis der Angaben von He et al. 2007 und Salthammer et al. 2012, dass an einem achtstündigen Arbeitstag bei ca. $3,6 \text{ m}^3$ Atemvolumen, die ein durchschnittlicher Mensch veratmet und $33.000 \text{ Partikel}/\text{cm}^3$, die aus den Druckermissionen stammen, ca. $1,19 \cdot 10^{11}$ Partikel = 119 Milliarden Partikel aufgenommen werden können. Das sind immerhin 2,4 % der emittierten Gesamtpartikelzahl des Druckers innerhalb 8 Stunden.

Der richtige Weg

Wir kritisieren das Vorgehen der Messung auf Basis der Gravimetrie. Dass luftgetragene, ultrafeine Partikel aus den Laserdruckern mit einem Durchmesser zwischen 1 und 100 Nanometer (nm) gravimetrisch kaum bis gar nicht erfassbar und somit auch nicht bewertbar sind, ist ein Fakt. Diese Partikel fallen im wahren Sinne des Wortes nicht ins Gewicht.

Gewichtsbezogene (gravimetrische) Richtwerte werden so immer leicht eingehalten oder weit unterschritten. Dadurch wird der Eindruck vermittelt, dass von diesen Partikelemissionen der Laserdrucker in der vorliegenden, geringen Masse in μg keinerlei Gefahr ausgehen kann. Die Realität in Innenräumen ist oft eine andere.

Die falsche Darstellungsweise ist wohl unstrittig widerlegt und dürfte daher eigentlich auch keinerlei Anwendung und Beachtung mehr finden. Richtig wären regelmäßige, standardisierte Partikelzähl-Messverfahren mit festgelegten Grenzwerten für die jeweilige Druckerart. Dabei zu berücksichtigen sind die Druckmengen, die Raumgröße, die Aufstellungssituation (Luftaustauschrate usw.), die Aufenthaltsdauer der Beschäftigten etc.

Messung der Rußpartikel in Dieselaugasen – Partikelzählung Standard seit 2023

Bei Abgasmessungen im Verkehr wurde die Verfahrensweise der Partikelzählung 2023 als Standard übernommen und wurde mit dem neuen Partikelzähl-Messverfahren zur Pflicht. Der Grenzwert wurde auf $250.000 \text{ Partikel}/\text{cm}^3$ festgelegt. Eine neue Generation von Messgeräten prüft den Partikelausstoß!

nano-Control, Internationale Stiftung

Die ehrenamtlich arbeitende nano-Control, Internationale Stiftung sowie die Vorgängerorganisation, die Bürgerinitiative ITG, engagieren sich seit fast 30 Jahren für ein lebenswichtiges Thema, den Schutz der Atemluft im Innenraum, wo wir mehr als 90 % unserer Lebenszeit verbringen. Vorrangiges Thema wurde aus gutem Grund die Zielsetzung, Regelungen für die Emissionen von tonerbasierten Laserdruckgeräten und Kopierern zu erreichen. Das große Ziel unserer Stiftung ist und bleibt aber saubere, gesunde Raumluft, denn Atmen heißt Leben.

nano-Control: Meldungen von 4.000 Betroffenen

Die Stiftung nano-Control hat im Laufe von 25 Jahren Meldungen von 4.000 Menschen (überwiegend aus Deutschland) aufgenommen, die die Ursache ihrer Erkrankungen in der Exposition gegenüber ultrafeinen Emissionen aus Laserdruckern und -kopierern für sich erkannt haben. Sie suchten häufig über 10 Jahre nach Ursachen für ihre multiplen gesundheitlichen Beschwerden und sind teilweise schwerstkrank. Nachgewiesen ist, dass Feinstaub und somit auch der aus Laserdruckern, teilweise schwerwiegende gesundheitliche Auswirkungen hat, u. a.:

Typische Symptome und Erkrankungen

- Allergische Symptome wie Schleimhautentzündungen, Asthma bronchiale, chronische Kehlkopfentzündung und Bronchitis
- Augen- und Hautreizungen
- Erkrankungen der unteren und oberen Atemwege (z. B. COPD, verringertes Lungenwachstum, Lungenkrebs)
- Herz-Kreislaufsystem (z. B. Arteriosklerose, Bluthochdruck, Herzinfarkt, Thrombosen, Schlaganfall)

- Chronisch entzündliche Erkrankungen (z. B. Multisystemerkrankungen, wie MCS, CFS und Fibromyalgie und der rheumatischer Formenkreis, Diabetes) und oxidativer Stress
- Störung des Immunsystems
- Neurologische Störungen (z. B. Wortfindungs- und Konzentrationsstörungen, Migräne, Burnout, Verschlechterung der Hirnleistung, Demenz), bei Kindern Lern- und Entwicklungsstörungen, reduzierte kognitive Entwicklungen, Unaufmerksamkeit, höhere Raten mit Autismus bei Geburten
- Krebserkrankungen (z. B. Krebserkrankungen der Atemwege, Hirntumore, Blutkrebs, Krebserkrankungen der Entgiftungsorgane)

Eine kurzfristige (Stunden oder Tage andauernde) hohe Belastung führt zu Bluthochdruck, Störung der Herzratenvariabilität (HRV) sowie Krankenhaus- und Notfalleinweisungen meist aufgrund von Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Insgesamt führt Feinstaub zu einer erhöhten Sterblichkeit.

Das ehrenamtliche Beraterteam

Das ehrenamtliche Team unterstützt Betroffene unermüdlich mit dem gesammelten Wissen aus drei Jahrzehnten der Beratung und den eigenen Erfahrungen.

Ein Schwerpunkt der Beratung liegt dabei auf Informationen über die Möglichkeiten der Vermeidung von Exposition im persönlichen Umfeld. Dies wird erschwert durch „Stolpersteine“ im Arbeitsumfeld durch die bis heute geltende Nichtanerkennung der Folgen der Expositionen durch die zuständigen, verantwortlichen staatlichen Behörden, der Hersteller und auch der Berufsgenossenschaften. Den Arbeitgebern wird durch die Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung e. V. (DGUV) weiterhin massiv vermittelt, dass es keine Gesundheitsgefahren durch die Emissionen von Laserdruckern und Kopieren gibt.

Fatal für Menschen, die sich Tag für Tag an diesen Geräten und in deren Aufstellungsräumen aufhalten müssen. Sie erhalten keine Unterstützung zum Schutz ihrer Gesundheit, erkranken durch Langzeitexpositionen, werden medizinisch nicht adäquat versorgt und erhalten letztendlich keine Anerkennung in den über viele Jahre dauernden Berufskrankheiten-Verfahren.

Schutz der Kinder ist unsere Pflicht

Im Laufe der Corona-Pandemie gelangten Laserdrucker durch die Einrichtung von Home-Offices zunehmend auch in private Wohnräume. Das Umweltbundesamt informierte bereits 2014 im Rahmen des Deutschen Nachhaltigkeitspreises darüber, dass Laserdrucker nie in Kinder- und Schlafzimmern aufgestellt werden sollten. Bis heute gibt es aber auch dafür keine verpflichtenden Regelungen.

Der Verkauf, der Handel, das Aufstellen und auch der Betrieb dieser hochtechnischen Geräte, deren Toner und Kartuschen Sondermüll ist und nicht in Kinderhände gehört, unterliegt keinerlei Regeln. Lediglich ein paar Herstellerempfehlungen sollten möglichst beachtet werden.

Dabei sind Kinder noch weitaus gefährdeter als erwachsene Menschen und deshalb besonders betroffen von den Emissionen aus Laserdruckern. Diese bestehen aus ultrafeinen Partikeln, elektrostatisch aufgeladenen Metallteilchen, flüchtigen organische Verbindungen (VOC), polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und vielen weiteren Schadstoffen. Die Entwicklung unserer Kleinsten kann durch den in der Zusammensetzung weitestgehend unbekanntem Schadstoffmix winzig kleiner Stoffe nachhaltig gestört werden. Untersuchungen dazu gibt es für den Innenraum leider bis heute nicht.

Die ultrafeinen Partikel, die so klein sind, dass sie sich tief in der Lunge festsetzen und in den Blutkreislauf gelangen, können alle Barrieren, auch die Blut-Hirn-Schranke überwinden und jede Zelle unseres Körpers direkt erreichen.

Es „zeigte sich, dass mit zunehmender Menge an UFP auch die Entzündungswerte im Blut (CRP) und in der Ausatemluft (Stickoxid) anstiegen. [...] Die Wissenschaftler fassen daher zusammen, dass ultrafeine Partikel in der Luft die Lungengesundheit von Kindern nicht direkt beeinträchtigen, aber systemische, also im ganzen Körper wirkende Effekte auf Entzündungen haben.“⁷

„Plastik war einmal fantastisch“

„Das Xerographische Verfahren ist wohl die drittgrößte Money-making-Idee in der Geschichte der Menschheit, gleich nach Religion und Zinseszins.“ Allan Fluharty 2005

In den ersten Jahrzehnten gab es wenige Probleme mit den Laserdruckern. Die Inhaltsstoffe waren relativ grober Natur. Es gab nur sehr wenige, sehr teure Geräte, um deren Gefahren man sich bis in die 1990er durchaus auch bewusst war. Druckerräume wurden abgeklebt. Mitarbeiter waren eingewiesen über die Handhabung mit den offenen Kartuschen. Die Älteren unter uns erinnern sich häufig noch an oft schlierige, nicht gleichmäßige Kopien.

Mit der Nanotechnologie öffneten sich kurz vor der Jahrtausendwende alle Türen im Innenraum für die Druckerhersteller. Das Druckergebnis verbesserte sich immens. Die winzigen Partikel ließen sich exakt auf das Papier übertragen, aber sie waren zudem leider auch nahezu unsichtbar in der Umgebungsluft verteilt. Der Herstellerverband BITKOM gab bekannt, dass aus den Tonerkartuschen nichts herauskommt und Gesundheitsrisiken bei bestimmungsgemäßem Betrieb der Geräte nicht zu erwarten sind. Die Geräte wurden massentauglich. Aktuelle Schätzungen zur Folge gibt es ca. eine Milliarde Laserdruckgeräte auf unserem Planeten.

Zusammensetzung der Inhaltsstoffe ist ein „Tanz auf Messers Schneide“

Die BITKOM teilt mit, dass „Tonereubereitungen den Sicherheitsstandards in der Europäischen Union entsprechen. [...] Gemäß den verbindlichen Einstufungskriterien für Zubereitungen der Europäischen Union (Richtlinie 1999/45/EG) sind Toner für Laserdrucker sowie Kopier- und Multifunktionsgeräte der in BITKOM organisierten Originalhersteller im Allgemeinen nicht als gefährlich, das heißt insbesondere nicht als giftig, krebserzeugend, erbgutverändernd, fortpflanzungsgefährdend, sensibilisierend oder ätzend eingestuft.“

Diese Richtlinie 1999/45/EG (Zubereitungsrichtlinie) ist laut WIKIPEDIA eine Europäische Richtlinie mit der die Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Zubereitungen angeglichen wurden. Nicht mehr und nicht weniger.

Laserdrucker waren 2007 auf dem Weg zum „Lifestyle Produkt“, wollten Wohnzimmer erobern. Am Chip-Roundtable diskutierte eine hochkarätig besetzter Expertenrunde auch über mögliche Risiken durch den Feinstaub. „Unseren Toner kann man gefahrlos essen, aber er schmeckt nicht.“ Dieser Experte argumentierte, sie hätten ja auch ein starkes Eigeninteresse an unschädlichen Produkten. „Aber im Ernst: Gesundheitlich besteht da kein Risiko. [...] schließlich verspürt niemand von uns Todessehnsucht.“⁸

Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie 2024: „Die im Handel befindlichen Toner bestehen hauptsächlich aus einem Polymer (z. B. Polyester, Epoxid-Harze) als Matrix und farbgebenden Pigmenten (bei schwarzen Tonern: Industrieruß). Die elektrostatische Aufladung wird durch eine Reihe von Zuschlagstoffen beeinflusst, damit ein exakter Druck erzeugt werden kann.“⁹

Mikro- und Nanoplastik

Eine grobe Schätzung besagt, dass jeder Druckpunkt mindestens ein Kunststoffteil oder Tonerpulver enthält, unabhängig davon, ob es aus der Pulverhülle, der Schale oder der Formulierung stammt.¹⁰ Bei einer Druckerauflösung von 1.200 × 1.200 dpi (dots per inch) kann daher ein A4-Papier etwa sieben Millionen Mikroplastikteile enthalten, bei einer durchschnittlichen Druckabdeckung von 5 %.¹⁰

nano-Control: „Toner sind Gemische aus elektrostatisch aufgeladenen Mikro- und Nanoplastikteilchen sowie verschiedenster Chemikalien und Metallen und seltene Erden, z. B. Fe (Eisen), Al (Aluminium), Ag (Silber), As (Arsen), Au (Gold), Cd (Cadmium), Co (Kobalt), Cu (Kupfer), Cr (Chrom), Fe (Eisen), Hg (Quecksilber), Mn (Mangan), Ni (Nickel), Pb (Blei), Pd (Palladium), Sb (Antimon), Si (Silizium), Sn (Zinn), Sr (Strontium), Ti (Titan), Zn (Zink), Gadolinium, Zirkonium, Tellur, Wolfram, Tantal usw.“

Die Patente der Toner offenbaren, dass chemische sowie metallische Zusatzstoffe neben einem perfekten Druckbild auch die funktionelle Aufgabe haben, Schimmeln und Rosten zu verhindern, die Fließfähigkeit zu verbessern und dienen z. B. u. a. auch als Weichmacher.

Untersuchungen der Emissionen ergaben schon früh u. a. endokrine Disruptoren, wie Organozinn-Verbindungen (DBT und TBT) und Bisphenol-A, polyzylische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs), flüchtige organische Verbindungen (VOCs), Phthalate, flüchtige halogenierte Verbindungen usw.

Die Hersteller selbst können die beste Erklärung ihrer Rezeptur abgeben: Xerox zählt die Mikroplastik-Bestandteile des Toners bei einem Workshop „Toner Particles as Microplastics“ der EU-Behörde ECHA 2018 in Helsinki wie folgt auf: „Partikel aus synthetischem Polymer kombiniert mit Wachs und Pigment, wie Styrol-Acrylat oder Polyester. Behandelt wird mit Oberflächenadditiven. Die Partikelgröße beträgt 4,5–12 Mikrometer.“ Xerox attestierte, es gäbe keine Gefahren. Denn nach dem Dru-

cken verschmelze das Mikroplastik als Beschichtung mit dem Papier. Der Hersteller vermittelte, die Kosten zum Austausch von Millionen von Laserdruckgeräten mit Tintenstrahldruckern wären astronomisch. Als Fazit der Präsentation wünscht sich das Unternehmen, dass „Toner von der Beschränkung von Mikroplastik ausgenommen werden sollte.“¹¹

Xerox Sicherheitsdatenblatt: „Obwohl Toner kein Wassertoxin ist, könne Mikroplastik eine physikalische Gefahr für Wasserlebewesen darstellen und sollte nicht in Abflüsse, Abwasserkanäle oder Wasserwege gelangen.“¹²

Diese Tonerinhaltsstoffe aller Hersteller sind für Mensch und Umwelt zum Teil extrem gefährlich, auch als „contaminants“. Sie sind die „Hidden Secrets“ in den Rezepten und dürfen sich nicht einfach „aus dem Staub machen“. Hierfür brauchen wir Regeln und keine Empfehlungen.

EU Chemikaliengesetz REACH – Toner, Gemische und Polymere

2005 Kritik zu „REACH am Arbeitsplatz“ zu Polymeren: kein Lippenbekenntnis

2005 warnten Vertreter des EGB und DGB: „Aus Arbeitsschutzsicht bedenklich ist die zumindest einstweilige Herausnahme der Polymere aus der Registrierungspflicht. Der im KOM-Entwurf vorgesehene Prüfauftrag für eine Einbeziehung zumindest der bedenklichsten Polymere darf kein Lippenbekenntnis bleiben. Eine Vielzahl der Inhaltsstoffe sind Gefahrstoffe, aufgrund des geringen prozentualen Anteils nicht zu deklarieren. Sie gelten bis heute als Verunreinigungen (contaminants). Synergieeffekte durch die Vielzahl an für den Menschen toxischen Stoffen sind wissenschaftlich nicht untersucht und vermutlich nicht bekannt.“ Auf der Seite der Poison Centres (Giftnotrufzentralen) der europäischen Behörde ECHA ist aktuell zu lesen, dass ab 1. Januar 2025 nun auch Toner und Tinten einen UFI-Code tragen müssen. Der UFI-Code, ein eindeutiger Rezept-Identifikator, findet sich seit 2021 auf Produkten, die gemäß der EU-CLP-Verordnung, Artikel 45 für gefährliche Gemische „Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung als gesundheitsgefährdend oder physikalische Gefahren“ eingestuft sind. „Derart eingestufte Produkte weisen ein Piktogramm auf und können gesundheitsschädlich sein, wenn sie nicht korrekt verwendet werden.“¹³

Forschung in Deutschland

Seit der Jahrtausendwende informiert die Stiftung nano-Control und vorher auch schon die Interessengemeinschaft Toner-geschädigter (ITG) die Berufsgenossenschaften, Behörden sowie die Politik zu Risiken und Wirkung der Emissionen aus Laserdruckern auf Verbraucher/Betroffene. Die Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) fand im Jahr 2001 keinen wissenschaftlichen Nachweis einer durch Tonerstäube hervorgerufenen Erkrankung.

2005 wurde beim Bundesinstitut für Risikobewertung eine Pilotstudie in Abstimmung mit der ITG durchgeführt mit dem Ergebnis, dass Risiken nicht ausgeschlossen werden können. Der Staat hatte zugesagt, weitergehende Forschungen zu forcieren. Diese wurden dann aber in den folgenden zwei Jahrzehnten nicht durchgeführt, dafür aber Haushaltsgeräte und Kerzenabbrand

untersucht mit dem Ergebnis, die Emissionen aus einem Toaster ähneln angeblich denen eines Laserdruckers. Für uns ist dies in der Sache überhaupt nicht nachvollziehbar.

nano-Control: Wir sagen der Wissenschaft, der Vergleich mit dem Toaster hinkt. Bei dem Toast handelt es sich um ein kontrolliertes Lebensmittel, dessen Emissionen für den Menschen beim bestimmungsgemäßen Gebrauch keinen oder allenfalls geringen Schaden anrichten. Kein Mensch toastet 8 Stunden jeden Tag über Jahre oder Jahrzehnte und atmet dabei die Abluft des Toasters ein.

Die ehrenamtliche Stiftung nano-Control hat mittlerweile mit 120.000,00 € aus Spendengeldern Forschung zu Laserdrucker-Emissionen in Deutschland unterstützt. Eine beim IUK Freiburg, Universitätsklinikum Freiburg durchgeführte Pilotstudie im Jahr 2013 zu 28.000 Genwirkmechanismen zeigte deutlich, dass es zu entzündlichen und immunologischen Auswirkungen schon nach kurzer Zeit kommt. Folgen, welche internationale Studien zu Feinstaub auch schon seit vielen Jahren bestätigen. Inzwischen zeigen die Statistiken, dass sowohl Innen- wie Außenluft für die bisher veröffentlichten Todesfallzahlen durch Feinstaub verantwortlich ist.

Eine vom Spitzenverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften und der Unfallkassen, der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung e. V. (DGUV) zeitgleich mit der beim IUK Freiburg

in Auftrag gegebene Studie der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) zu den Wirkungen von Laserdruckeremissionen bildete lediglich ein Kurzzeitszenario von 75 Minuten Belastung ab. Es wurde lediglich die direkte Wirkung untersucht. Nachuntersuchungen fanden nicht statt, wiederholte Belastung wurde nicht untersucht. Die Untersuchung ergab kein einheitliches Bild, im Mittel zeigten sich keine relevanten Symptome. Betroffene mit laufenden Berufskrankheiten-Verfahren wurden vorab von diesen Untersuchungen ausgeschlossen.

Gemäß Gesetz und Satzung sind die DGUV-Mitglieder dem Arbeitsschutz verpflichtet und haben Berufskrankheiten zu verhindern und Betroffene zu entschädigen. Als Pflichtversicherer stehen sie natürlich in einem Interessenkonflikt, denn durch einen wissenschaftlichen Nachweis hätte dies möglicherweise Entschädigungen für betroffene Erkrankte in Milliardenhöhe zur Folge (siehe hierzu UMG 2-2024 Seite 42 ff. Gesetzliche Unfallversicherung in Deutschland: Ein System „institutionalisierter Korruption“? Johannes Ludwig).

nano-Control NEWS

Wir bedanken uns bei den Wissenschaftlern der University of Massachusetts Lowell und des Max-Planck-Instituts für Chemie in Mainz für die einzigartige Unterstützung unserer ehrenamtlichen Arbeit über fünf Jahre. Nachfolgend dürfen wir zusammenfassend darüber berichten.

„Self-reported symptoms associated with the use of printer and photocopier machines: Results from the nano-Control, International Foundation survey“¹⁴

Die internationale Stiftung nano-Control (nC) hat über viele Jahre hinweg mit einem detaillierten Fragebogen sorgfältig und systematisch Informationen über Gesundheitssymptome und Expositionsbedingungen von Büroangestellten gesammelt, die nach eigener Einschätzung gegenüber Druckern und Kopiergeräten in Deutschland exponiert waren. Die Daten wurden zwischen 1999 und 2010 von rund 2.000 Teilnehmern erhoben. Nachdem sich in Deutschland viele Jahre lang niemand für diese Daten interessierte, hat 2021 ein Forscherteam der US-amerikanischen University of Massachusetts Lowell im College of Health Sciences unter der Leitung von den Professoren Dhimiter und Anila Bello, die Daten systematisch ausgewertet und die Ergebnisse im Journal of Occupational and Environmental Medicine veröffentlicht.¹ Die Gruppe von Prof. Dhimiter Bello untersucht seit vielen Jahren die Chemie und Toxikologie von Nanopartikel-Emissionen aus Druckern und Fotokopierern.

In der vorliegenden Arbeit wurde dokumentiert, dass Arbeitnehmer, die angaben, Partikeln aus diesen Maschinen ausgesetzt zu sein, darunter Bediener von Kopier- und Druckmaschinen, Techniker und Büroangestellte, auch sehr häufig über Atemwegserkrankungen (90 % der 1.998 Befragten), Allergien (70 % der Befragten) berichteten, sowie andere Gesundheitssymptome oder Krankheiten, darunter Asthma/chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD, 15 % der Befragten), bronchiale Hyperreaktivität, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, neurologische Störungen, Metallallergien (Nickel und Kobalt), Magen-Darm-Erkrankungen und einige Krebsarten. Die Forscher fanden heraus, dass die Hälfte der Arbeitnehmer angab, dass sich ihre akuten Atemwegs- und Hauterkrankungen außerhalb der Arbeit (z. B. am Wochenende oder im Urlaub) deutlich verbesserten und sich bei der Rückkehr an den Arbeitsplatz verschlechterten, was auf eine wichtige Rolle der Exposition am Arbeitsplatz bei den angegebenen Symptomen hinweist.

Der „sichtbare Tonerstaub“ – ein Surrogat für die Exposition gegenüber von Druckern emittierten Partikeln (PEP) – war ein starker Prädiktor für mehrere gesundheitliche Folgen, darunter chronische Müdigkeit, bronchiale Hyperreaktivität, Asthma/COPD und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, wie die hohen und statistisch signifikanten bereinigten Odds Ratios zeigen.

Die Wissenschaftler räumen in dem Paper mehrere Einschränkungen ein, die mit den selbstberichteten qualitativen Daten, der fehlenden quantitativen Expositionsbeurteilung und anderen Störfaktoren zusammenhängen, und räumen ein, dass weitere epidemiologische Forschung erforderlich ist, um die PEP-Exposition quantitativ mit negativen gesundheitlichen Folgen in Verbindung zu bringen. Die am häufigsten berichteten Gesundheitssymptome in diesem Datensatz stimmen jedoch mit den begrenzt verfügbaren und glaubwürdigen Studien an Tieren, gesunden Freiwilligen und epidemiologischen Studien an Druckern überein. Die Wissenschaftler kommen zu dem Schluss, dass es nicht gerechtfertigt ist, die Bedenken der Arbeitnehmer weiterhin als unbegründet abzutun. Die gute Nachricht ist, dass es bereits einfache und kosteneffiziente Lösungen zur Verringerung oder sogar Beseitigung der PEP-Exposition gibt, die leicht und in großem Maßstab umgesetzt werden können.

Wir brauchen für die Innenraumluft ein Umdenken

Die bisherigen Maßnahmen in Deutschland, in Bezug auf die Begrenzung der Emissionen aus Laserdruckern über die Zertifizierung des Blauen Engels haben nach Meinung der Stiftung nano-Control keinesfalls den notwendigen Effekt zum Schutz der Menschen erreicht. Nur die neueste Generation nach heutigem innovativstem, technischem Stand erhalten die Zertifizierung des Blauen Engels „aufgrund besonderer Emissionsarmut“.

Millionen dieser und auch älterer Geräte stoßen weiterhin Milliarden winzig kleine, für uns nicht sichtbare, gefährliche Partikel aus und belasten unsere Atemluft im Innenraum weiterhin. Berufsgenossenschaften vermitteln bis heute den Nutzern und Betroffenen, dass es „keine besondere Gesundheitsgefährdung beim bestimmungsgemäßen Umgang mit den untersuchten Geräten“ gibt. Sie vermitteln z. B. „es würde sich in Wirklichkeit fast vollständig um winzige Flüssigkeitströpfchen handeln“.

Den bestimmungsgemäßen Umgang laut Gebrauchsanweisung der Hersteller kontrolliert niemand. Regelmäßige Raumluftmessungen am Aufstellungsort dieser technischen Geräte, um Gefahren zu erkennen, sind bis heute keine Pflicht. Grenzwerte gibt es keine. Technische Regeln für die Emissionen gibt es keine. Defekte Geräte werden möglicherweise nicht getauscht, nach dem Motto: Wo kein Kläger, da kein Richter? Das einzig Spürbare für uns ist der Geruch. Riecht es irgendwie chemisch oder metallisch, sind Schutzvorkehrungen in jedem Fall vonnöten!

Wenn die Erfordernisse der menschlichen Gesundheit mit gesundheitlichen Erfordernissen anderer Lebewesen in Konflikt geraten, müssen die gesundheitlichen Bedürfnisse des Menschen Vorrang erhalten. Wenn jedoch ein komfortabler Lebensstil die Nachhaltigkeit von natürlichen Lebensgrundlagen gefährdet, hat der Schutz des lebenserhaltenden Ökosystems der Vorrang.¹⁵

Der Markt regelt alles?

Analysen des Druckertonermarktes zeigen, dass sich Hersteller nur schwer den Verbraucherschutz- und Umweltbedingungen unterwerfen können. Es herrschen die Gesetze des Marktes zur Expansion und Gewinnoptimierung. „Strenge staatliche Vorschriften für VOC-Emissionen können das Branchenwachstum bremsen – verschiedene internationale Regulierungsbehörden wie die FDA, OSHA, EU und andere haben Vorschriften und Richtlinien für die Verwendung von Tonern zur Produktverpackung in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie erlassen, um die Qualität zu erhalten oder die schädlichen/toxischen Auswirkungen von flüchtigen organischen Verbindungen, die in Lebensmittel- und Pharmaprodukte emittiert werden, auf den Menschen und die Umwelt insgesamt zu mindern. Dieser Trend wird sich wahrscheinlich fortsetzen und könnte ein großes Hindernis für die Expansion des globalen Druckertonermarktes darstellen. Die Einführung alternativer Materialien mit technologischen Fortschritten könnte jedoch dazu beitragen, dieses Hindernis zu überwinden.“¹⁶

Die Industrie hat in den vergangenen 10 Jahren ein Safer-by-Design-Konzept entwickelt. Die Sorbonne, Paris berichtete 2019, dass „Nanomaterialien, die sich noch in der Forschungs-

phase befinden mit dem Ziel zu beobachten sind, die Leistung des Materials zu optimieren und gleichzeitig seine Toxizität zu minimieren.“¹⁷ 20 Jahre nach der Einführung der Nanotechnologie wird nun auch in Deutschland über die Handhabung von Safer-by-Design-Richtlinien für die Nanotechnologie Industrie berichtet.¹⁸

„Die SbD-Strategie zielt darauf ab, Unsicherheiten in der Materialforschung zu reduzieren und die Sicherheit für Mensch und Umwelt zu erhöhen. Darüber hinaus gewährleistet die vorgeschlagene Strategie die Erhebung sicherheitsrelevanter Daten während des gesamten Entwicklungsprozesses unter Einhaltung der rechtlichen Anforderungen und sorgt für eine transparente Kommunikation der Risiken bereits in einer frühen Phase des Innovationsprozesses.“¹⁹

nano-Control – Kernforderungen

Luftreinhaltung auf Platz 1 in der Prioritätenliste, besonders für die Innenraumluft

Da die Risiken dieser Technologien von der Industrie seit Markteinführung im günstigsten Fall nachrangig betrachtet wurden und werden, schließen wir uns den Forderungen der 40 Wissenschaftler unter Leitung von Lidia Morawska, QUT nach verpflichtenden Regelungen für öffentliche Gebäude an. Diese sollten aber für alle Innenräume gelten, denn hier verbringen wir 90 % unserer Zeit.

Normen auch für ultrafeine Partikel

Die Stiftung nano-Control ist sich sicher, dass ein weiterer Punkt noch viel größerer Beachtung bedarf. Die forschenden Wissenschaftler haben einen bis heute nicht vollständig untersuchten Aspekt in ihre Bewertungen noch nicht eingeschlossen. Die noch viel kleineren Partikel PM₁ und PM_{0,1}. Solche Partikel überwinden alle Barrieren, auch die Blut-Hirn-Schranke.

Warnungen von Wissenschaftlern müssen beachtet werden. Es könnte sich Bahnbrechendes entwickeln, wenn wir den Schutz der Innenraumluft endlich mit der notwendigen Priorität behandeln und entsprechende Maßnahmen ergreifen.

Dean Schraufnagel *„Luftverschmutzung ist eine stille Epidemie, und PM_{0,1} ist vielleicht der leiseste aller Schadstoffe.“²⁰*

Der Wissenschaftliche Dienst des Deutschen Bundestages hat im Mai 2024 den Sachstand zu „Gesundheitlichen Effekte von Ultrafeinstaub“ aktualisiert und zitierte aus der Publikation des Mediziner Dean Schraufnagel von der Universität Illinois in einer aktuellen Übersichtsarbeit wie folgt: *„Vor allem bei der Entstehung von Atemwegserkrankungen wie Lungenkrebs, der chronisch obstruktiven Lungenerkrankung (COPD) und Asthma, aber auch von Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie Herzinfarkten und Schlaganfällen kommt dem Ultrafeinstaub eine wichtige Rolle zu.“²¹*

Nancy Guo, West Virginia University, USA kam bei einer Untersuchung der Wirkung von Laserdrucker-Emissionen zu folgender Erkenntnis: *„Es gibt vor allem eine Gruppe, von der ich denke, dass sie es wissen sollte: schwangere Frauen. Denn wenn viele dieser Gene einmal verändert sind, werden sie über die Generationen weitergegeben. Es geht nicht nur um Sie.“²²*

Warum befassen wir uns nur mit Symptomen?

Für die Nutzung von tonerbasierten Laserdruckgeräten und Kopierern fordern wir deshalb:

- **Separate Räume:** Aufstellen und Betrieb der Geräte mit autarker Zu- und Abluft. Maßnahmen wie Zwangslüftung oder auch Luftreinigung können zu möglichen, zwingenden Vorgaben werden, wenn dies aus wissenschaftlicher Sicht angeraten ist. Keine Kopplung mit zentraler Klimaanlage
- **Nachrüstfilter:** Laserdrucker nie ohne Filter betreiben! Nachweislich können mit Filtern innen oder außen über 90 % der Partikelemissionen aufgefangen werden, ein effektiver Schutz für die Gesundheit der Menschen.
- **Messgeräte:** regelmäßige Messungen der Raumluft (mind. jährlich) mittels Zählung der Partikel (max. Particle number concentrations (PNC) < 10.000 Partikel/cm³ (24 Stundenmittel) oder 20.000 Partikel/cm³ (1 Stundenmittel))
- **Luftreinigungsgeräte:** einsetzen
- **Gerätetausch:** Sicher drucken mit Tinte statt Toner – ein Muss im Home-Office!

Mit der alternativen Technik Tintenstrahlgeräte sparen Sie auch gleichzeitig Strom und CO₂-Emissionen. Deutsche Behörden haben den Tausch bereits zu Zehntausenden durchgeführt.

Dies ist weniger belastend für die Innenraumluft, kann Geld sparen und man tut auch gleich etwas für den Klimaschutz. Sie sparen bis zu 90 % Strom im Betrieb und verbessern somit auch ihre CO₂-Bilanz. Neben der energetischen Betrachtung von Gebäuden müssen Innenräume, auch im Kontext des Klimawandels in der Zukunft Schutzräume für die Menschen sein, mit sauberer Raumluft, auf die wir uns verlassen können: denn Atmen, heißt Leben!

Einhaltung gesetzlicher Rahmenbedingungen in Deutschland und der Welt

Menschenrecht auf saubere Luft – auch im Innenraum

Durch die Schaffung gesetzlicher Regelungen zur Innenraumluftqualität erhalten Menschen ein Recht auf eine sichere und gesunde Atemluft im Innenraum. Das Recht auf saubere Luft ist seit 2022 ein durch die Vereinten Nationen verbrieftes Menschenrecht und gilt somit gleichermaßen für die Innenraumluft. Die EU hat strengere Grenz- und Zielwerte für 2035 zur Verbesserung der Außenluftqualität beschlossen, im Einklang mit den Luftqualitätsrichtlinien der Weltgesundheitsorganisation (WHO). Es bleibt wieder einmal unklar, wie die Innenraumluftqualität jetzt und in der Zukunft kontrolliert und bewertet werden kann. Betroffene bleiben weiterhin rechtlos und werden allein gelassen.

Barrierefreiheitsstärkungsgesetz (BFSG) ab 2025 – Kontaminierte Atemluft kann Barriere sein

Die Barrierefreiheit für sensibilisierte Menschen in Innenräumen in Deutschland – besonders für vulnerable Gruppen – ist nicht gewährleistet. Schwerbehinderte Menschen werden ausgegrenzt bei Besuchen von Arztpraxen, Apotheken, Kliniken, Bildungseinrichtungen, Kindergärten, Schulen, kulturellen Einrichtungen und auch anderen öffentlichen Gebäuden.

Kreislaufwirtschaft Toner und Kartuschen – „Cradle-to-Grave“-Prozess

Bezugnehmend auf eine angebliche Kreislaufwirtschaft zieht die Stiftung nano-Control das Fazit, dass es sich bei Toner und Kartuschen weitestgehend um einen „Cradle-to-Grave“-Prozess handelt. Das Material geht vorrangig in Form von neuen Rohstoffen ein und tritt am Ende als kaum verwertbarer Abfall wieder aus. Weltweit verbrauchen Laserdrucker und Kopierer jährlich allein ca. 1,2 Millionen Tonnen Toner, wovon große Mengen am Ende die Umwelt belasten.²³

Auch gibt es unvorstellbare Mengen an festem Abfall, der bei der Verarbeitung und am Ende der Nutzung entsteht. Das bedruckte Papier ist im abfalltechnischen Sinn eigentlich „Sondermüll“. Dies aufgrund der Belastung durch die im Toner enthaltenen verschiedenen Metalle und chemischen Bestandteile. Für recyceltes Papier kann dies vermutlich auch so angenommen werden, denn diese Stoffe wird man nur schwerlich beim Recyceln komplett entfernen können.

Nur etwa jede vierte Tonerkartusche wird wiederverwendet, 6 von 10 Tonerkartuschen landen somit im Hausmüll, wo es bis zu 450 Jahre dauert, bis die Kunststoff-Druckerpatronen abgebaut sind; einige Bestandteile brauchen 1.000 Jahre, bis sie zersetzt sind.²⁴ Wir kritisieren bis heute das Vorgehen der Rückführung von leeren Tonerkartuschen in Deutschland über Kinderhände. „Meike der Sammeldrachen“ feierte gerade seinen 20. Geburtstag!

Resttoner ist nicht recyclebar. Es wird angenommen, dass weltweit riesige Mengen Mikro- und Nanoplastik, sowie metallische Feinstaub-Partikel aus den Druckern in die Atemluft und die Umwelt unwiederbringlich feinstverteilt werden.

Tatsächlich ist die Hausmüllentsorgung der Tonerkartuschen unter Bußgeldandrohung in Deutschland verboten.²⁵ Natürlich ist dies nicht kontrollierbar und auch kein weltweiter Standard. Die Hersteller entziehen sich auch an dieser Stelle komplett ihrer Verantwortung.

Umwelt

Milliarden Geräte, die schon bei einer Seite Druck viele Milliarden ultrafeine Partikel ungerichtet in die Innenraumluft ausstoßen, haben auch direkte Folgen in der Umwelt: Wissenschaftler untersuchten in vier italienischen Städten die Außenluft. Auf Blütenpollen fanden sie Toner in verschiedenen Farben. Sie weisen in diesem Zusammenhang auf die Diskussionen zur Gesundheitsgefahr von Toner in der Innenraumluft hin.²⁶

Lieferkette ist ein „schmutziges Geschäft“

Entlang der Lieferkette des Prozesses zur Herstellung des Toners und der befüllten Tonerkartuschen bis hin zur Nutzung durch den Endverbraucher sowie der Handhabung und Entsorgung der Kartuschen als auch bei der Belastung der Atemluft im Innenraum durch ultrafeine Partikel handelt es sich um ein staubiges, man könnte auch sagen „schmutziges oder dreckiges Geschäft“.

Die Hersteller halten sich überwiegend sehr vornehm zurück, wenn es darum geht, an diesen Stellen tatsächlich saubere Lösungen anzubieten.

Klimaziel „ZERO EMISSION“ – Chancen nutzen – auf den Innenraum erweitern

Die Stiftung nano-Control schätzt für Deutschland bei einem Technik-Change von derzeit 20 Millionen Laserdruckern gegen Tintenstrahldrucker eine Energieersparnis von etwa 1 Terrawattstunde pro Jahr bei einem Gesamtverbrauch von 550 Terrawattstunden pro Jahr in unserem Land.

Neben der Energie- und CO₂-Ersparnis für die alte, verstaubte Technik gibt es einen relevanten Nebeneffekt: die Gesundheit der Menschen, die sich umgehend verbessern kann, denn Feinstaub macht nachweislich krank.

Arbeitsschutz und Produktivitätssteigerung

Die Stiftung nano-Control stellt klar, dass sich rechtliche Auflagen positiv auswirken können auf die Gesundheit, die

Kreativität und schlussendlich auf die Produktivität von Arbeitnehmern, die sich in der Nähe von Laserdruckern und -kopierern aufhalten.

Unternehmen nutzen zur Messung verschiedener Indikatoren Human Resources-KPIs (Key Performance Indicators sind Kennzahlen, mit denen die Leistung in bestimmten Bereichen eines Unternehmens gemessen wird.). Durch solche Analysetools können sicher auch positive Effekte von sauberer, unbelasteter Atemluft für die Mitarbeiter dargestellt werden. Man muss es einfach nur machen!

Autor:

Heike Krüger
Vorstands-Vorsitzende nano-Control
Internationale Stiftung

Quellen

- 1 Sonderbericht Luftverschmutzung: Unsere Gesundheit ist nach wie vor nicht hinreichend geschützt. www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR18_23/SR_AIR_QUALITY_DE.pdf
- 2 Globale Luftgüteleitlinien der WHO: Feinstaubpartikel (PM_{2,5} und PM₁₀), Ozon, Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid. Zusammenfassung ISBN: 978-92-890-5606-9 © Weltgesundheitsorganisation 2021
- 3 Morawska et al. 2024 Mandating indoor air quality for public buildings, *Science* · March 2024 DOI: 10.1126/science.adl0677
- 4 Cath Noakes, the paper's co-author and Professor of Environmental Engineering for Buildings, University of Leeds. 28.03.2024
- 5 Barthel M, Pedan V, Hahn O, Rothhardt M, Bresch H, Jann O, Seeger S.: XRF-analysis of fine and ultrafine particles emitted from laser printing devices, *Environ Sci Technol*. 2011 Aug 2. Geräteangaben vom UBA, 10.08.2012; www.nano-control.org/wp-content/uploads/2016/04/Studie-BAM-Emissionen-LDG.pdf
- 6 Computer Bild Test – Schnell, brillant, günstig und GESUNDHEITSSCHÄDLICH? 15.12.2023. www.nano-control.org/computer-bild-farblaserdrucker-test-2024-mit-feinstaubmessungen-in-eigener-testkammer
- 7 Clifford S, Mazaheri M, Salimi F, Ezz WN, Yeganeh B, Low-Choy S, Walker K, Mengersen K, Marks GB, Morawska L. Effects of exposure to ambient ultrafine particles on respiratory health and systemic inflammation in children. *Environ Int*. 2018 May;114:167-180. doi: 10.1016/j.envint.2018.02.019. Epub 2018 Mar 4.
- 8 Chip 6/2007 Gefahr aus dem Drucker. Beim CHIP Roundtable „Drucker und Verbrauchsmaterialien“ reden Experten Klartext
- 9 BGRCI Tonerstaub; www.bgrci.de/fachwissen-portal/themenspektrum/gefahrstoffe/gefahrstoffinformationen/inhalte-gefahrstoffinformationen/tonerstaub
- 10 Cheng Fang et al. 2021. Capture and characterisation of microplastics printed on paper via laser printer's toners. *Chemosphere* Volume 281, October 2021, 130864. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130864>
- 11 Toner Particles as Microplastics ECHA Workshop, Helsinki 31 May 2018 https://echa.europa.eu/documents/10162/3141167/10_xeros-kerns_en.pdf/78fe89f2-b6a8-d9ab-fedf-d49e1e0d0024?t=1529305316334
- 12 Xerox Toner Schwarz 2022 Sicherheitsdatenblatt A-18 <https://safetysheets.business.xerox.com/wp-content/uploads/2021/01/A-18.de.pdf>
- 13 Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) Giftinformationszentrum - Welche Produkte tragen einen UFI-Code? <https://poisoncentres.echa.europa.eu/de/why-the-ufi-matters-for-everybody>
- 14 Self-reported symptoms associated with the use of printer and photocopier machines: Results from the nano-Control, International Foundation survey, *J Occup Environ Med*. 2024 Aug 1, doi: 10.1097/JOM.0000000000003197
- 15 Das Recht auf gesunde Innenraumluft. Bericht über WHO-Tagung | Bithoven, Niederlande | 15. – 17. Mai 2000
- 16 Global Market Insights (GMI)
- 17 Sorbonne Université Ecole doctorale 397: Physique et Chimie des Matériaux. 2019 2
- 18 Safer-by-design emerging nanomaterials: the case of bimetallic gadolinium-cerium oxysulfides, M. Anh-Minh Nguyen Thèse de doctorat de Sorbonne Université
- 19 Jiménez et al. Safe(r) by design guidelines for the nanotechnology industry. *NanoImpact* Volume 25, January 2022, 100385
- 20 DaNa Spotlight November 2021 Sichere Materialien von Anfang an – Safe-by-Design in der Materialforschung betrachtet
- 21 Dean E. Schraufnagel The health effects of ultrafine particles Review Article *Experimental & Molecular Medicine* volume 52, pages 311–317 (2020) Published: 17 March 2020
- 22 Deutscher Bundestag Wissenschaftliche Dienste WD 8 – 3000 – 031/24 Gesundheitliche Effekte von Ultrafeinstaub; www.bundestag.de/resource/blob/1011736/3e58baadca816b5d225a7f1869ce678e/WD-8-031-24-pdf.pdf
- 23 Nancy Lan Guo, West Virginia University 2020 Integrated Transcriptomics, Metabolomics, and Lipidomics Profiling in Rat Lung, Blood, and Serum for Assessment of Laser Printer-Emitted Nanoparticle Inhalation Exposure-Induced Disease Risks. *Int. J. Mol. Sci*. 2019, 20(24), 6348; <https://doi.org/10.3390/ijms20246348>
- 24 www.superpatronen.de/ratgeber/umweltschutz?pk_campaign=g_sn_druckerpatronen&pk_kwd=superpatrone&gad_source=1&gclid=EAlaIqobChMI_OKavMXEhwMVBKmbDBx3DNBoREAYASA-FEgLfPD_BwE
- 25 Meist ein schmutziges Geschäft; www.industr.com/de/nachhaltige-carbon-black-absackung-fuer-die-elektromobilitaetswende-2722174
- 26 Bussgeldkatalog 2024 www.bussgeldkatalog.org/umwelt-toner-entsorgen
- 27 OLGA MORETTI, ARPA UMBRIA Terni, Italien 21 – 22 November 2022. Die chemische Charakterisierung von Feinstaub in der Atmosphäre – V. Ausgabe. Anomale Vorkommen auf Pollen-Objektträgern: Der Fall des Tonergranulats