

Gesundheitsgefahren durch Toner, Laserdrucker und Kopiergeräte

Achim Stelting

Giftige Toner, unfassbare Emissionen und gesundheitsschädigende Wirkungen – Eine Fülle neuer Studien aus aller Welt bringt Laserdrucker und Kopierer immer schwerer unter Verdacht. Laserdrucker emittieren laut amtlicher Messungen Milliarden feine und v. a. ultrafeine Partikel pro Seite, darunter relevante Mengen metallischer Nanopartikel und krebverdächtiges Carbon Black aus den Tonern sowie flüchtige organische Verbindungen und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. Internationale Studien zeigen *in vitro*, in Versuchen an menschlichen und tierischen Zellen, aber auch *in vivo*, im Tierversuch und an Testpersonen, gesundheitsschädigende Wirkungen der Toner und Emissionen, nach kurzer Zeit, im Niedrigdosisbereich und bei gesunden Testpersonen. Damit sind Laserdruckgeräte (LDG) eine Gefahr für jeden. Kohlenstoffnanopartikel wurden im Gewebe von Patienten nachgewiesen und es wurde gezeigt, wie metallische Tonerpartikel in menschliche Zellen eindringen und zellschädigenden oxidativen Stress auslösen. Die genetischen und immunologischen Mechanismen der Schädigungen konnten im Expositionstest an Menschen aufgeklärt werden. Danach stehen LDG im Verdacht, Entzündungen und eine Reihe immunologischer Erkrankungen auszulösen. Sogar DNA-Schäden an Lungenzellen wurden nach nur 200 gedruckten Seiten beobachtet. Das bedeutet Krebsgefahr! Die Partikel können ins Gehirn eindringen und potenzieren die Bildung von Alzheimer-Plaques. Internationale Forscherteams warnen. Angesichts von ca. einer Milliarde Geräten weltweit handelt es sich um ein globales Risiko. Das Grundrecht auf körperliche Unversehrtheit und das Vorsorgeprinzip zwingen zu Schutzmaßnahmen. Zum Glück ist das Problem humanverträglich und wirtschaftsfreundlich lösbar. Höchste Zeit, aus Schaden klug zu werden.

Schlüsselwörter: Laserdrucker, Kopierer, Toner, Emission, Feinstaub, Ultrafeinpartikel, Nanopartikel, Metalle, Carbon Black, VOC, PAK, Gesundheitsgefahr, oxidativer Stress, Entzündungen, genotoxische Effekte, Asthma

Keywords: laser printer, copier, toner, emission, ultrafine particles, nano particles, PEP, printer emitted particles, metal, VOC, PAH, hazards, oxidative stress, inflammation, genotoxic effects, asthma

Erste Studien

Die erste wissenschaftliche Publikation über Hautentzündungen bei Postbeamten durch Kopierer stammt von dänischen Forschern aus dem Jahr 1979 (JENSEN, ROLD-PETERSEN 1979). 1992 führten Wolkoff und Kollegen einen ersten humanen Expositionstest durch und beobachteten entzündliche Reaktionen (WOLKOFF et al. 1994). 1995 stellte die US-Umweltbehörde, die den Dieselskandal aufdeckte, nach Untersuchungen von Kopiergeräten fest, dass von der Innenraumluft die größten Risiken für die Gesundheit ausgehen (USEPA). 1996 führte die Publikation der Wiener Lungenärztin Dr. Christine Armbruster in *The Lancet* über den Nachweis von metallischen Tonerpartikeln in der Lunge eines Patienten nach Kopierarbeiten erstmals zu einem Bericht über gesundheitsschädigende Wirkungen von Tonern im deutschen Fernsehen (ARMBRUSTER et al. 1996). Polnische Wissenschaftler berichteten 2003 in einer Kasuistik über Rhinitis und Asthma durch Toner (WITZAK et al. 2003). 2003 publizierte die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) nach Jahren die Ergebnisse der sog. 19-Stäube-Studie, mit der auch bei Tonerstaub eine krebserregende Wirkung an Ratten festgestellt wurde (POTT/ROLLER). Eine Nachuntersuchung des Berufsgenossenschaftlichen Institutes für Arbeitsmedizin (BGIA) zeigte im Kurzversuch auch bei einem modernen Toner entzündliche Wirkungen.

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) leitete im Mai 2004 ein Risikobewertungsverfahren ein und gab im Juni 2005 eine Pilotstudie in Auftrag (MERSCH-SUNDERMANN et al. 2011).

2006 untersuchten Forscher des IUK Freiburg unter Leitung von Prof. Mersch-Sundermann im Rahmen der sog. Tonerpilotstudie die Raumluft und die Gesundheit der Beschäftigten in 63 deutschen Büros und stellten signifikant erhöhte Partikelemissionen und auffällige Beschwerden fest. Bei Nachuntersuchungen hatten von 13 untersuchten Polizisten acht Asthma. 1–10 % der emittierten Partikel wurden als tonertypische Metalle identifiziert. 2008 beendete das BfR das Risikobewertungsverfahren mit der Feststellung, dass man Risiken nicht ausschließen und dringend weiter geforscht werden müsse (BfR 2008).

In einem ersten Review zum Stand der Forschung kamen die Forscher des IUK Freiburg 2006 zu dem Ergebnis, dass Humanstudien „*wissenschaftlich belastbare Hinweise auf irritative und genotoxische Effekte bei Exposition gegenüber den beim Druck- bzw. Kopierbetrieb entstehenden Emissionen liefern*“ (GMINSKI 2006).

Inzwischen wird weltweit geforscht und es liegen fast 100 neue Studien vor, die auf www.nano-control.org/info/stander-forschung/studien abgerufen werden können. Besonders hingewiesen wird auf 15 Publikationen des Harvard Center for Nanotechnology and Nanotoxicology und die Untersuchungen des IUK Freiburg, das ein Review erstellt hat, das sich in der Publikation befindet.

In dem Blog „Fragwürdig – die Haltung der Bundesregierung“ auf www.nano-control.org setzt sich der Autor kritisch mit den Hintergründen des schleppenden Aufklärungsprozesses auseinander.

Toner sind Mikro- und Nanopartikel und sind gesundheitsschädigend!

Physikalisch betrachtet sind Toner Feinstäube aus Partikeln von wenigen Mikrometern Größe. In großer Zahl finden sich jedoch ultrafeine Partikel auf und zwischen den primären Tonerpartikeln. Dabei handelt es sich auch um technisch hergestellte Nanopartikel, sog. ENM (engineered nano materials) zur Verbesserung der Produkteigenschaften, wie Untersuchungen des Harvard Center an Kopierern und Laserdruckern 2015 aufdeckten (MARTIN et al. 2015). Tonerpulver sind sehr unterschiedliche chemische Zubereitungen, deren genaue Zusammensetzungen von den Herstellern geheim gehalten werden. Die Sicherheitsdatenblätter (MSDS-Material Safety Data Sheet) der Hersteller enthalten, wenn überhaupt, nur grobe Angaben. Viele Toner bestehen rund zur Hälfte aus Magnetit, also Eisenpulver, das mit vielen anderen gefährlichen Metallen belastet ist. Metalle werden laut Patenten auch gezielt eingesetzt, auch als Nanomaterial. Hunderte von Analysen belegen (NANO-CONTROL 2009), dass Toner mit einer Vielzahl von gefährlichen, zum Teil krebserregenden Schadstoffen belastet sind, wie:

- Metalle, v. a. Eisen, Titan, Silizium, aber auch Aluminium, Kupfer, Nickel, Mangan, Kobalt, Antimon, Blei, Strontium, Cadmium
- Kolophonium
- VOC (flüchtige organische Verbindungen), z. B. Benzol, Styrol, Phenol
- Carbon Black
- teilweise ultratoxische Organozinnverbindungen (DBT, TBT)

An der gesundheitsschädigenden Wirkung von Tonern bestehen keine Zweifel. Schon die Hersteller warnen in den MSDS vor dem Einatmen, vor Haut- und Augenkontakt und sogar vor Lungenschäden. Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) forderte 2012 in einer schriftlichen Erklärung, Produkte, die Toner freisetzen, vom Arbeitsplatz zu entfernen und der Münchner Arbeitsmediziner Prof. Dennis Nowak bezeichnete im Interview der Süddeutschen Zeitung am 26.10.2011 Toner als „giftig“. Bei Untersuchungen des IUK Freiburg lösten auch Toner an humanen Lungenzellen oxidativen Stress und DNA-Schäden aus (GMINSKI 2011).

PEPs – Unfassbare Emissionen

Laserdrucker und Kopierer können die Raumluft mit einem hochkomplexen Mix aus Schadstoffen, feinen und ganz überwiegend ultrafeinen Partikeln, sog. PEPs (printer emitted particles), belasten. Dies belegen Studien aus der ganzen Welt, insbesondere die Untersuchungen der LGA Bayern/TÜV Rheinland, die deutsche Tonerpilotstudie und Folgeuntersuchungen des IUK Freiburg (s. u.), die Queensland-Studie, die 2007 eine Welle internationaler Berichterstattung auslöste, und 2013 die Untersuchung der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) (JUNGNIKEL/KUBINA 2002, HE 2007, BARTHEL 2013). Durchschnittlich 2,37 Milliarden Partikel pro Seite, in der Spitze bis zu 7,6 Milliarden, werden laut BAM emittiert. Der größte Teil davon sind flüchtige organische Verbindungen, VOC und SVOC, die beim Erhitzen und Aufschmelzen entstehen. Auch Flammenschutzmittel aus den Gehäusen wurden nachgewiesen. Die Partikelemissionen aus LDG sind ungefiltert, was von den Herstellern und Ihrem Verband BITKOM offensiv vertreten wird. Das WKI Braunschweig, das

seit 2006 mehrere Untersuchungen durchgeführt hatte, auch im Auftrag des BITKOM nach Absprache zwischen dem Bundesumweltministerium und dem Verband, betont, es werde fast kein Toner emittiert und die Emissionen seien vergleichbar denen von Haushaltsgeräten (UHDE/HE/WENSING 2007, WENSING et al. 2008, WENSING et al. 2008, MORAWSKA et al. 2009, SALT-HAMMER/WENSING 2010). Abgesehen davon, dass dieser rein quantitative, irreführende und verharmlosende Vergleich Aussagen zur tatsächlichen quantitativen und qualitativen Zusammensetzung schuldig bleibt, lässt er keinerlei Rückschlüsse auf die Wirkung zu. Die Frage, ob Toner freigesetzt wird oder nicht, ist letztlich nicht entscheidend. Dieselfahrzeuge emittieren auch kein Diesel. Im Übrigen sind auch flüchtige Verbindungen gesundheitsschädlich. Emissionen von Toner sind oft schon mit bloßem Auge an Geräten, Kartuschen, im Umfeld oder an verschmutzten Filtern sichtbar. Zudem hatte schon die Tonerpilotstudie 1–10 % feste Partikel, darunter Metalle aus den Tonern nachgewiesen. Bei einer durchschnittlichen Emission von 2,37 Milliarden Partikeln pro Seite sind das im Mittel zwischen 24 und 237 Millionen fester Nanopartikel pro Seite. 2009 gelang sogar Schülern im Rahmen von „Jugend forscht“ der Nachweis von Tonermetallen in den Emissionen von Laserdruckern (STELTING/WELLER 2009). Auch die BAM wies in der o.g. Untersuchung nanoskalige Metalle aus den Tonern in der Emission nach.

Untersuchungen des Harvard Center for Nanotechnology and Nanotoxicology zeigten 2013, 2014 und 2015 eindrucksvoll, dass Laserdrucker und Kopierer sehr wohl relevante Mengen metallischer und Kohlenstoff-Nanopartikel emittieren, die eindeutig aus den Tonern stammen, darunter künstliche Nanopartikel (ENM, engineered nano materials) (PIRELA et al. 2013, 2015, MARTIN 2015). Dies bestätigen die BAM und die Pilotstudie des IUK Freiburg. Zudem werden neben VOC, SVOC und festen ultrafeinen Partikeln aus Metallen auch Carbon Black und PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) emittiert, wie das IUK Freiburg sowie australische und polnische Forscher feststellten (MERSCH-SUNDERMANN et al. 2016, MULLINS et al. 2013, SZEWCZYNSKA et al. 2014). Am 25.04.2014 wies auch die Bundesregierung in einer Presseerklärung „Feinstaub bekämpfen“ darauf hin, dass Feinstaub auch aus Laserdruckern und Kopiergeräten kommt. Die Anreicherung mit Nanopartikeln und Schadstoffen macht diesen Feinstaub sicher nicht ungefährlicher.

Neben den Belastungen durch Tabakrauch dürften LDG weltweit die relevanteste Belastungsquelle der Innenraumluft durch anthropogene ultrafeine Partikel und künstliche Nanomaterialien sein. Eine Studie aus den USA vom Juni 2016 zeigte, dass auch 3D-Drucker erhöht Nanopartikel emittieren (YI et al. 2016). Hier entwickelt sich möglicherweise schon das nächste Risiko.

Studien bestätigen gesundheitsschädigende Wirkungen

Nachdem an der Gefährlichkeit der Toner und an Emissionen aus LDG kein Zweifel besteht, stellt sich dringend die Frage nach der Wirkung auf die Gesundheit. Tatsächlich bestätigt inzwischen eine Fülle internationaler Studien die gesundheitsschädigenden Wirkungen und damit die leidvollen Erfahrungen Tausender Betroffener. Die Risiken betreffen also jeden und werden insbesondere durch folgende neuere Untersuchungen bestätigt:

1. 2012, IUK Freiburg: Im Prüfkammerversuch wurden gentoxische Effekte an humanen Lungenzellen nach Exposition gegenüber Emissionen aus Laserdruckern festgestellt (TANG 2012).

2. 2013, Harvard Nano-Center: Nach Exposition von gesunden Probanden im Copy-Shop wurden fünffach erhöhte Partikelbelastungen, oxidativer Stress und DNA-Schäden festgestellt (KHATRI 2013).
3. 2013, Arbeitsmedizin Uniklinikum Magdeburg: In der Kasuistik wurden nach Karenz und nach einstündiger Exposition gegenüber einem Laserdrucker Untersuchungen mittels BAL durchgeführt. Die Patientin bekam Husten und Brustschmerzen. Zudem wurden Entzündungen der Bronchien nachgewiesen (D'ALESSANDRO 2013).
4. 2014, Harvard Nano-Center: Untersuchung der Wirkungen emittierter Nanopartikel auf Zellen der feinen Luftwege und Gefäße: Schon geringe Exposition gegenüber Nanopartikeln aus Laserdruckern führt zu morphologischen Veränderungen, Entzündungen und oxidativem Stress (SISLER et al. 2014).
5. 2015, Harvard-Center: Durch Exposition von drei physiologisch relevanten Zelllinien in Dosen (0.5–100 µg/m), die der menschlichen Immission durch Einatmung von Partikeln aus Laserdruckern (PEP) von etwa acht Stunden Dauer und höher entsprachen, wurde signifikante Beschädigungen der Zellmembranen, ein Anstieg der Produktion an freien Sauerstoffradikalen (ROS) und von pro-entzündlichen Zytokinen festgestellt sowie auch epigenetische Effekte (KHATRI et al.).
6. 2015, IUK Freiburg: Im Rahmen einer Pilotstudie mit Untersuchung von 28.000 Genen bei acht Probanden mittels Microarray wurden durch Forscher des IUK Freiburg signifikante genetische Veränderungen in Richtung Entzündungen und immunologischer Erkrankungen bei Exposition gegenüber Laserdruckern festgestellt, nicht aber bei Exposition gegenüber Tintendruckern (MERSCH-SUNDERMANN et al. 2015). Auch bei gesunden Testpersonen wurden die Effekte beobachtet. Damit sind die schädigenden Wirkmechanismen aufgeklärt und es bedarf lediglich einer Validierung im Rahmen einer multizentrischen Hauptstudie.
7. 2016, Harvard-Center: Der Tierversuch an Mäusen mit realistischen Expositionsdosen von PEPs bestätigte in vivo die vorausgegangenen In-vitro-Studien und zeigte erhöhte Immunreaktionen der Lunge und epigenetische Effekte (PIRELA et al. 2016).
8. 2016, IUK Freiburg: Im Prüfkammerversuch konnte gezeigt werden, dass Metalle aus dem Toner wie auch aus der Emission der beiden untersuchten Laserdrucker in humane Lungenzellen eindringen und zellschädigenden oxidativen Stress und erhöhte Lipidperoxidation auslösen (MERSCH-SUNDERMANN 2016).

Der Nano-GAU durch PEPs?

- Pathologen in Rostock untersuchten 2008 für nano-Control das Gewebe eines verstorbenen Krebspatienten und fanden in seinen Lungenzellen Kohlenstoff-Nanopartikel aus den Tonern (JONAS/TAUTZ 2009). Vergleichende rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen von Asbestfasern und Tonerpartikeln zeigten eine Aufnahme der Partikel und den Einschluss in Vesikel, erhöhte Proliferation der Fibroblasten, bei hohen Konzentrationen eine starke Zytotoxizität, eine starke Produktion von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) und eine erhöhte Tendenz zur Nekroseinduktion.

- Pathologen in Essen fanden 2010 Kohlenstoff-Nanopartikel in der Bauchhöhle einer Bankangestellten, die unter Bauchbeschwerden litt und drei Jahre neben einem Laserdrucker mit kohlenstoffhaltigem Toner gearbeitet hatte (THEEGARTEN et al. 2010).

Tatsächlich wurden laut Untersuchungsberichten von Betroffenen, die nano-Control vorliegen, auch tonertypische Metalle wiederholt durch pathologische Untersuchungen im Gewebe von Menschen nachgewiesen, so wie von Armbruster 1996 in The Lancet publiziert (POTT/ROLLER 2003). Dies bestätigt in vivo die Ergebnisse der jüngsten Freiburger Studie. Somit stellt sich die Frage, ob Millionen Menschen PEPs in sich haben und wie dies auf Dauer wirkt. Das könnte eine tickende Zeitbombe sein, der Nano-GAU.

Einschätzungen international renommierter Forscher und Institute

- Prof. Chen et al. vom National Center for Nanoscience and Technology, Beijing, China, erklärten im Dezember 2015 „Unsere bisherigen Ergebnisse zeigen, dass Drucker tatsächlich Partikel freisetzen, die zu einer hohen Konzentration in Innenräumen führen (SHI et al. 2015). Besondere Vorsicht ist bei diesen verbreitet genutzten Maschinen geboten und wirksame Kontrollen der Partikelemission bei Druckverfahren sind notwendig.“
- Forscher des Harvard Center for Nanotechnology and Nanotoxicology stellten im Juni 2015 fest, dass „hohe Nanopartikel-Expositionen ein branchenweites Phänomen“ sind (MULLINS/BERTOLATTI 2015). Sie unterstreichen die Notwendigkeit, diese Technologie an der Schnittstelle zu Arbeitnehmern und Verbrauchern grundlegend zu überarbeiten.
- Prof. Mersch-Sundermann, Direktor des IUK Freiburg, des größten Institutes für Umweltmedizin in Deutschland, der seit über einem Jahrzehnt die Gefahren durch Laserdrucker erforscht, kommt in der o.g. Expositionsstudie zu dem Ergebnis: „Bis zur Evaluierung der gefundenen Effekte und bis zum Abschluss belastbarer Studien sollten aus präventivmedizinischer und hygienischer Sicht Maßnahmen zur Expositionsreduktion bzw. -vermeidung stattfinden; z.B. Separierung der Geräte in gut belüftete Räume, Einsatz von Tintenstrahldruckern und/oder Verwendung wirksamer Filtertechnologien.“

Lösungen

Die Lösung des Problems sind v.a. moderne Tintenstrahldrucker- und -kopierer, die schon jetzt alle Leistungsmerkmale von LDG erreichen oder sogar übertreffen (bis zu 185 Seiten/Minute). Dabei sind diese Geräte nicht nur emissionsarm und gesundheitlich unbedenklich, sie sparen laut Herstellern 90 % Material, 80 % Strom und 50 % Kosten.

Der Blaue Engel für Laserdrucker ist keine Lösung. Wie vom UBA 2009 erklärt, ist für Produkte, die Nanopartikel freisetzen, so lange kein Blauer Engel zu vergeben, bis die Risiken geklärt sind.

Eine Lösung für Laserdrucker kann der Einbau von Filtern sein, der auch vom Umweltbundesamt befürwortet wird. Konica Minolta baut als erster Hersteller weltweit seit Mai 2016 in Europa in alle Geräte Feinstaubfilter ein. Nachrüstfilter sind nur teilweise geeignet und eher eine Zwischenlösung.

Konsequenzen

Aus der aktuellen Studienlage und angesichts der dauerhaften Exposition von Millionen Menschen allein in Deutschland ergeben sich folgende Konsequenzen, die auch Gegenstand einer Petition sind:

1. Prävention: Die Bevölkerung ist unverzüglich vor LDG zu schützen. Dies gilt besonders für empfindliche und stark belastete Personengruppen wie Asthmatiker, Allergiker, Kinder Schwangere und Krebspatienten einerseits und Servicetechniker oder Mitarbeiter in Copyshops andererseits. In Arztpraxen und Kliniken ist in Umgebung von Patienten auf Laserdrucker zu verzichten. Gefordert sind vor allem die Drucker- und Toner-Hersteller. Geräte mit schädigenden Emissionen sind sofort vom Markt zu nehmen. Das Vorsorgeprinzip zwingt aber auch die Regierungen in Europa, bei dieser Verdachtslage konkrete Schutzmaßnahmen für die Bevölkerung zu treffen.

2. Forschung und Therapie: Die Risiken sind unverzüglich und umfassend weiter aufzuklären. Vorrangig ist eine multizentrische Expositionsstudie auf der Basis der Freiburger Probandenstudie unter Beteiligung der Betroffenen. Auch allergische, neurotoxische und kanzerogene Wirkungen sowie Belastungen der Bevölkerung mit deponierten Partikeln sind zu erforschen. Therapeutische Maßnahmen sind zu entwickeln und als Kassenleistung anzubieten. Angesichts vielfältiger und zunehmender Umweltbelastungen ist die klinische Umweltmedizin auszubauen.

Autor:

Achim Stelling, Vorsitzender nano-Control, Internationale Stiftung
E-Mail: achim.stelling@nano-control.org, www.nano-control.org

Der Autor bittet um Unterstützung der Petition für gesunde Raumluft, menschenwürdige Behandlung von Umwelterkrankten und die Stärkung der klinischen Umweltmedizin auf *Campact WeAct*:
<https://weact.campact.de/p/gesunde-raumluft-tinte-statt-toner>.

Literatur

Armbruster C, Dekan G, Hovorka A: Granulomatous pneumonitis and mediastinal lymphadenopathy due to photocopier toner dust. *The Lancet* 1996; 348(9028): 690

Barthel M, Seeger S, Wilke O et al.: Erfassung der Zahl feiner und ultrafeiner Partikel aus Bürogeräten während der Druckphase zur Entwicklung eines Prüfverfahrens für das Umweltzeichen Blauer Engel für Bürogeräte mit Druckfunktion. *Umweltbundesamt, Texte* 74/2013

BfR schließt gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Emissionen aus Büromaschinen nicht aus, BfR-Pressinformation 07/2008 vom 18.04.2008

BGIA, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsmedizin, Toxizität von Tonerstäuben, Projekt-Nr. BIA7012

D'Alessandro A. et al.: Coughing from Copiers? Workplace Induced Chronic Cough after Exposure to Laser Printer Exhaust. *J Allergy The, Volume 4, Issue 5, 1000154, 2013*

Gminski B, Mersch-Sundermann V: Gesundheitliche Bewertung der Exposition gegenüber Tonerstäuben und gegenüber Emissionen aus Laserdruckern und Kopiergeräten – aktueller Erkenntnisstand. *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 2006; 11(5): 269ff

Gminski R et al.: Genotoxic effects of three selected black toner powders and their dimethyl sulfoxide extracts in cultured human epithelial A549 lung cells in vitro. *Environmental and Molecular Mutagenesis* 2011; 52(4):296

He C et al.: Particle Emission Characteristics of Office Printers. *Environ. Sci. Technol.* 2007; 41(17): 6039–6045

Jensen M, Rold-Petersen J: Itching erythema among post office workers caused by a photocopying machine with wet toner. *Contact Dermatitis* 1979; 5(6): 389–391

Jonas L: Tonerstaub kann Krebs verursachen, Informationsdienst der Wissenschaft, 2008-10-22

Jungnickel F, Kubina A: Emissionen aus Laserdruckern. *Landesgewerbeanstalt Bayern (LGA), 2002*

Khatri M, Bello D, Gaines P, Martin J, Pal AK, Gore R, Woskie S: Nanoparticles from photocopiers induce oxidative stress and upper respiratory tract inflammation in healthy volunteers. *Nanotoxicology* 2013 Aug; 7(5):1014-27. doi: 10.3109/17435390.2012.691998. Epub 2012 Jun 14.

Martin J, Bello D, Bunker K, Shafer M, Christiani D, Woskie S, Demokritou P: Occupational exposure to nanoparticles at commercial photocopy centers. *J Hazard Mater* 2015; 17 (298):351-360

Mersch-Sundermann V, Gminski R, Ebner W, Tang T: Screening biologischer Effekte bei Exposition gegenüber Emissionen aus Laserdruckern – eine Probandenstudie. *Innenraumtage Berlin* 12.05.2015, Studienbericht 02.06.2015

Mersch-Sundermann V, Gminski R, Tang T et al.: Untersuchungen zur zellulären Internalisierung und zur biologischen Wirkung von Feinstaub-Partikeln aus Laserdruckeremissionen in humanen A549 Lungenepithelzellen. *Studienbericht*, 22.06.2016

Mersch-Sundermann V, Gminski R, Tang T et al.: Untersuchungen zur zellulären Internalisierung und zur biologischen Wirkung von Feinstaub-Partikeln aus Laserdruckeremissionen in humanen A549 Lungenepithelzellen, Studienbericht 2016, Publikation in Vorbereitung

Mersch-Sundermann V et al.: Pilotstudie der Universität Gießen: Evaluierung möglicher Beziehungen zwischen Emissionen aus Büromaschinen, insbesondere aus Fotokopierern und Laserdruckern, und Gesundheitsbeeinträchtigungen bzw. Gesundheitsschäden bei exponierten Büroangestellten. *UFO-Plan FKZ 705 62 449*; im Auftrag des Bundesinstitutes für Risikobewertung, s.a. Fine and ultrafine particles emitted from laser printers as indoor air contaminants in German offices, *Environ Sci Pollut Res Int.* 2011

Morawska L, He C, Johnson G, Jayaratne R, Salthammer T, Wang H, Uhde E, Bostrom T: An Investigation into the Characteristics and Formation Mechanisms of Particles Originating from the Operation of Laser Printers. *Environ. Sci. Technol* 2009, 43(4): 1015–1022

Mullins B, Bertolatti D; Mead-Hunter R: Assessment of polyaromatic hydrocarbon emissions from laser printers. *Atmospheric Environment* 2013; 79:428–432
nano-Control: Gefährlicher Mix. 2009, www.nano-control.org

Pirela S, Lu X, Miousse I, Sisler JD, Qian Y, Guo N, Koturbash I, Castranova V, Thomas T, Godleski J, Demokritou P: Effects of intratracheally instilled laser printer-emitted engineered nanoparticles in a mouse model: A case study of toxicological implications from nanomaterials released during consumer use. *NanoImpact* 2016(1):1-8

Pirela S, Molina R, Watson C, Cohen J, Bello D, Demokritou P, Brain J: Effects of copy center particles on the lungs: a toxicological characterization using a Balb/c mouse model. *Inhalation Toxicology* 2013; 25(9):498

Pirela S, Sotiriou GA, Bello D, Shafer M, Bunker KL, Castranova V, Thomas T, Demokritou P: Consumer exposures to laser printer-emitted engineered nanoparticles: A case study of life-cycle implications from nano-enabled products. *Nanotoxicology*. 2015; 9(6): 760–768.

Pott F, Roller M: Untersuchungen zur Kanzerogenität granulärer Stäube an Ratten – Ergebnisse und Interpretationen, BAUA-Projektnummer: F 1843, 2003

Salthammer T, Wensing M et al.: Measurement and characterization of UFP emissions of hardcopy devices in operation, im Auftrag des BITKOM, 2010

Shi X, Chen R, Huo L, Zhao L, Bai R, Long D, Pui DY, Rang W, Chen C: Evaluation of Nanoparticles Emitted from Printers in a Clean Chamber, a Copy Center and Office Rooms: Health Risks of Indoor Air Quality. *J Nanosci Nanotechnol* 2015;15(12): 9554-64

Sisler JD, Pirela SV, Friend S, Farcas M, Schwegler-Berry D, Shvedova A, Castranova V, Demokritou P, Qian Y.: Small airway epithelial cells exposure to printer-emitted engineered nanoparticles induces cellular effects on human microvascular endothelial cells in an alveolar-capillary co-culture model. *Nanotoxicology* 2014 Nov 11:1-11

Stelling A, Weller S: Candle-light dinner oder modernes Asbest. *Untersuchungen von Tonerpartikeln*. Aus: *Jugend forscht, Landessieger Hamburg, Poster* 2009

Szewczynska M, Pos'niak M, Kowalska J: The study of polycyclic aromatic hydrocarbons in particulate fractions emitted by office printers and copiers. *Med Pr.* 2014; 65(6): 733-41

Tang T, Gminski R, Kőnczal M, Modest C, Armbruster B, Mersch-Sundermann V: Investigations on Cytotoxic and Genotoxic Effects of Laser Printer Emissions in Human Epithelial A549 Lung Cells Using an Air/Liquid Exposure System. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 2012; Band 53, Heft 2: 125–135

Tautz S: Elektronenmikroskopische Untersuchungen an Probenmaterial von asbestbelasteten Patienten sowie zellbiologische Untersuchungen an asbest- und partikel-exponierten Zellkulturen; s.a. *Zelluläre Aufnahme und Toxizität von Tonerpartikeln in vitro*, Poster 102, 49. DGAUM, Wissenschaftliche Jahrestagung, März 2009

Theegarten D et al.: Submesothelial deposition of carbon nanoparticles after toner-exposition. *Diagnostic Pathology* 2010, 5:77

Uhde E, He C, Wensing M: Characterization of Ultra-fine Particle Emissions from a Laser Printer. *Healthy Buildings, Lisboa* 2007

USEPA (Air Pollution Prevention and Control Division), Kelly W. Leovi: Measurement of Indoor Air Emissions from Dry Process Copy Machines. *J. Air & Waste Manage Assoc* 2011; 46:821-829

Wensing M et al.: Evaluation of ultrafine particle emissions from laser printers using emission test chambers, 2008

Wensing M, Schripp T, Uhde E, Salthammer T: Ultra-fine particles release from hardcopy devices. *Science of the Total Environment* 2008; 407(1): 418-427

Witzak T et al.: Occupational asthma and allergic rhinitis due to xerographic toner. *Allergy* 2003; 58:957

Wolkoff P, Johnsen CR, Franck C, Wilhardt P, Albrechtsson O: A study of human reactions to office machines in a climatic chamber, *J Exp Anal Environ Epidemiol* 1994; Suppl. 1 71-96

Yi J, LeBouf RF, Duling MG, Nurkiewicz T, Chen BT, Schwegler-Berry D, Virji MA, Stefaniak AB: Emission of particulate matter from a desktop three-dimensional (3D) printer. *J Toxicol Environ Health* 2016; 79(11): 453-65