

Belastung der Innenraumluft durch Emissionen von E-Zigaretten

Hintergrund

E-Zigaretten entwickeln sich zu einem neuen Lifestyle-Produkt: Immer mehr Menschen – vor allem junge – probieren die Produkte aus⁸. Bis zu 18 Prozent der Nutzer verwenden E-Zigaretten, um Rauchverbote zu umgehen^{28,43}. Die Verwendung von E-Zigaretten in Nichtraucherbereichen kann jedoch Probleme verursachen. So gelangen mit dem Aerosol der E-Zigaretten Schadstoffe in die Raumlufte, die zu einer Gefährdung von Nichtkonsumenten führen können^{20,35,46}. Nichtraucherchutzgesetze sollen zwar in erster Linie Nichtraucher vor dem Passivrauchen schützen, gleichzeitig motivieren sie aber auch Raucher dazu, weniger zu rauchen oder sogar ganz mit dem Rauchen aufzuhören. Sie tragen dazu bei, die Akzeptanz des Rauchens in der Gesellschaft zu verringern. Da der Gebrauch von E-Zigaretten dem Rauchen stark ähnelt, kann der E-Zigarettengebrauch in Nichtraucherbereichen die Umsetzung der Regelungen erschweren⁴⁶. Zudem können Raucher zum Rauchen animiert werden, wenn sie jemanden eine E-Zigarette benutzen sehen²⁶, sodass ein wichtiger Nebeneffekt der Nichtraucherchutzgesetze, nämlich die Motivation von Rauchern zum Rauchstopp, untergraben wird. Im Folgenden wird der aktuelle Forschungsstand zur Belastung der Raumlufte durch E-Zigarettenemissionen zusammengefasst.

Zusammensetzung der Betriebsflüssigkeiten (Liquids)

E-Zigarettenliquids bestehen aus Propylenglykol und/oder Glycerin, Aromen und zumeist Nikotin. Die Gehalte der Inhaltsstoffe stimmen oftmals nicht mit den vom Hersteller angegebenen Konzentrationen überein³⁹, und Liquids, die als

„nikotinfrei“ gekennzeichnet sind, können erhebliche Mengen an Nikotin enthalten. In einigen Liquids wurden neben den deklarierten Inhaltsstoffen verschiedene weitere gefunden. Darunter waren auch gesundheitsschädliche Substanzen wie Tabakalkaloide¹⁰, Ethylenglykol, das bei Inhalation die Atemwege reizen und Herz, Lunge und Niere schädigen kann, Acetamid, das möglicherweise krebserzeugend ist^{21,22} sowie geringe Mengen krebserzeugender Substanzen wie tabak-spezifische Nitrosamine²⁵. Auch manche der zugefügten Aromen können gesundheitsschädlich sein⁴.

Raumluftebelastung durch das Aerosol von E-Zigaretten

Das Aerosol entsteht, wenn das Liquid in der E-Zigarette erhitzt wird und verdampft. Die Hauptkomponenten sind Propylenglykol^{16,36,40}, Glycerin^{16,36}, Aromen^{9,20,36,40} sowie bei nikotinhaltenen Liquids auch Nikotin^{16,36,40}. Daneben enthält das Aerosol geringe Mengen verschiedener weiterer Substanzen, darunter gesundheitsschädliche^{18,22,24,27,33}. Dazu gehören Aceton, das Kopfschmerzen und eine Reizung der Bronchien verursacht^{16,17,27,33}, Propionaldehyd und Butanal, die Augen und Haut reizen^{17,22,27}, sowie reaktive Sauerstoffspezies²⁹, die bei vielen pathologischen Prozessen wie Entzündungen, Arteriosklerose und der Entstehung von Krebs eine wichtige Rolle spielen¹⁷. Zudem finden sich im Aerosol krebserzeugende Substanzen^{18,22} wie beispielsweise Formaldehyd und giftige oder krebserzeugende Metalle wie Cadmium^{29,44}. Die Substanzen des Aerosols gelangen beim Gebrauch von E-Zigaretten in die Raumlufte. Die Raumluftebelastung

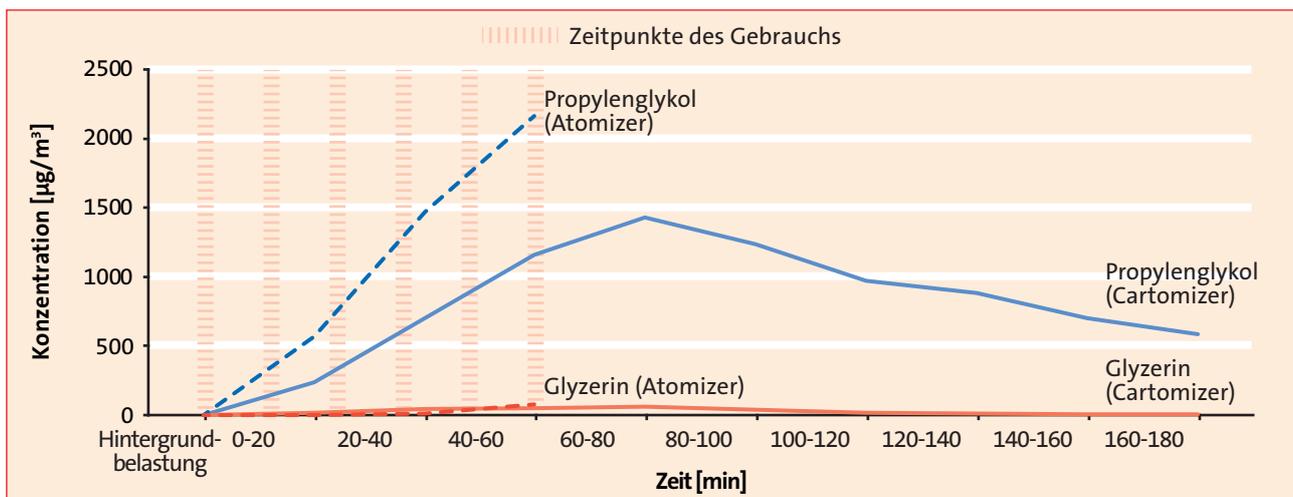


Abbildung 1: Konzentration von Propylenglykol und Glycerin in der Raumlufte (Raumgröße 30 m³, Luftaustauschrate: 0,5/h) nach dem maschinellen Gebrauch (6-mal je 13 Züge) von zwei verschiedenen E-Zigaretten-Typen (Cartomizer, d.h. Liquidreservoir und Verdampfer in einem Bauteil, und Atomizer, d.h. Liquidreservoir und Verdampfer getrennt), beide mit einem Liquid aus 50 % Propylenglykol, 40 % Glycerin, 10 % Wasser und 9 mg/ml Nikotin. Die Raumlufte wurde mehrfach über 20 min hinweg gesammelt. Bei dem Cartomizer wurde die Raumlufte über das Ende des E-Zigarettengebrauchs hinaus gesammelt. Quelle: Geiss et al. 2015¹⁶, Darstellung: Deutsches Krebsforschungszentrum, Stabsstelle Krebsprävention, 2015

wurde sowohl in Versuchen, bei denen E-Zigaretten maschinell betrieben wurden^{6,16,19,36}, als auch in Anordnungen, bei denen Versuchspersonen die E-Zigaretten verwendeten^{6,37-40}, untersucht. Dabei spiegelt der maschinelle Betrieb nicht unbedingt die reale Situation wider, da sich das Aerosol während der Inhalation in der Lunge verändert, sodass kleinere Partikel ausgeatmet werden⁴⁰. Zudem hängt das Ausmaß der Belastung von der Raumgröße, der Belüftung, dem Raumklima, der Möblierung³⁷ sowie der Anzahl¹⁶ und Art⁴⁰ und dem Nikotingehalt³⁷ der verwendeten E-Zigaretten ab.

Propylenglykol und Glycerin

Bei der Verwendung einer Rauchmaschine steigt die Menge an Propylenglykol in der Raumluft in Abhängigkeit vom E-Zigarettentyp deutlich an; die Glycerinmenge erhöht sich wesentlich weniger¹⁶ (Abb. 1). Auch nach zweistündigem Gebrauch von E-Zigaretten mit und ohne Nikotin durch gleichzeitig drei Personen steigt die Menge von Propylenglykol in der Luft eines etwas größeren Raumes (45 m³) an, erreicht aber deutlich niedrigere Spitzenwerte als beim maschinellen Gebrauch (Propylenglykol: 395 µg/m³, Glycerin: 81 µg/m³)³⁹.

Nikotin

Bei der Verwendung von E-Zigaretten erhöht sich die Nikotinkonzentration in der Raumluft^{3,6,38,39}. Dabei spielen verschiedene Faktoren wie der E-Zigarettentyp (Atomizer oder Cartomizer), das Liquid (Propylenglykol und Glycerin oder nur Glycerin), der Nikotingehalt des Liquids und die Raumbelüftung eine Rolle^{6,16,39}. Bei einer Konzentration von 18 mg/ml Nikotin im Liquid steigen die Nikotinwerte in der Raumluft bei längerer E-Zigarettennutzung auf bis zu 4,6 µg/m³ an (Abb. 2)^{6,39}.

Das Nikotin, das mit dem Aerosol in die Raumluft gelangt, wird von Nichtkonsumenten aufgenommen^{3,13} und lagert sich auf Flächen im Raum ab („thirdhand smoke“).¹⁹

Partikel

Das Aerosol von E-Zigaretten enthält Partikel einer Größe von 0,02 bis 4 µm^{15,33}. Es handelt sich um feine und ultrafeine Flüssigkeitspartikel, die aus übersättigtem Propylenglykoldampf geformt werden. Die Partikel des E-Zigarettenaerosols liegen in ähnlicher Größe und Konzentration vor wie im Tabakrauch, wobei bei höherem Nikotingehalt der Liquids^{15,32} und längerer Zugdauer mehr Partikel gebildet werden¹⁵. Zwei Studien, von denen eine von einem Interessenverband für E-Zigaretten finanziert wurde, finden eine deutlich geringere Partikelmenge als in Tabakrauch^{33,36}.

Bei der maschinellen Verwendung von E-Zigaretten gelangen lungengängige Aerosolpartikel in die Raumluft^{6,16,36}. Die Anzahl der Partikel einer Größe von 0,02 bis 0,3 µm akkumuliert bei wiederholtem Gebrauch (Abb. 3)¹⁶. Andere Studien finden deutlich niedrigere Partikelwerte^{6,36}; allerdings erhält einer der Autoren einer dieser Studien Forschungsgelder von einem E-Zigarettenhersteller⁶.

Beim E-Zigarettengebrauch durch Personen steigt die Konzentration von lungengängigen Partikeln einer Größe bis 2,5 µm (PM_{2,5}) in der Raumluft auf Maximalwerte von bis zu 514 µg/m³ an^{6,39} – dies ist eine ähnliche Partikelmenge wie in einer verrauchten Bar⁷. Dabei fällt der Anstieg bei E-Zigaretten ohne Nikotin wesentlich deutlicher aus als bei solchen mit Nikotin^{37,39}. Zwei andere Studien, bei denen die E-Zigaretten allerdings deutlich kürzer verwendet wurden, finden wesentlich niedrigere Werte^{37,38}. Die meisten Partikel liegen in einem Größenbereich von rund 30 nm^{39,40}. Es ist davon auszugehen, dass sich das Aerosol aufgrund des hohen Dampfdrucks von Propylenglykol schnell verändert⁴⁰.

Krebserzeugende Substanzen

Im Aerosol der meisten Liquids finden sich die krebserzeugenden Substanzen Formaldehyd^{16,18,22,23,27,33}, Benzol^{23,33} und tabakspezifische Nitrosamine^{18,23,33}. Weiterhin wurden

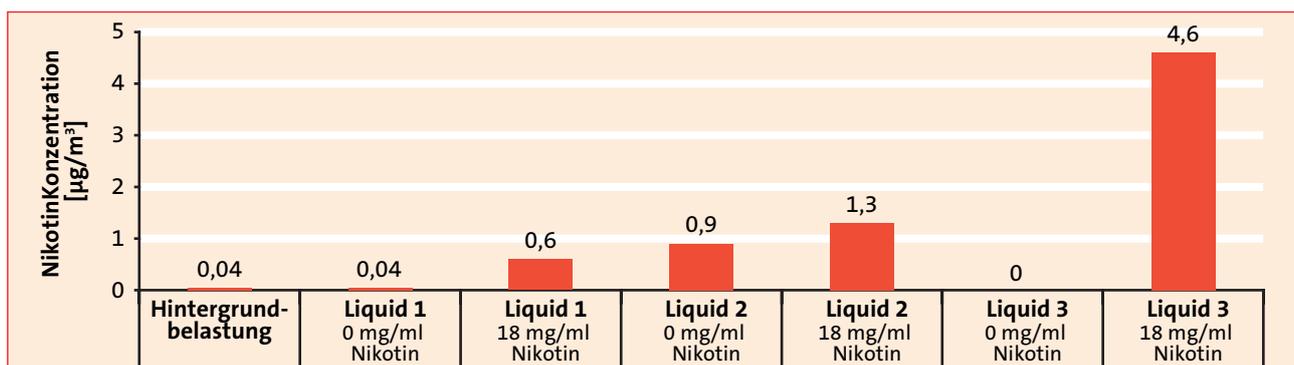


Abbildung 2: Menge von Nikotin in der Raumluft nach E-Zigarettengebrauch (Raum 45 m³, Luftaustauschrate: 0,56/h; Liquids 0 bzw. 18 mg/ml Nikotin, 3 Personen, zweistündiger E-Zigarettengebrauch). Quelle: Schober et al. 2014³⁹, Darstellung: Deutsches Krebsforschungszentrum, Stabsstelle Krebsprävention, 2015

Impressum

© 2015 Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg

Autoren: Dr. Katrin Schaller, Dipl.-Biol. Sarah Kahnert, PD Dr. Wolfgang Schober, Dr. Martina Pötschke-Langer

Layout, Illustration, Satz: Dipl.-Biol. Sarah Kahnert

Zitierweise: Deutsches Krebsforschungszentrum (Hrsg.) Belastung der Innenraumlufth durch Emissionen von E-Zigaretten. Aus der Wissenschaft – für die Politik, Heidelberg, 2015

Verantwortlich für den Inhalt:

Dr. Martina Pötschke-Langer

Deutsches Krebsforschungszentrum
Stabsstelle Krebsprävention und
WHO-Kollaborationszentrum für Tabakkontrolle

Im Neuenheimer Feld 280, 69120 Heidelberg
Fax: 06221 42 30 20, E-Mail: who-cc@dkfz.de

Finanziell gefördert von der Klaus Tschira Stiftung gGmbH

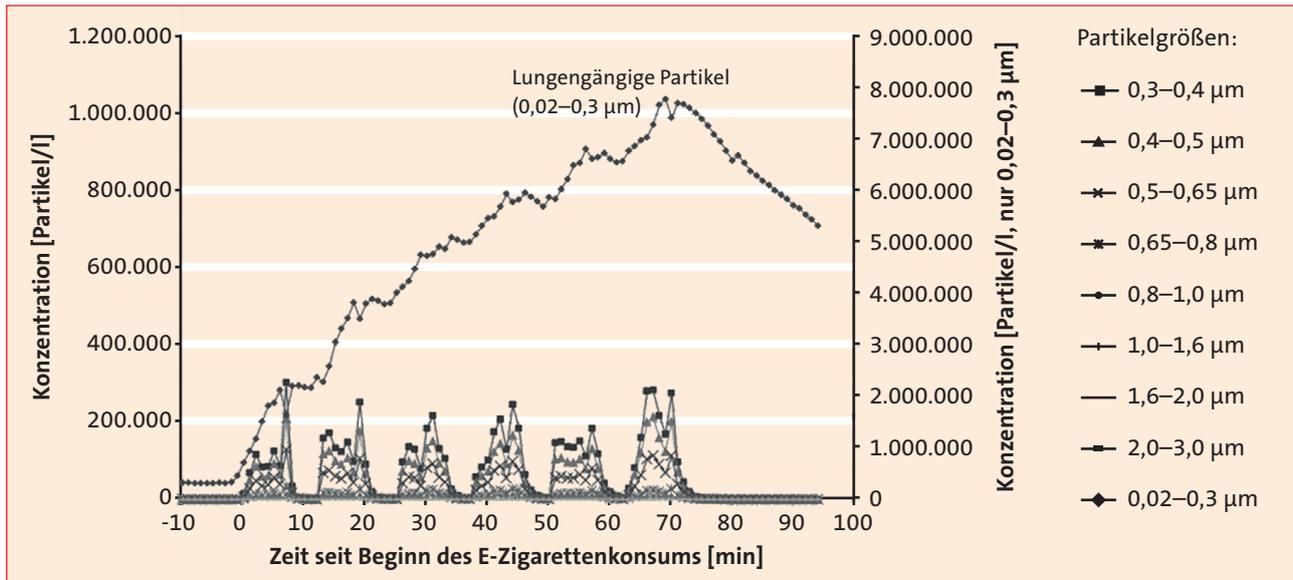


Abbildung 3: Partikelkonzentration in der Raumluft (Raumgröße 30 m³) nach dem maschinellen Gebrauch (6-mal je 13 Züge) einer E-Zigarette (Cartomizer) mit einem Liquid aus 50% Propylenglykol, 40% Glycerin, 10% Wasser und 9 mg/ml Nikotin. Abbildung entnommen und übersetzt aus: Geiss et al. 2015¹⁶, Copyright: CC BY-NC-ND license, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>

Acetaldehyd^{16,18,22,27,33} und Ethylbenzol³³ (beide möglicherweise krebserzeugend²³) nachgewiesen.

Die krebserzeugenden Substanzen liegen im E-Zigarettenaerosol in sehr geringer Konzentration vor und entstehen vielfach erst bei der Verdampfung. Dabei hängt die Menge der gebildeten Substanzen von der Zusammensetzung der Liquids, der Batteriestärke, dem Verdampferwiderstand, dem Füllstand in der Liquidkartusche und der Temperatur, bei der das Liquid verdampft wird, ab^{22,27}. So produzieren Liquids mit Propylenglykol mehr Carbonyle wie beispielsweise Acetaldehyd als Liquids mit Glycerin²⁷. Beim Erhitzen von Propylenglykol und Glycerin können in der Anwesenheit von Sauerstoff bei großer Batteriestärke der E-Zigarette Hemiacetale entstehen, die wiederum Formaldehyd freisetzen²⁴. Bei der größten Batteriestärke (4,8V) werden Formaldehydmengen produziert, wie sie in Tabakrauch vorliegen²⁷. Auch mit zunehmender Gebrauchsdauer steigt die Menge an Formaldehyd, Acetaldehyd, Acrolein und Propionaldehyd an: Ab circa 60 Zügen steigt die Menge dieser Substanzen stark an. Möglicherweise kommt es mit abnehmendem Füllstand in der E-Zigarette zu einer Überhitzung, infolge derer die Schadstoffe gebildet werden²².

Die Verwendung von E-Zigaretten erhöht die Menge polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe mit potenziell kanzerogener Wirkung in der Raumluft im Mittel um 20 Prozent³⁹. Formaldehyd, Benzol, Acrolein und Aceton sind nach dem zweistündigen Gebrauch von E-Zigaretten mit und ohne Nikotin in der Raumluft nicht oder nur in äußerst geringen Mengen messbar^{16,39,40}.

Metalle

Im Aerosol von E-Zigaretten wurden Cadmium¹⁸ (krebserzeugend)²³, Nickel^{18,44} und Blei^{18,44} (beide möglicherweise krebserzeugend)²³ nachgewiesen sowie Aluminium³⁹ (beeinträchtigt die Lungenfunktion) und das gesundheitsschädliche¹⁷ Kupfer²⁹. Die Metalle liegen im Aerosol in sehr geringen Mengen vor; eine Arbeitsgruppe fand jedoch Nickel in höherer Konzentration als in Tabakrauch und Blei in gleicher Konzentration wie in Tabakrauch⁴⁴.

Bei der Verwendung von E-Zigaretten steigt die Menge verschiedener Metalle in der Raumluft deutlich an; dabei steigen die gesundheitsschädlichen Metalle Chrom und Nickel auf höhere Werte als im Tabakrauch³⁸.

Aromen

Größere Mengen der Aromen Diacetyl und 2,3-Pentandion, die bei Inhalation Atemwegserkrankungen verursachen⁴, wurden im Aerosol von E-Zigaretten mit süßen Geschmacksrichtungen nachgewiesen¹¹. Außerdem finden sich im Aerosol verschiedene Aromen mit allergener Wirkung wie Zimtaldehyd, Kumarin, Eugenol, Linalool, Benzylalkohol, Anisalkohol, Menthol und Vanillin^{22,39}.

Mögliche Gesundheitsschäden durch E-Zigarettenemissionen in der Raumluft

Die Emissionen von E-Zigaretten können die Gesundheit von Nichtkonsumenten aus mehreren Gründen beeinträchtigen.

- Mit dem E-Zigarettenaerosol gelangen den aktuellen Messungen zufolge geringe Mengen Propylenglykol in die Raumluft. Da allerdings die Menge bei wiederholtem Gebrauch akkumuliert¹⁶, ist eine bedenkliche Belastung zu befürchten, wenn in einem Raum mehrere Personen E-Zigaretten über einen längeren Zeitraum hinweg verwenden (wie beispielsweise in Gaststätten). Eine aktuelle Untersuchung zeigt einen Anstieg von Propylenglykol in der Raumluft nach zweistündigem Konsum von E-Zigaretten, der im Mittel eine Konzentration von 200 µg/m³ erreichte³⁹. Dieser Wert liegt zwischen den von der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte festgelegten vorläufigen Richtwerten (RWI: 70 µg Propylenglykol/m³ und RWII: 700 µg Propylenglykol/m³)¹. Entsprechend der Ad-hoc Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte sollte aus Gründen der Vorsorge auch im Konzentrationsbereich zwischen Richtwert I und II gehandelt werden, wobei verändertes Nutzerverhalten als eine Möglichkeit angeführt wird².

- Von besonderer gesundheitlicher Bedeutung sind Partikel einer Größe bis $2,5\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$), da sie bis in tiefe Regionen der Lunge, den Alveolen, vordringen und dort oxidativen Stress und Entzündungsreaktionen auslösen können³⁰. Laut einer Expertengruppe der WHO verursachen $\text{PM}_{2,5}$ aus der Umwelt Atemwegs- und Herz-Kreislaufkrankungen^{41,45}. Besonders empfindlich reagieren Personen mit bestehender Herz- oder Lungenerkrankung, ältere Menschen und Kinder. Bei Kindern beeinträchtigt eine Belastung mit $\text{PM}_{2,5}$ die Lungenentwicklung. Es gibt keine Schwelle, unterhalb derer keine Gesundheitsschäden auftreten⁴⁵. Auch die Partikel des E-Zigarettenaerosols lagern sich in der Lunge ab^{31,32,47}. Einer Berechnung zufolge erreichen vor allem Partikel einer Größe von 90 bis 160 Nanometern die Alveolen, wobei die Partikeldosis, die die tiefe Lunge erreicht, höher ist als bei Zigarettenrauch³¹. Auch wenn sich die Partikel im E-Zigarettenaerosol in ihrer Zusammensetzung und Beschaffenheit von denen in der Umwelt unterscheiden³⁴ ist davon auszugehen, dass sie die Gesundheit beeinträchtigen können.
- Krebs erzeugende Substanzen gelangen zwar in sehr geringen Mengen in die Raumlufte, doch für ein Gemisch verschiedener Kanzerogene, wie es im Aerosol von nikotinfreien und nikotinhaltigen E-Zigaretten vorliegt, gibt es keinen Schwellenwert, unterhalb dessen eine kanzerogene Wirkung auszuschließen wäre. Daher sind auch die geringen Mengen an Kanzerogenen im E-Zigarettenaerosol als bedenklich zu bewerten.
- Eine Belastung mit E-Zigarettenaerosol zeigte keine negative Auswirkung auf die Immunzellen¹⁴. In Zellversuchen erwies sich jedoch, dass das E-Zigarettenaerosol die Vitalität von Lungenzellen beeinträchtigt und Lungenzellen zur Produktion von Entzündungsmarkern (IL-6 und IL-8) stimuliert³⁰. Auch manche Aromen können giftig auf Lungenzellen wirken⁵. Manche Liquids erwiesen sich, insbesondere, wenn sie bei höherer Batteriestärke verdampft werden, als schädlich für Herzzellen¹².
- Besonders sensibel gegenüber einer beeinträchtigten Raumluftequalität sind Kinder, Asthmatiker, Allergiker, Herzpatienten und Personen mit vorgeschädigter Lunge. Diesen Bevölkerungsgruppen sollte bei der Bewertung der Innenraumlufte besonders Rechnung getragen werden.
- Propylenglykol (reizt die Atemwege und den Rachen)
- Glycerin
- Nikotin (gesundheitsschädlich, macht abhängig)
- lungengängige Partikel (beeinträchtigen Lungenfunktion, erhöhen das Asthmarisiko)
- polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (möglicherweise krebserzeugend)
- flüchtige organische Verbindungen (schleimhautreizend, möglicherweise krebserzeugend)
- Metalle (beeinträchtigen die Lungenfunktion, krebserzeugend/möglicherweise krebserzeugend)

Da öffentliche Räume dank der Nichtraucherchutzgesetze frei von Tabakrauch sind, steht für Nichtkonsumenten der Schutz vor allen vermeidbaren Schadstoffen im Vordergrund, nicht ein im Vergleich zu Tabakrauch reduziertes Risiko⁴⁶. Aktuelle Untersuchungen zeigen, dass ein gesundheitliches Risiko für Nichtkonsumenten, die gegenüber den Emissionen von E-Zigaretten kontinuierlich exponiert sind, nicht ausgeschlossen werden kann. Im Sinne eines vorbeugenden Gesundheitsschutzes sollte daher jegliche vermeidbare Verschmutzung der Innenraumlufte auch tatsächlich vermieden werden. In die Bewertung der Belastung von Nichtkonsumenten sollte zudem das persönliche Empfinden für die Luftqualität und den Geruch einbezogen werden¹⁶. Lüftungsanlagen reichen nicht aus, um die Gesundheitsgefährdung durch die Substanzen im Aerosol effektiv zu senken³⁵.

Neben einer möglichen Gesundheitsgefährdung untergraben E-Zigaretten zudem die Bemühungen, den Tabakkonsum in der Bevölkerung und insbesondere unter Jugendlichen zu senken. So können Kinder und Jugendliche mit vermeintlich harmlosen, schmackhaften E-Zigaretten (auch nikotinfreien) das Rauchritual einüben. Dadurch wird der Wechsel zu nikotinhaltigen Produkten und zur Tabakzigarette vereinfacht. Ferner halten E-Zigaretten das Rauchritual aufrecht und erschweren so möglicherweise die Motivation, ganz mit dem Rauchen aufzuhören. Zudem beginnen einige E-Zigarettenkonsumenten wieder in Räumen zu rauchen, die sie vor ihrem Einstieg in den E-Zigarettenkonsum rauchfrei gehalten hatten⁴².

Daher sollte die Verwendung von E-Zigaretten – unabhängig vom Nikotingehalt – überall dort verboten sein, wo das Rauchen nicht erlaubt ist^{35,46}. In Deutschland unterstützen 86 Prozent der Nichtraucher und 55 Prozent der Raucher ein Nutzungsverbot in Nichtraucherbereichen – die Anzahl dieser Personen ist ebenso hoch wie die Anzahl derer, die Rauchverbote in Gaststätten befürworten⁹.

Fazit

Mit dem Aerosol von E-Zigaretten gelangen verschiedene, zum Teil gesundheitsschädliche, Substanzen in die Raumlufte:

Literatur

- 1 Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte (2013) Ergebnisprotokoll der 48. Sitzung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der IRK und der AOLG am 04. und 05.11.2013. Innenraumluftekommission (IRK), Arbeitsgruppe Innenraumlufte des Umwelthygieneausschusses der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG)
- 2 Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte (2014) Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte bewertet Verunreinigungen der Innenraumlufte und setzt bundeseinheitliche Richtwerte fest. <http://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ad-hoc-arbeitsgruppe-innenraumrichtwerte> (abgerufen am 2.3.2015).

- 3 Ballbè M, Martínez-Sánchez JM, Sureda X, Fu M, Pérez-Ortuño R, Pascual JA, Saltó E & Fernández E (2014) Cigarettes vs. e-cigarettes: Passive exposure at home measured by means of airborne marker and biomarkers. *Environ Res* 135: 76–80
- 4 Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2012) Flavorings-related lung disease. Exposures to flavoring chemicals. <http://www.cdc.gov/niosh/topics/flavorings/exposure.html> (abgerufen am 2.3.2015)
- 5 Cervellati F, Muresan XM, Sticozzi C, Gambari R, Montagner G, Forman HJ, Torricelli C, Maioli E & Valacchi G (2014) Comparative effects between electronic and cigarette smoke in human keratinocytes and epithelial lung cells. *Toxicol In Vitro* 28: 999–1005
- 6 Czogala J, Goniewicz ML, Fidelus B, Zielinska-Danch W, Travers MJ & Sobczak A (2014) Secondhand exposure to vapors from electronic cigarettes. *Nicotine Tob Res* 16: 655–662
- 7 Deutsches Krebsforschungszentrum (Hrsg.) (2007) Erhöhtes Gesundheitsrisiko für Beschäftigte in der Gastronomie durch Passivrauchen am Arbeitsplatz. Band 7, Rote Reihe Tabakprävention und Tabakkontrolle, Heidelberg.
- 8 Deutsches Krebsforschungszentrum (Hrsg.) (2014) E-Zigaretten: Bekanntheit und Konsum in Deutschland 2012–2014. Aus der Wissenschaft – für die Politik, Heidelberg
- 9 Deutsches Krebsforschungszentrum (Hrsg.) (2014) Rauchfreie Gaststätten in Deutschland 2014: Breite Zustimmung der Bevölkerung zu Rauchverboten auch für E-Zigaretten. Aus der Wissenschaft – für die Politik, Heidelberg.
- 10 Etter JF, Zather E & Svensson S (2013) Analysis of refill liquids for electronic cigarettes. *Addiction* 108: 1671–1679
- 11 Farsalinos KE, Kistler KA, Gillman G & Voudris V (2015) Evaluation of electronic cigarette liquids and aerosol for the presence of selected inhalation toxins. *Nicotine Tob Res* 17: 168–174
- 12 Farsalinos KE, Romagna G, Alliffranchini E, Ripamonti E, Bocchietto E, Todeschi S, Tsiapras D, Kyrzopoulos S & Voudris V (2013) Comparison of the cytotoxic potential of cigarette smoke and electronic cigarette vapour extract on cultured myocardial cells. *Int J Environ Res Public Health* 10: 5146–5162
- 13 Flouris AD, Chorti MS, Poulianiti KP, Jamurtas AZ, Kostikas K, Tzatzarakis MN, Wallace Hayes A, Tsatsakis AM & Koutedakis Y (2013) Acute impact of active and passive electronic cigarette smoking on serum cotinine and lung function. *Inhal Toxicol* 25: 91–101
- 14 Flouris AD, Poulianiti KP, Chorti MS, Jamurtas AZ, Kouretas D, Owolabi EO, Tzatzarakis MN, Tsatsakis AM & Koutedakis Y (2012) Acute effects of electronic and tobacco cigarette smoking on complete blood count. *Food Chem Toxicol* 50: 3600–3603
- 15 Fuoco FC, Buonanno G, Stabile L & Vigo P (2014) Influential parameters on particle concentration and size distribution in the mainstream of e-cigarettes. *Environ Pollut* 184: 523–529
- 16 Geiss O, Bianchi I, Barahona F & Barrero-Moreno J (2015) Characterisation of mainstream and passive vapours emitted by selected electronic cigarettes. *Int J Hyg Environ Health* 218: 169–180
- 17 Georg Thieme Verlag KG (2015) Römpf Online. <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/Welcome.do> (abgerufen am 2.3.2015)
- 18 Goniewicz ML, Knysak J, Gawron M, Kosmider L, Sobczak A, Kurek J, Prokopowicz A, Jablonska-Czapla M, Rosik-Dulewska C, Havel C, Jacob P, 3rd & Benowitz N (2014) Levels of selected carcinogens and toxicants in vapour from electronic cigarettes. *Tob Control* 23: 133–139
- 19 Goniewicz ML & Lee L (2015) Electronic cigarettes are a source of thirdhand exposure to nicotine. *Nicotine Tob Res* 17: 256–258
- 20 Grana R, Benowitz N & Glantz SA (2013) Background Paper on E-cigarettes (Electronic Nicotine Delivery Systems).
- 21 Hahn J, Monakhova YB, Hengen J, Kohl-Himmelseher M, Schüssler J, Hahn H, Kuballa T & Lachenmeier DW (2014) Electronic cigarettes: overview of chemical composition and exposure estimation. *Tob Induc Dis* 12: 23
- 22 Hutzler C, Paschke M, Kruschinski S, Henkler F, Hahn J & Luch A (2014) Chemical hazards present in liquids and vapors of electronic cigarettes. *Arch Toxicol* 88: 1295–1308
- 23 International Agency for research on Cancer (IARC) (2014) IARC Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–111, last update: 18 February 2015, <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsAlphaOrder.pdf> (abgerufen am 2.3.2015)
- 24 Jensen RP, Luo W, Pankow JF, Strongin RM & Peyton DH (2015) Hidden formaldehyde in e-cigarette aerosols. *N Engl J Med* 372: 392–394
- 25 Kim HJ & Shin HS (2013) Determination of tobacco-specific nitrosamines in replacement liquids of electronic cigarettes by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *J Chromatogr A* 1291: 48–55
- 26 King AC, Smith LJ, McNamara PJ, Matthews AK & Fridberg DJ (2014) Passive exposure to electronic cigarette (e-cigarette) use increases desire for combustible and e-cigarettes in young adult smokers. *Tob Control*, online veröffentlicht 21. Mai 2014

- 27 Kosmider L, Sobczak A, Fik M, Knysak J, Zaciera M, Kurek J & Goniewicz ML (2014) Carbonyl compounds in electronic cigarette vapors: effects of nicotine solvent and battery output voltage. *Nicotine Tob Res* 16: 1319–1326
- 28 Kralikova E, Novak J, West O, Kmetova A & Hajek P (2013) Do e-cigarettes have the potential to compete with conventional cigarettes? A survey of conventional cigarette smokers' experiences with e-cigarettes. *Chest* 144: 1609–1614
- 29 Lerner CA, Sundar IK, Watson RM, Elder A, Jones R, Done D, Kurtzman R, Ossip DJ, Robinson R, McIntosh S & Rahman I (2015) Environmental health hazards of e-cigarettes and their components: Oxidants and copper in e-cigarette aerosols. *Environ Pollut* 198C: 100–107
- 30 Lerner CA, Sundar IK, Yao H, Gerloff J, Ossip DJ, McIntosh S, Robinson R & Rahman I (2015) Vapors produced by electronic cigarettes and e-juices with flavorings induce toxicity, oxidative stress, and inflammatory response in lung epithelial cells and in mouse lung. *PLoS One* 10: e0116732
- 31 Manigrasso M, Buonanno G, Fuoco FC, Stabile L & Avino P (2014) Aerosol deposition doses in the human respiratory tree of electronic cigarette smokers. *Environ Pollut* 196C: 257–267
- 32 Marini S, Buonanno G, Stabile L & Ficco G (2014) Short-term effects of electronic and tobacco cigarettes on exhaled nitric oxide. *Toxicol Appl Pharmacol* 278: 9–15
- 33 McAuley TR, Hopke PK, Zhao J & Babaian S (2012) Comparison of the effects of e-cigarette vapor and cigarette smoke on indoor air quality. *Inhal Toxicol* 24: 850–857
- 34 McFiggans GB (2014) Re: E-cigarette vapour could damage health of non-smokers, *BMJ*, <http://www.bmj.com/content/349/bmj.g6882/rapid-responses> (abgerufen am 2.3.2015)
- 35 Offermann FJ (2014) The hazards of e-cigarettes. *ASHRAE Journal* June 2014: 38–44
- 36 Pellegrino RM, Tinghino B, Mangiaracina G, Marani A, Vitali M, Protano C, Osborn JF & Cattaruzza MS (2012) Electronic cigarettes: an evaluation of exposure to chemicals and fine particulate matter (PM). *Ann Ig* 24: 279–288
- 37 Ruprecht AA, De Marco C, Pozzi P, Munarini E, Mazza R, Angellotti G, Turla F & Boffi R (2014) Comparison between particulate matter and ultrafine particle emission by electronic and normal cigarettes in real-life conditions. *Tumori* 100: e24–27
- 38 Saffari A, Daher N, Ruprecht A, De Marco C, Pozzi P, Boffi R, Hamad SH, Shafer MM, Schauer JJ, Westerdahl D & Sioutas C (2014) Particulate metals and organic compounds from electronic and tobacco-containing cigarettes: comparison of emission rates and secondhand exposure. *Environ Sci Process Impacts* 16: 2259–2267
- 39 Schober W, Szendrei K, Matzen W, Osiander-Fuchs H, Heitmann D, Schettgen T, Jorres RA & Fromme H (2014) Use of electronic cigarettes (e-cigarettes) impairs indoor air quality and increases FeNO levels of e-cigarette consumers. *Int J Hyg Environ Health* 217: 628–637
- 40 Schripp T, Markewitz D, Uhde E & Salthammer T (2013) Does e-cigarette consumption cause passive vaping? *Indoor Air* 23: 25–31
- 41 Stanek LW, Sacks JD, Dutton SJ & Dubois J-JB (2011) Attributing health effects to apportioned components and sources of particulate matter: an evaluation of collective results. *Atmospheric Environment* 45: 5655–5663
- 42 Tackett AP, Lechner WV, Meier E, Grant DM, Driskill LM, Tahirkheli NN & Wagener TL (2015) Biochemically verified smoking cessation and vaping beliefs among vape store customers. *Addiction*, online veröffentlicht 10. Februar 2015
- 43 Vickerman KA, Carpenter KM, Altman T, Nash CM & Zbikowski SM (2013) Use of electronic cigarettes among state tobacco cessation quitline callers. *Nicotine Tob Res* 15: 1787-1791
- 44 Williams M, Villarreal A, Bozhilov K, Lin S & Talbot P (2013) Metal and silicate particles including nanoparticles are present in electronic cigarette cartomizer fluid and aerosol. *PLoS One* 8: e57987
- 45 World Health Organization (WHO) (2013) Health effects of particulate matter. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf (abgerufen am 2.3.2015)
- 46 World Health Organization (WHO) (2014) Electronic nicotine delivery systems. Report by WHO. Conference of the Parties to the WHO Framework Convention on Tobacco Control, Sixth session Moscow, Russian Federation, 13–18 October 2014, Provisional agenda item 4.4.2, FCTC/COP/6/10 Rev., 1, 1 September 2014, http://apps.who.int/gb/fctc/PDF/cop6/FCTC_COP6_10Rev1-en.pdf (abgerufen am 2.3.2015)
- 47 Zhang Y, Sumner W & Chen DR (2013) In vitro particle size distributions in electronic and conventional cigarette aerosols suggest comparable deposition patterns. *Nicotine Tob Res* 15: 501-508