

Inhaltsstoffe und Emissionen von E-Zigaretten

Ingredients and emissions of e-cigarettes

Christoph Hutzler, Frank Henkler, Andreas Luch

Abstract

E-cigarettes can be used to inhale vaporized liquids that typically contain nicotine as well as flavors and other additives. These devices depend on an integrated electrical heating element that is powered by batteries. The composition of liquids is highly variable. Ingredients and additives can also comprise components that are hazardous for human health. During vaporization, a range of toxicological relevant substances can be formed, especially carbonylic compounds including formaldehyde. In contrast to conventional cigarettes, no combustion products are being emitted. Accordingly, and dependent on the different viewpoints, e-cigarettes can either be regarded as gateway products straightly pushing toward tobacco dependency or as a useful and less hazardous substitute for conventional cigarettes. Potential health effects for long-term users, as well as potential risks for bystanders have not yet been studied in detail.

Zusammenfassung

E-Zigaretten können zum Rauchen (Dampfen) von nikotinhaltigen und nikotinfreien Liquids eingesetzt werden. Die Verdampfung erfolgt batteriebetrieben über ein Heizelement. Damit werden die Haupt- und Aromakomponenten der Liquids vernebelt und anschließend vom Raucher inhaliert. Die Zusammensetzung der verwendeten Aromen ist unüberschaubar groß, wobei auch gesundheitlich bedenkliche Substanzen enthalten sein können. Beim Verdampfen können zusätzlich weitere Substanzen von toxiologischer Relevanz (z. B. Carbonylverbindungen) entstehen, jedoch ist im Gegensatz zum Tabakrauch die Abwesenheit von charakteristischen Verbrennungsprodukten des Tabaks zu verzeichnen. Je nach Blickwinkel werden E-Zigaretten deshalb als möglicher Einstieg in eine Nikotinsucht oder als weniger bedenkliche Alternative für Tabakraucher angesehen. Die langfristig mit dem Dampfen verbundenen Risiken, sowie die mögliche Gefährdung von Passivdampfern durch die Inhalation der Aerosole, lassen sich aufgrund fehlender Daten noch nicht abschließend bewerten.

Einleitung: Funktionsweise einer E-Zigarette

Das Design von E-Zigaretten der ersten Generation ahmte ursprünglich meist das Aussehen von herkömmlichen Tabakzigaretten nach. Dies ist insbesondere erkennbar an den nachgebildeten Kuppen, die beim Ziehen rot aufleuchten. Die Werbung erfolgt häufig als Lifestyle-Produkt. Die elektronische Zigarette besteht in der Regel aus einem Mundstück aus Kunststoff, dem Verdampfer mit einem batteriebetriebenen Heizelement, einer Kartusche mit der zu verdampfenden Flüssigkeit (sogenanntes „Liquid“) und einer Batterie. Der Nutzer kann die mit Liquid gefüllten Kartuschen erwerben oder diese selbst mit unterschiedlichen Liquids befüllen. Beim Saugen an der E-Zigarette wird ein Unterdruckschalter betätigt. Zur Ausstattung der E-Zigarette gehört auch immer ein Ladegerät, um den Akku aufzuladen. Statt der Verbrennung von Tabak

wird das Liquid batteriebetrieben erhitzt und vernebelt. Dadurch wird inhalierbarer Dampf produziert, der ähnlich dem Rauch einer herkömmlichen Zigarette anmutet. Aktuelle E-Zigaretten haben vom Design her mittlerweile die „klassische“ Zigarettenform verlassen. Im Gegensatz zu den Geräten der ersten Generation bieten sie oft die Möglichkeit, die Spannung, die beim Verdampfen der Liquids angelegt wird, individuell einzustellen (**Abbildung 1**). In den USA kam kürzlich ein Smartphone auf den Markt, welches zusätzlich über die Funktionalität einer E-Zigarette verfügt (**Abbildung 2**).

Abbildung 1: Das Design von E-Zigaretten der ersten Generation orientierte sich weitgehend an konventionellen Tabakzigaretten, während neuere Geräte in einer großen Formenvielfalt angeboten werden.

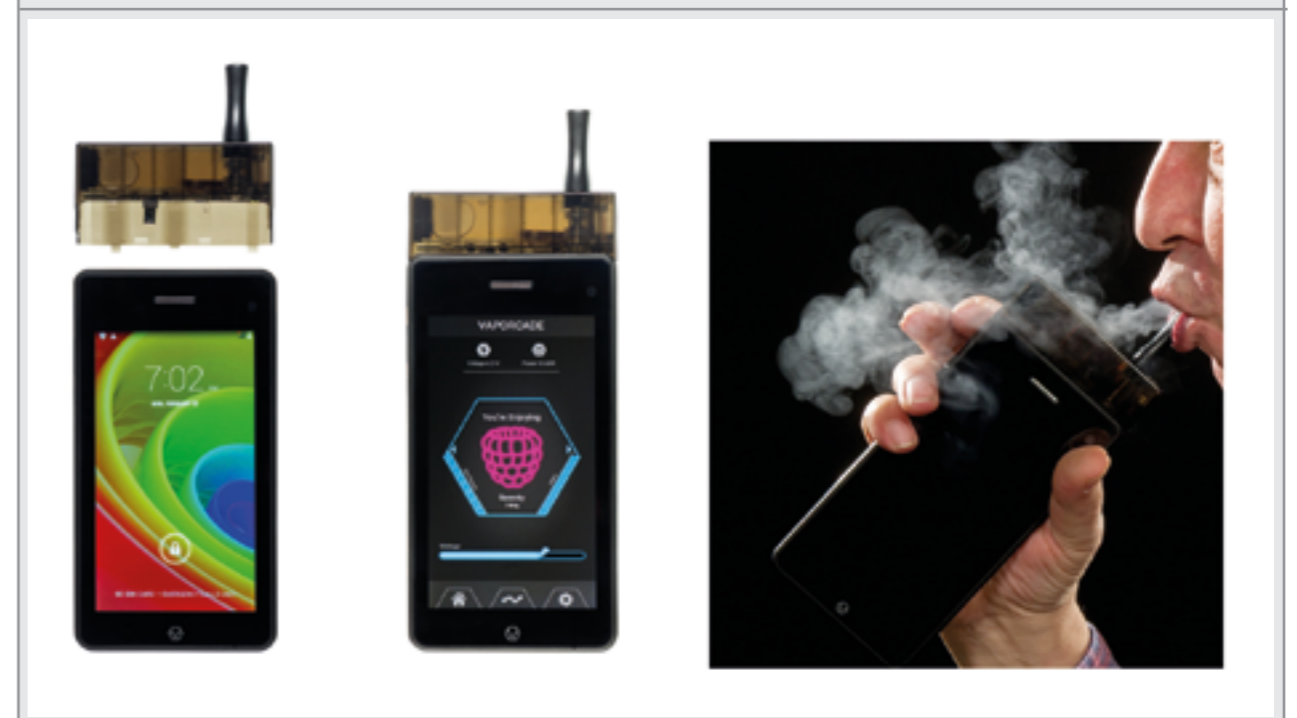


Zusammensetzung der Liquids

Im Gegensatz zur Tabakzigarette sind E-Zigaretten keine standardisierten Produkte. Eine zusammenfassende Auflistung der verwendeten Inhaltsstoffe wäre daher sehr schwierig. E-Zigaretten enthalten in der Regel Nikotin, Vernebelungsmittel und Aromastoffe. Gleichzeitig werden auch nikotinfreie Produkte angeboten, die von einigen Anbietern als E-Shishas bezeichnet werden. Aufgrund der hohen Produktvielfalt lässt sich auch keine allgemeingültige Aussage über die Höhe des Nikotingehalts in den Liquids treffen.

Die Liquids von E-Zigaretten können produktbezogen neben Nikotin eine ganze Reihe Substanzen enthalten, deren Inhalation gesundheitlich bedenklich sein kann. Dazu zählen der Aromastoff Diacetyl (2,3-Butandion), dessen inhalationstoxikologische Risiken noch nicht abschließend geklärt werden konnten, sowie weitere strukturverwandte Diketone. Liquids enthalten insgesamt sehr vielfältige Duft- und Aromastoffe, wie beispielsweise Vanille, Menthol, Apfelsäure, Ethylacetat und Linalool (Hutzler 2014). Häufig werden auch Aromen wie Tabanon eingesetzt, die den Geschmack herkömmlicher Tabakerzeugnisse imitieren. Im Gegensatz zum Tabakrauch treten beim Dampfen zwar keine gesundheitsschädlichen Verbrennungsprodukte auf, trotzdem können bei hoher Batterieleistung oder Überhitzungen krebserzeugende Carbonylverbindungen, wie beispielsweise Formaldehyd, aus den Vernebelungsmitteln gebildet werden. Gesundheitliche Risiken können zusätzlich durch Verunreinigungen und Kontaminanten, wie beispielsweise Nickel und andere Metalle (Williams 2013), entstehen. Der Massenanteil der Vernebelungsmittel beträgt in den Liquids über 95 Prozent, die Exposition der Dampfer ist daher vergleichsweise hoch. Meisten werden Propylenglycol (1,2-Propandiol) und Glycerin eingesetzt, die bei kurzzeitiger Anwendung als unbedenklich gelten. In der Vergangenheit setzten einige Anbieter auch Ethylenglycol

Abbildung 2: Mit der Kombination von E-Zigaretten und Mobiltelefon deutet sich in den USA ein neuer Trend zu Multifunktionsgeräten an. Die Attraktivität von E-Zigaretten könnte sich dadurch für Jugendliche deutlich erhöhen.



als Vernebelungsmittel ein. Dieser Stoff kann starke Reizungen der Atemwege verursachen und ist mit vergleichsweise hohen toxikologischen Risiken verbunden (Hutzler 2014).

Liquids können ebenfalls pharmakologische Wirkstoffe beigefügt sein. In einigen der in den USA vermarkteten Produkte wurden sogar pharmakologische Wirkstoffe wie Tadalafil (Potenzmittel) und Rimonabant (Appetitzügler) eingesetzt (Hadwiger 2010). In den Untersuchungen der amerikanischen Food and Drug Administration (FDA) wurde jedoch statt Tadalafil das Derivat Amino-Tadalafil in den Proben nachgewiesen. Kartuschen, für die Rimonabant als Inhaltsstoff angegeben war, enthielten zusätzlich dessen Oxidationsprodukte (Hadwiger 2010). Diese Produkte wurden von der FDA beanstandet und nach Kenntnisstand des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) vom Markt genommen. Prinzipiell wären E-Zigaretten zur Applikation von Wirkstoffen geeignet, und die therapeutischen Möglichkeiten dieser neuen Technologie wurden bisher nur ansatzweise erforscht. Aktuell bestehen Bedenken, dass E-Zigaretten auch für den Konsum von Cannabis oder anderer illegaler Substanzen verwendet werden könnten (Henkler 2015).

Ältere Untersuchungen ergaben häufig Abweichungen zwischen der Deklaration und den Inhaltsstoffen der Kartuschen. Als nikotinfrei deklarierte Proben enthielten Nikotin (Hadwiger 2010; Trehy 2011) oder wiesen erhebliche Abweichungen zu den angegebenen Gehalten auf (Trehy 2011). In einigen Liquids wurden Spuren tabakspezifischer Verunreinigungen (Trehy 2011) und tabakspezifischer Nitrosamine (TSNA) nachgewiesen (Westenberger 2009), die jedoch im Bereich von therapeutischen Nikotinersatzprodukten lagen. Das Problem einer fehlerhaften Deklaration wurde für Einzelproben auch in einer aktuellen Studie bestätigt (Goniewicz 2015). Aus Sicht der Risikobewertung wäre es sinnvoll, Kartuschen, die giftige Inhaltsstoffe, insbesondere Nikotin, enthalten, entsprechend zu kennzeichnen. Die europäische Tabakprodukttrichtlinie schreibt für nikotinhaltige E-Zigaretten zwar umfangreiche Meldepflichten und die Angabe der verwendeten Inhaltsstoffe auf dem Beipackzettel vor. Eine Kennzeichnung der Produkte, die außerhalb der Verpackung erkennbar bleibt, ist jedoch nicht vorgesehen. Nikotinfreie E-Zigaretten werden von der Europäischen Regulierung ebenfalls nicht erfasst.

Zusammensetzung des Dampfes von E-Zigaretten

Erste Originalarbeiten zur Zusammensetzung des Dampfes von E-Zigaretten liegen vor. Der wichtigste Risikofaktor ist das Nikotin. Zusätzlich können auch von den weiteren Inhaltsstoffen der Liquids, wie den Vernebelungsmitteln (Propylenglycol, Glycerin), Chemikalienzusätzen, beigefügten pharmakologischen Wirkstoffen, verschiedenen Duft- und Aromastoffen (z. B. Menthol, Linalool) und Verunreinigungen, gesundheitliche Risiken ausgehen. So kann beispielsweise Propylenglycol zu Reizungen der oberen Atemwege führen und die Lungenfunktion beeinträchtigen. Über die Langzeitfolgen einer chronischen Exposition gegenüber Propylenglycol ist wenig bekannt. Zudem gibt es Hinweise aus der Fachliteratur, dass einige Fabrikate von E-Zigaretten krebserzeugende Aldehyde freisetzen (Uchiyama 2010; Hutzler 2014). Im Dampf eines bestimmten Modells wurden acht verschiedene Carbonylverbindungen nachgewiesen. Die höchsten Konzentrationen wiesen Formaldehyd (8,3 mg/m³), Acetaldehyd (11 mg/m³) und Acrolein (9,3 mg/m³) auf (Uchiyama 2010; Etter 2011). Grundsätzlich setzen E-Zigaretten jedoch deutlich weniger unerwünschte Stoffe als konventionelle Tabakzigaretten frei. Die Gehalte im Dampf liegen für einzelne Stoffe etwa 9- bis 400-fach niedriger als im Tabakrauch (Goniewicz 2014). In Abhängigkeit vom Rauchverhalten und den Betriebsbedingungen können vergleichsweise hohe Belastungen durch Carbonylverbindungen entstehen (Hutzler 2014; Kosmider 2014). Im Gegensatz zur Tabakzigarette könnten diese Gesundheitsrisiken durch geeignete Sicherheitsmerkmale (Füllstandanzeige, Temperaturregler) weitgehend minimiert werden.

Eine wichtige Frage betrifft die Nikotingehalte in den Aerosolen und die Konzentrationen im Blutplasma, die durch das Dampfen erreicht werden können. Während mit den Geräten der ersten Generation nur eine eingeschränkte Nikotinaufnahme möglich war (Hajek 2015), konnten in den modernen Modellen deutliche Verbesserungen erreicht werden. Ein Grund besteht in den neuartigen Verdampfern, die durch eine erhöhte Energiezufuhr mehr Aerosol pro Zug bilden (Farsalinos 2014). Es ist noch unklar, ob damit eine verstärkte Entstehung von Pyrolyseprodukten verbunden sein kann. Der für Tabakzigaretten typische schnelle Anstieg der Nikotingehalte im Blutplasma kann allerdings auch durch die modernen E-Zigaretten derzeit noch nicht

imitiert werden. Es wäre allerdings denkbar, dass sich die Gebrauchseigenschaften von E-Zigaretten in den nächsten Jahren weiter an die Tabakzigarette annähern und daher auch ein vergleichbar hohes Suchtpotential erreicht werden kann.

Sind E-Zigaretten gesundheitsschädlich?

Das BfR gab erstmalig im Jahre 2008 eine gesundheitliche Einschätzung zu elektronischen Zigaretten ab und verfolgt seitdem die Entwicklung auf dem Markt. Trotz der bestehenden Risiken könnten etablierte Raucher von E-Zigaretten profitieren, wenn dadurch ein Verzicht oder eine starke Einschränkung des Tabakkonsums erreicht werden kann. Im Vergleich zur Tabakzigarette ist der bestimmungsgemäße Gebrauch von E-Zigaretten mit deutlich geringeren gesundheitlichen Risiken verbunden, da keine Verbrennungsprodukte auftreten und die Schadstoffgehalte in den Emissionen dadurch wesentlich geringer sind. Ob E-Zigaretten eine Tabakentwöhnung insgesamt unterstützen können ist aber noch nicht ausreichend untersucht. Da es sich nicht um Medizinprodukte handelt, kommt der Frage nach einem möglichen therapeutischen Nutzen allerdings nur eine sehr nachrangige Bedeutung zu. Auf der anderen Seite würden sich Jugendliche und Nichtraucher durch das Dampfen von E-Zigaretten jedoch unnötigen und vermeidbaren gesundheitlichen Risiken aussetzen. Gleichzeitig wird ein möglicher Gateway-Effekt des Dampfens diskutiert, der von der E-Zigarette zum Tabakrauchen führen könnte (Nowak 2013). Gerade bei Jugendlichen liegt der Anteil der E-Dampfer, die parallel auch noch konventionelle Zigaretten konsumieren („dual user“), vergleichsweise hoch (Lee 2013).

Eine weitere Gefahr besteht darin, dass Hersteller durch technische Modifikationen oder apparative Erweiterungen E-Zigaretten gezielt nach den Bedürfnissen von Jugendlichen und jungen Erwachsenen gestalten und Multifunktionsgeräte entwickeln. Die Kombination von Mobiltelefon und E-Zigarette (**Abbildung 2**) deutet diesen neuen Trend bereits an, dessen Nachhaltigkeit jedoch noch nicht absehbar ist. Bisher wird das „Nikotinhandy“ nur in den USA vermarktet. Die Einstufung und Rechtslage in Deutschland wäre nicht geklärt.

Nach Ansicht des BfR ist durch den Gebrauch von E-Zigaretten, die Nikotin enthalten, die Entste-

hung einer Nikotinsucht möglich. Besonders kritisch sieht das BfR daher, dass bei Jugendlichen und Nichtrauchern eine niedrigere Hemmschwelle gegenüber diesen Produkten besteht und sich E-Zigaretten möglicherweise zu Einstiegsprodukten in die Nikotinsucht entwickeln. Obwohl wichtige karzinogene Stoffe des Tabakrauchs in den Aerosolen von E-Zigaretten nicht nachweisbar sind, sind derzeit die gesundheitlichen Risiken einer langjährigen Nutzung nikotinhaltiger Produkte, beispielsweise in Hinblick auf Herz-Kreislaufkrankungen noch nicht bekannt (Pisinger, Dossing 2014). Die gesundheitlichen Bedenken bleiben allerdings nicht nur auf nikotinhaltige E-Zigaretten beschränkt. Die Inhalation der verdampften Liquids kann die Gesundheit der Verbraucher auch durch die Vernebelungsmittel Propylenglycol oder Glycerin sowie durch Zusatzstoffe und Verunreinigungen schädigen. Darüber hinaus gibt es Berichte darüber, dass Nickelallergien durch den Gebrauch (d. h. durch das Halten) von E-Zigaretten ausgelöst werden können (Maridet 2015). Eine generelle Bewertung von E-Zigaretten bleibt unterdessen schwierig, da wegen der großen Produktvielfalt nicht bekannt ist, welche Stoffe im Einzelfall in den Liquids oder den Geräten enthalten sind. Nachfüllbehälter können nach den Regelungen der Tabakprodukttrichtlinie bis zu 200 mg Nikotin enthalten. Daher besteht ebenfalls die Gefahr von missbräuchlichen oder akzidentellen Nikotinvergiftungen durch die Handhabung solcher Liquids. Dem BfR wurden zwei Fälle von akuten Nikotinvergiftungen nach exzessivem Rauchen von E-Zigaretten gemeldet. Zusätzlich stellen aus Sicht des BfR vor allem die Liquids und Nachfülllösungen mit konzentriertem Nikotin eine veritable Gesundheitsgefährdung für Kinder dar. Dem BfR liegen Meldungen über Vergiftungsfälle von Kindern und Erwachsenen nach Kontakt mit E-Zigaretten-Liquids vor. Spezifische Gegenmittel zur Behandlung von Nikotinvergiftungen gibt es nicht.

Ist Passivrauchen bei E-Zigaretten ein Problem?

E-Raucher geben Emissionen in Form von sichtbarem Dampf in die Raumluft ab. Gesundheitliche Risiken für Dritte können nach jetzigem Kenntnisstand keinesfalls ausgeschlossen werden. E-Raucher können auch eigene Liquids mischen und dabei auf Konzentrate, vielfältige Zusätze und Substanzen zurückgreifen. Weder der E-Raucher noch der Passivraucher können im konkreten Fall

einschätzen, ob von den freigesetzten Emissionen produktbezogene gesundheitliche Risiken ausgehen. Jedoch sind wegen der vergleichsweise geringeren Schadstoffgehalte in den Emissionen für Passivdampfer generell geringere Gesundheitsrisiken als beim Passivrauchen zu erwarten. Nach jetzigem Kenntnisstand ist es unwahrscheinlich, dass für Passivdampfer ein erhöhtes Lungenkrebsrisiko besteht (Nowak, 2014). Allerdings sind die möglichen gesundheitlichen Risiken von Aerosolen und Partikeln nicht geklärt, die auch von Unbeteiligten eingeatmet werden. Langzeitstudien liegen dazu jedenfalls noch nicht vor. Nach Einschätzung des BfR sollte für Unbeteiligte grundsätzlich die Möglichkeit bestehen, das Einatmen von Aerosolen zu vermeiden. Daher würde ein Dampfverbot in Bahnhöfen, Flughäfen und Verkehrsmitteln sowie in bestimmten öffentlichen Einrichtungen, insbesondere in Schulen, Behörden und Geschäften, durch das BfR befürwortet.

Literatur

- Etter JF, Bullen C, Flouris AD et al. (2011): Electronic nicotine delivery systems: a research agenda. *Tob Control* 20: 243–248.
- Farsalinos KE, Spyrou A, Tsimopoulou K et al. (2014): Nicotine absorption from electronic cigarette use: comparison between first and new-generation devices. *Sci Rep.* 4: 4133.
- Goniewicz ML, Knysak J, Gawron M et al. (2013): Levels of selected carcinogens and toxicants in vapour from electronic cigarettes. *Tob Control* 23: 133–139.
- Goniewicz ML, Gupta R, Lee YH et al. (2015): Nicotine levels in electronic cigarette refill solutions: a comparative analysis of products from the U.S., Korea, and Poland. *Int J Drug Policy* 26: 583–588.
- Hajek P, Goniewicz ML, Phillips A et al. (2015): Nicotine intake from electronic cigarettes on initial use and after 4 weeks of regular use. *Nicotine Tob Res.* 17: 175–179.
- Hadwiger ME, Trehy ML, Ye W et al. (2010): Identification of amino-tadalafil and rimonabant in electronic cigarette products using high pressure liquid chromatography with diode array and tandem mass spectrometric detection. *J Chromatogr A* 1217: 7547–7555.
- Henkler F, Luch A (2015): Safety regulations: more extensive tests for e-cigarettes. *Nature* 525: 187.
- Kosmider L, Sobczak A, Fik M et al. (2014): Carbonyl compounds in electronic cigarette vapors: effects of nicotine solvent and battery output voltage. *Nicotine Tob Res* 16: 1319–1326.
- Lee S, Grana RA, Glantz SA (2013): Electronic cigarette use among Korean adolescents: a cross-sectional study of market penetration, dual use, and relationship to quit attempts and former smoking. *J Adolesc Health.* 54: 684–690.
- Maridet C, Atge B, Amici JM et al. (2015): The electronic cigarette: the new source of nickel contact allergy of the 21st century? *Contact Dermatitis* 73: 49–50.
- Nowak D, Jörres RA, Rütter T (2014): E-cigarettes – prevention, pulmonary health, and addiction. *Dtsch Arztebl Int.* 111: 349–355.
- Trehy ML, Ye W, Hadwiger ME et al. (2011): Analysis of electronic cigarette cartridges, refill solutions, and smoke for nicotine and nicotine related impurities. *J Liq Chromatog Rel Technol* 34: 1442–1458.
- Uchiyama S, Inaba Y, Kunugita N (2010): Determination of acrolein and other carbonyls in cigarette smoke using coupled silica cartridges impregnated with hydroquinone and 2,4-dinitrophenylhydrazine. *J Chromatogr A* 1217: 4383–4388.
- Westenberger B (2009): Evaluation of e-cigarettes. DPA-TR-FY-09-23 2009 May 4: 1–8. Available from: URL: <http://www.fda.gov/downloads/Drugs/ScienceResearch/UCM173250.pdf> (Zugriff am: 26.02.2016).
- Williams M, Villarreal A, Bozhilov K et al. (2013): Metal and silicate particles including nanoparticles are present in electronic cigarette cartomizer fluid and aerosol. *PLoS One* 8: e57987.

Kontakt

Andreas Luch
Bundesinstitut für Risikobewertung
Abteilung für Chemikalien- und Produktsicherheit
Max-Dohrn-Straße 8–10
10589 Berlin
E-Mail: [Andreas.Luch\[at\]bfr.bund.de](mailto:Andreas.Luch[at]bfr.bund.de)

[BfR]