



Verbrennungsdynamik, Rauchgastoxizität und ihre Folgen



Eine kleine Argumentationshilfe für die Brandschutzaufklärung

Dass Brände sich schnell ausbreiten können und Brandrauch gefährlich ist, ist für Feuerwehrangehörige und andere Brandschutzfachleute keine Neuigkeit. Großen Teilen der Bevölkerung ist diese Tatsache aber immer noch nicht hinlänglich bewusst. Seit vielen Jahren versuchen engagierte Brandschutzaufklärer der Bevölkerung die Gefährlichkeit von Brandrauch, die Notwendigkeit von Rauchwarnmeldern und die richtigen Verhaltensregeln zu vermitteln. Der Beitrag fasst im Sinne einer kleinen Argumentationshilfe wesentliche Fakten zusammen, die bei der Aufklärungsarbeit der Bevölkerung helfen können.

Immer wieder erschüttern Berichte über Brandereignisse mit dramatischen Folgen. So in Aachen am 18.1.2012¹, wo drei Kinder ums Leben kamen, oder in Saarbrücken am 24.8.2012², wo vier tote Kinder zu beklagen waren. Laut Brandermittlungen war in beiden Fällen falscher Umgang mit offenem Feuer die Ursache. Hin und wieder finden sich aber auch erfreuliche Meldungen. In Berlin konnte eine Mutter ihre beiden Kinder am 7.10.2012 noch rechtzeitig in Sicherheit bringen. Ein Rauchwarnmelder hat sie auf die drohende Gefahr aufmerksam gemacht.³

In diesem Artikel werden ausgewählte Zusammenhänge und Daten dargestellt, die für die Arbeit in der Brandschutzaufklärung hilfreich sein können. Vieles davon ist den einzelnen Fachdisziplinen seit Langem bekannt. Die kompakte Darstellung soll jedoch auch diejenigen argumentativ unterstützen, die aus anderen Berufszweigen kommen und mit viel Idealismus und eh-

renamtlichem Engagement in der Brandschutzaufklärung tätig sind.

Der Klassiker

Das Brandereignis „Kinderwagen im Treppenraum“ ist schon ein Klassiker geworden. Im Land Berlin kam es nach Angaben des Landeskriminalamtes im Jahr 2011 zu fast 400 Bränden in Treppenräumen, häufig unter Beteiligung von dort abgestellten Kinderwagen. Nach Ansicht vieler Zivilgerichte erlaubt die geltende Rechtslage jedoch kein pauschales Verbot des Abstellens von Kinderwagen in Treppenräumen.⁴ Die Kollision zwischen juristischer Bewertung und den Appellen der Feuerwehr wird weiter zu interessanten Diskussionen führen (vgl.⁵). Aus Rechtmäßigkeit darf aber nicht immer auch auf Zweckmäßigkeit geschlossen werden, weshalb die Feuerwehren weiter auf die mannigfaltigen Gefahren hinweisen.

Leider ist der Kinderwagen häufig nur der Anfang: Spielzeug, Tretroller, das Fahrrad vom Mitmieter, Sitzgelegenheiten für Senioren kommen hinzu und manche erweitern gleich ihre Wohnung in den Treppenraum. Die Probleme, die den Einsatzkräften des Rettungsdienstes oder der Feuerwehr allein durch diesen „Hindernisparcours“ entstehen, sind leicht darstellbar (**Bild 1 bis 4**).

Begünstigende Faktoren für eine Brandausbreitung

Blieben wir beim Klassiker. Gelegentlich wird argumentiert, dass ein Kinderwagen im Treppenraum brandschutztechnisch keine Rolle spiele, da doch sogar Teile des

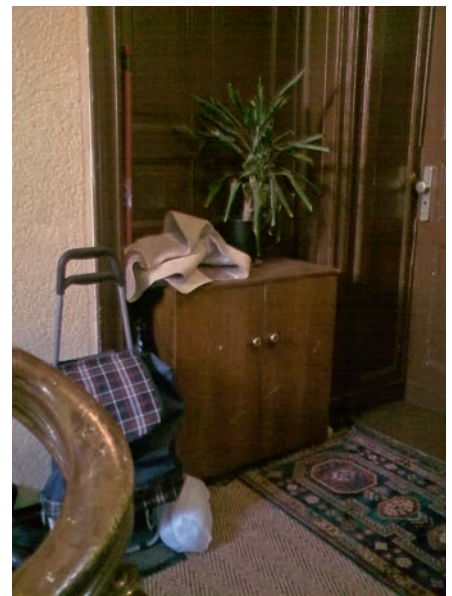
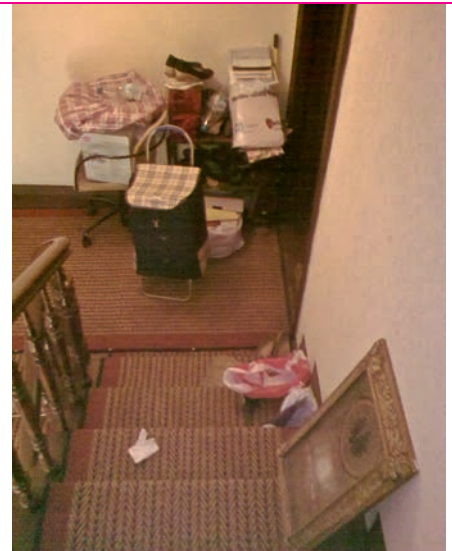
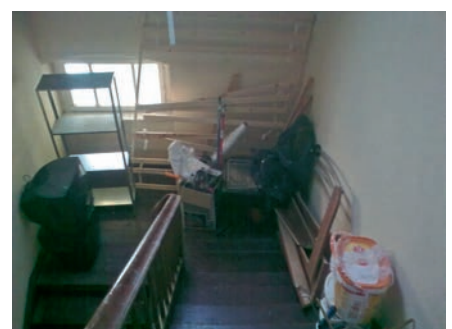
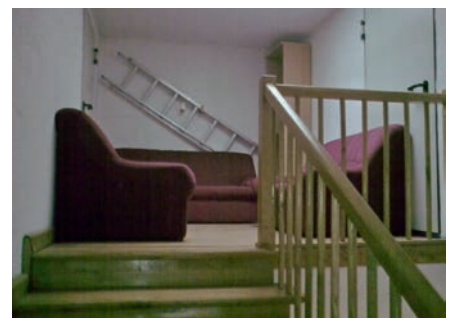


Bild 1 bis 4 | Situation in Treppenräumen, Fotos: ALLCURA (www.allcura.com) in Kooperation mit www.gesichtspunkte.de



Treppenraumes aus brennbaren Materialien bestehen. Tatsächlich existieren aus Gründen des (juristisch begründeten) Bestandsschutzes in zahlreichen Altbauten Treppenräume mit oder sogar aus brennbaren Bauteilen. Diese Häuser stammen teilweise noch aus der Zeit vor den Weltkriegen und wurden im Einklang mit den damaligen Vorschriften errichtet oder verändert. Aber bereits damals war man sich der Problematik bewusst. So forderte die Bau-Polizei-Ordnung für den Stadtkreis Berlin vom 15. Januar 1887 in § 14⁶:

„... Gebäude, in deren oberstem Geschosse der Fußboden höher als 6 m über dem Erdboden liegt, müssen mindestens zwei in gesonderten Räumen befindliche Treppen oder eine feuerfeste Treppe enthalten. ...“ und weiter „Als feuerfest gilt eine Treppe, deren tragende Teile, Tritt- und Futterstufen, massiv oder in Eisen hergestellt sind. ...“

Regulär in Treppenräumen verbaute Holzbauteile sind in der Regel recht massiv und stabil ausgeführt. Wie bei einem Kaminfeuer benötigt die Entzündung eines massiven Holzstücks eine verhältnismäßig hohe Zündenergie. Ein günstigeres Oberflächen-Masse-Verhältnis bzw. die Wahl von leichter brennbaren Materialien verbessert die Entzündbarkeit deutlich. Aus diesem Grund werden beim Kaminfeuer zunächst Papier und sehr dünne Holzteile entzündet, die dann wiederum stärkere Holzstücke und schließlich den Holzschicht entzünden.

Der gleiche Kaskadeneffekt tritt bei der Kombination von Kunst- und Schaumstoffen mit Holzbauteilen alter Treppenräume auf. Für diese Stoffe genügt eine viel geringere Zündenergie als für die glatten, massiven Holzbauteile und sie besitzen Abbrandgeschwindigkeiten bzw. Wärmefreisetzungsraten, die teilweise mit denen brennbarer Flüssigkeiten vergleichbar sind.⁷ Die resultierende schnelle und starke Hitzeentwicklung begünstigt dann die Entzündung der massiven Holzoberflächen.

Wie u. a. in^{8,9} beschrieben, begünstigt die spezielle Geometrie des Treppenraumes die weitere Brandausbreitung durch den sogenannten Grabeneffekt: Die mit den aufsteigenden heißen Gasen emporgerissenen Flammen legen sich an die Oberflächen der Treppenschrägen an. Dies führt zu einer noch intensiveren Erwärmung dieser Oberflächen. Sind diese wie in den erwähnten Altbauten aus Holz, ist ein sich rasch über den gesamten Treppenraum ausbreitender Brand die Folge.

sich aus diesem Grund schnell mit Brandrauch und fallen als Fluchtweg aus (s.¹⁰).

Die entstehende Rauchmenge ist stark von dem verbrennenden Material und den Verbrennungsbedingungen abhängig. Die Abbrand- und Rauchentwicklung einer Tageszeitung unterscheidet sich ganz erheblich von der eines schaumstoffgepolsterten Kinderwagens. Die in Polstern eingesetzten Kunststoffe sind in der Regel leicht entzündbar, brennen schnell mit einer hohen



Bild 5 u. 6 | Verbrannter Kinderwagen \triangle und Wirkung im Treppenraum ∇
(Foto: Meisner)

Die Ansammlung von leicht entzündlichen Materialien in ohnehin schon mit brennbaren Baustoffen versehenen Treppenräumen reduziert daher die benötigte Zündenergie für einen Brand ganz erheblich. Zwar entzünden sich diese Gegenstände nicht von allein, haben jedoch in Verbindung mit kochenden Kindern, fahrlässigen Rauchern oder mutwilligen Brandstiftern regelmäßig fatale Folgen.

Die Brandrauchentwicklung

Mit dem Verbrennungsprozess entsteht Brandrauch. Je höher seine Temperatur, desto größer sind die wirksamen Auftriebskräfte und das Raumvolumen, welches er ausfüllt. Durch die Vermischung mit der Umgebungsluft erhöht sich das Rauchvolumen weiter. Selbst große Treppenräume füllen



Intensität und ihre Rauchgasentwicklung und -toxizität liegt um ein Vielfaches höher als bei Holz oder Papier.¹¹ **Bild 5 u. 6** zeigt, dass bereits ein einzelner brennender Kinderwagen durch den produzierten Brandrauch eine tödliche Gefahr im gesamten Treppenraum darstellt. ▶



Brandrauch ist brennbar

Durch die thermische Zersetzung (Pyrolyse) entweichen aus den Materialoberflächen brennbare Gase, die bei ihrer Verbrennung Flammen bilden. Steht in der Verbrennungszone jedoch nicht genügend Sauerstoff zur Verfügung oder werden diese Gase nicht entzündet, enthält der entstehende Brandrauch unverbrannte Pyrolysegase und ist brennbar.

Vermischt sich dieser Brandrauch später mit Luft, bildet sich ein Brandrauch-Sauerstoff-Gemisch, welches mit der Strömung transportiert an anderen Stellen zünden kann. Hierbei wandert eine Flammenfront mit einer Geschwindigkeit von einigen Metern pro Sekunde durch das Gemisch.

Für eine solche Entwicklung reicht die übliche Ausstattung eines Wohnzimmers mit Sofa und Sesseln bereits aus (vgl.¹²). Breitet sich dieser brennbare Brandrauch aus der Brandwohnung durch die offene gelassene Wohnungstür in den Treppenraum aus, kann es hier zu einer Rauchgasdurchzündung kommen. Im Treppenraum brennt dann quasi die „Luft“. Die dabei erreichten Temperaturen genügen, um den Putz von den Wänden abplatzen zu lassen.

Brandrauch ist giftig

Toxische Rauchgase entstehen bei der Verbrennung von Kunst- und Schaumstoffen in großer Menge. Schon wenige Atemzüge führen zu Verwirrheitszuständen und Orientierungslosigkeit, die Rußteilchen nehmen die Sicht. Die Reiz- und Ätzwirkung ruft tränende Augen und Reizhusten hervor. Selbst bei hindernisfreien Treppen kommt es aufgrund der Irritationen schnell zu Stürzen mit Folgeverletzungen. Diese Effekte treten bei Übungen mit Theater- oder Disco-Nebelanlagen nicht auf, weshalb hierauf besonders hingewiesen werden muss.

In dem Giftgascocktail befinden sich u. a. Schwefelwasserstoff, Phosgen, Stickoxide, Kohlenstoffmonoxid, Zyanwasserstoff (Blau-

säure) und viele weitere Giftgase.¹³ Das eingatmete Rauchgas hat nicht nur erstickende und nervenschädigende Wirkungen, sondern kann auch zu Verätzungen der Atemwege führen. Das ist z. B. bei der Verbrennung chlorhaltiger Kunststoffe wie PVC der Fall: Beim Kontakt des Rauchgases mit den feuchten Atemwegen kommt es dort zur Salzsäurebildung.

Auch die Menge der freigesetzten Gifte ist materialabhängig. Beispielsweise kann die Verbrennung von Schaumstoffen aus Polyethylen bis zu 10-mal mehr hochgiftiges Kohlenstoffmonoxid (CO) produzieren als die Holzarten Kiefer oder Roteiche.¹⁴

Kohlenstoffmonoxid wirkt jedoch nicht allein, sondern bei der Verbrennung von Kunststoffen, Woll- und Seidenprodukten u. a. in Verbindung mit dem dabei entstehenden Zyanwasserstoffgas (Blausäure). Natur-, Kunst- und Schaumstoffe produzieren daher im Brandfall einen gefährlichen „Cocktail“. All diese Materialien finden sich übrigens in den modernen Kindertwagen.

Wirkung im Körper

Die im Brandrauch enthaltenen Atemgifte wirken auf drei Wegen schädlich auf den menschlichen Körper ein:

1. Reiz- und Ätzwirkung

Einige im Brandrauch enthaltene Gase wie Chlorwasserstoff („Salzsäure“) und Stickoxide („Nitrose Gase“) wirken ätzend und verursachen Schäden an den Schleimhäuten der Atemwege. Dabei gilt, dass Schäden in den unteren Atemwegen größere Gesundheitsgefahren bergen, da es zu einem lebensbedrohlichen toxischen Lungenödem (Flüssigkeitsansammlung in der Lunge) kommen kann. Reizungen der oberen Atemwege können hingegen sehr heftige und unangenehme Symptome verursachen (Husten, Atemnot, Schmerzen in Nase und Augen). Sie klingen jedoch meist bald wieder ab und hinterlassen keine bleibenden Schäden. Besonders tückisch dabei: Die bedrohliche Schädigung der unteren

Atmewege macht sich unter Umständen erst nach längerer Zeit (bis zu 36 Stunden) deutlich bemerkbar. Somit scheinen Betroffene, deren Beschwerden noch am Ort des Geschehens rasch wieder abklingen, nicht ernsthaft verletzt zu sein. Dennoch ist es ratsam, sie vorsorglich zur Überwachung in die Klinik zu bringen. Nehmen diese Menschen keine Behandlung durch den Rettungsdienst in Anspruch oder lehnen einen Kliniktransport ab, ist eine fürsorgliche Aufklärung durch das medizinische Personal erforderlich. Schon in der Brandschutzaufklärung sollte auf diese Problematik hingewiesen werden.

2. Erstickende Wirkung

Da jede Verbrennung eine Reaktion des Brandgutes mit Sauerstoff darstellt, wird der Luft Sauerstoff entzogen und in ein Reaktionsprodukt (überwiegend Kohlenstoffdioxid [CO₂]) umgewandelt. Bei Bränden in geschlossenen Räumen besteht daher die Gefahr, dass die Konzentration des Sauerstoffs in der Atemluft bedrohlich absinkt. Die Folgen des Sauerstoffmangels sind Fluchtunfähigkeit und schließlich Bewusstlosigkeit.

3. Spezielle Giftwirkungen nach Verteilung im Körper

Bei unvollständigen Verbrennungen entsteht Kohlenstoffmonoxid (CO). Dies hat selbst eine giftige Wirkung, da es sich an den roten Blutfarbstoff (Hämoglobin) bindet und dadurch den Sauerstofftransport im Blut des Opfers blockiert. Dies gilt auch, wenn sich das Opfer nach der Rauchgasinhalation wieder in rauchfreier Umgebungsluft befindet. Daher ist nach einer Rauchgasinhalation eine rettungsdienstliche Behandlung notwendig, um ein „inneres Ersticken“ zu verhindern. Werden im Rauch enthaltene Stoffe in den Körper aufgenommen und beeinträchtigen dort die Funktionen des Blutes, des Nervensystems oder anderer Körperzellen, spricht man von einer systemisch-toxischen Wirkung. Im Brandrauch kommen hierfür vor allem CO und Zyanwasserstoff infrage.

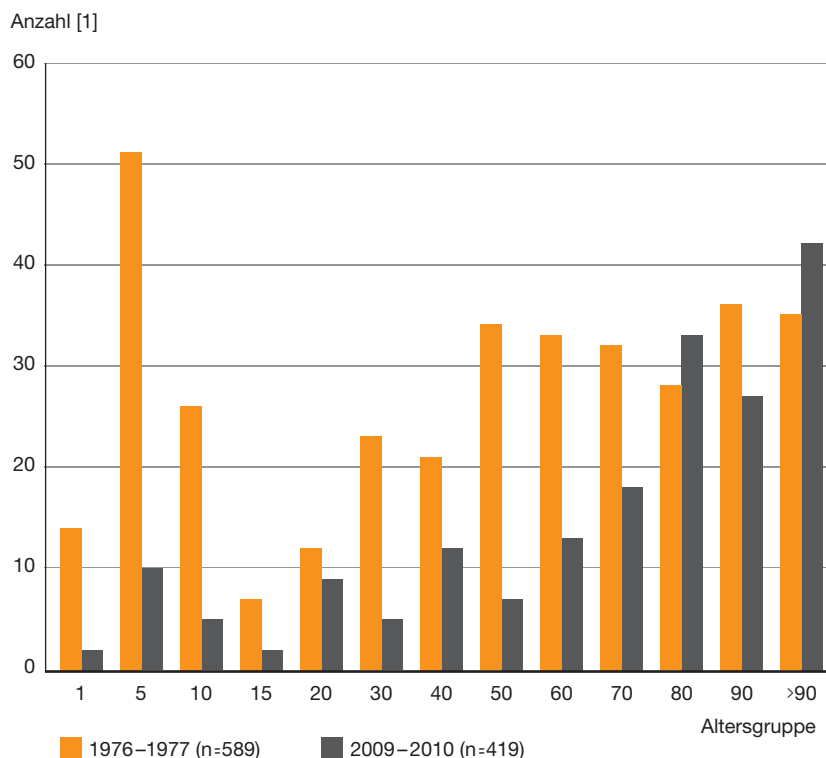


Die tödliche Dosis der bei einem Brand entstehenden Rauchgase ist auch vom Alter und der körperlichen Verfassung des Opfers abhängig. So ist der kindliche Körper durch die erhöhte Atemfrequenz, die geringere Körpermasse und einige biochemische Besonderheiten sehr viel empfindlicher gegenüber Rauchvergiftungen und Sauerstoffmangelzuständen.¹⁴ Zudem sind auch ältere Menschen einer erhöhten Gefährdung durch Brandrauch ausgesetzt: Zu der altersbedingt größeren Empfindlichkeit des Körpers gegenüber Hitze, Stress und Sauerstoffmangel spielen hier häufig noch Begleiterkrankungen – insbesondere Herz-Kreislaufkrankungen – eine Rolle. Sowohl Kleinkinder als auch alte Menschen sind außerdem häufig nicht in der Lage, Gefahren rechtzeitig wahrzunehmen und sich aus eigener Kraft in Sicherheit zu bringen.

Statistik der Brandopfer

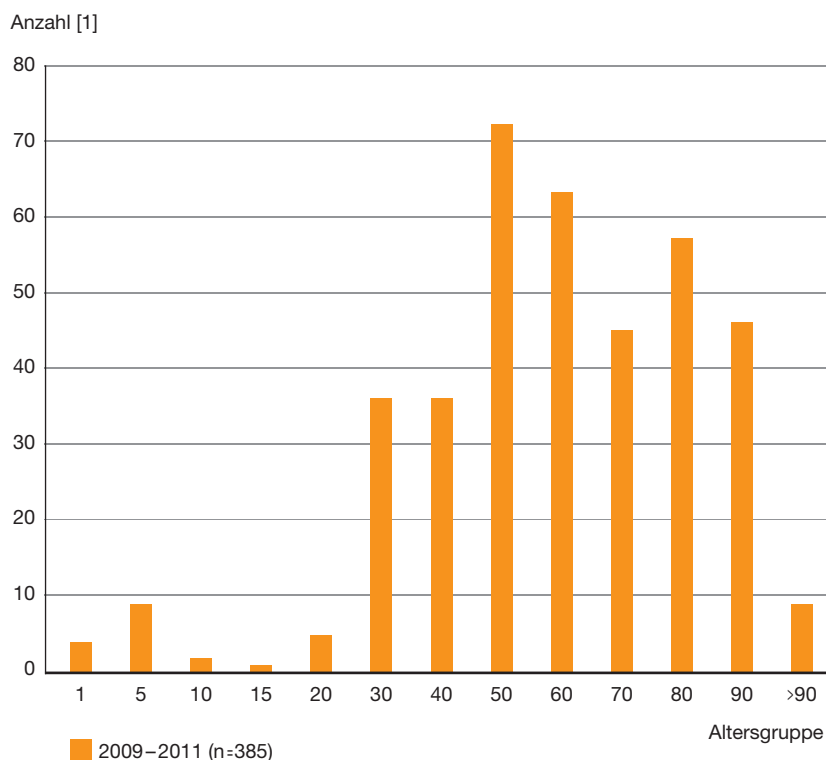
Todesfälle bei Bränden sind in der amtlichen Todesursachenstatistik verzeichnet. **Grafik 1** veranschaulicht die Altersverteilung der Brandtoten in Deutschland Mitte der 1970er-Jahre (BRD) im Vergleich zur Situation heute.

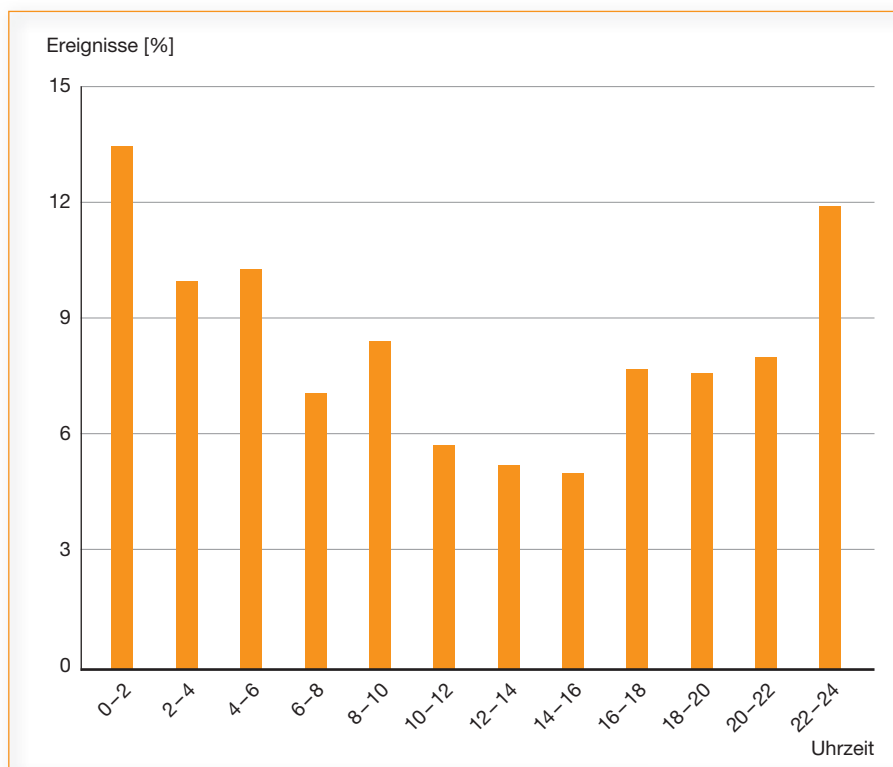
Bedingt durch das Kodierungssystem sind die bei Bränden verletzten Personen in den amtlichen Statistiken der Bundesrepublik Deutschland nicht ausgewiesen. Das Giftinformationszentrum-Nord hat aus diesem Grund in einer Studie über drei Jahre alle Brandereignisse in Deutschland erfasst, bei denen Personen schwer oder tödlich verletzt wurden (vgl.¹⁵). Die Anzahl und Verteilung nach Altersgruppen der Schwerverletzten, die die Feuerwehr retten musste, zeigt **Grafik 2**. ▶



Grafik 1 | Todesfälle durch Brände in Wohngebäuden in Deutschland nach Altersgruppen

Grafik 2 | Schwerverletzte durch Brände in Wohngebäuden in Deutschland nach Altersgruppen





Grafik 3 | Tageszeitliche Verteilung der Brände mit Schwerverletzten und Toten

Zwei Drittel aller Brände mit schwer oder tödlich Verletzten ereigneten sich in Mehrfamilienhäusern, die Mehrzahl in den Nachtstunden (**Grafik 3**).

Der flächendeckende Einbau von Rauchmeldern – und sei es nur in Mietwohnobjekten – könnte daher aller Voraussicht nach die Opferzahlen weiter drastisch senken.

Zusammenfassung

Mit dem Rauch eines Kamin- oder Lagerfeuers ist der Brandrauch in keiner Weise zu vergleichen. Mit Blick auf seine dargestellte Gefährlichkeit kommt der Aufklärungsarbeit eine große Bedeutung zu. Bereits leichtere Rauchgasinhalationen – insbesondere bei Kindern und alten Menschen – können zu bedrohlichen Gesundheitsschäden führen. Daher stellt die Verrauchung von Fluchtwegen selbst bei vergleichsweise undramatischem Brandverlauf eine spezielle Gefahr dar.

Ein im Treppenraum brennender Kinderwagen führt deshalb gerade zu einer besonderen Gefährdung des sich im Haus

aufhaltenden Kleinkindes. Das gilt vor allem dann, wenn sich die Eltern falsch verhalten und einen Fluchtversuch durch den Brandrauch wagen.

Glücklicherweise zeigt die Statistik, dass die Zahl der Brandtodesfälle in den letzten Jahrzehnten deutlich abgenommen hat. Insbesondere sind schwere und tödliche Verletzungen von Kindern und Jugendlichen überdurchschnittlich stark zurückgegangen.

Neben der verbesserten Notfallmedizin mit wirksamer Hilfe vor Ort ist dies auch auf einen verbesserten Vorbeugenden Brandschutz zurückzuführen. Sicher kann es nicht in unserem Interesse sein, diese Entwicklung wieder umzukehren. ■

Matthias Münch
Simulationsmethoden im Brandschutz und der Gefahrenabwehr
INURI GmbH, Berlin
brandschutzaufklaerung@inuri.de

Guido Kaiser
wissenschaftlicher Mitarbeiter
Universitätsmedizin Göttingen
Abteilung Toxikologie/
Giftinformationszentrum-Nord
gkaiser@giz-nord.de

¹ FAZ Online: www.faz.net/aktuell/gesellschaft/brand-in-aachen-kinder-spielten-mit-feuer-11615953.html

² Feuerwehr-Forum: www.feuerwehr.de/news/2012/09/07/Ermittlungsverfahren_Wohnungsbrandes_Saarbruecken-Burbach.php

³ Berliner Morgenpost, Online: www.morgenpost.de/berlin/polizeibericht/article109674848/Rauchmelder-rettet-Mutter-und-ihre-Toechter.html

⁴ Internetratgeber-Recht, Mietrecht: *Buggy/Kinderwagen im Treppenhaus abstellen – Nutzung der Mietwohnung*; Abruf: 10.5.2012, www.internetratgeber-recht.de/MietrechtAllgemein/frameset.htm?http://www.internetratgeber-recht.de/MietrechtAllgemein/Wohnungsnutzung/nutzung_der_wohnung_2.htm

⁵ Münch, Matthias, Kaiser, Guido: *Kinderwagen und andere Brandlasten in Treppenhäusern. Der feine Unterschied zwischen richtig und rechtmäßig*, in: Zeitschrift Das Grundeigentum, Recht und Praxis, 17/2012, Grundeigentum-Verlag GmbH, p. 1144-1148

⁶ Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), DFG-Viewerdienst: *Bau-Polizei-Ordnung für den Stadtkreis Berlin vom 15. Januar 1887 unter Berücksichtigung der Rechtsprechung und der einschlagenden Bestimmungen der übrigen Deutschen Bauordnungen, Berlin 1887*; Abruf: 10.5.2012, [www.dfg-viewer.de/v2/?set\[image\]=77&set\[zoom\]=default&set\[debug\]=0&set\[double\]=0&set\[mets\]=http%3A%2F%2Fwww.zvdd.de%2Ffms%2Ffmsresolver%2F%3FPPN%3DPPN644842792](http://www.dfg-viewer.de/v2/?set[image]=77&set[zoom]=default&set[debug]=0&set[double]=0&set[mets]=http%3A%2F%2Fwww.zvdd.de%2Ffms%2Ffmsresolver%2F%3FPPN%3DPPN644842792)

⁷ Schneider, Ulrich; Schjerve, Nina: *Materialtechnische Tabellen für den Brandschutz*, in: Fouad, Nabil A. (ed.), Bauphysik-Kalender 2011, Schwerpunkt Brandschutz, Ernst & Sohn, Berlin, Kapitel E1, 555-592

⁸ Stolt, Frank: *Feuer in Treppenhäusern*, in: *Feuerwehr – Retten – Löschen – Bergen*, 6/2011, 40-42, www.feuerwehr-ub.de

⁹ Wikipedia, Grabeneffekt, Abruf: 8.6.2012, www.de.wikipedia.org/wiki/Grabeneffekt

¹⁰ INURI Filmprojekt: *Richtiges Verhalten bei Treppenhausbränden*. Filmprojekt der INURI und der Berliner Feuerwehr; Abruf: 10.5.2012, www.inuri.de/brandschutzaufklaerung

¹¹ Kafka, Georg, Maybauer, Dirk, Traber, Daniel & Maybauer, Marc: *Das Rauchgasinhalationsstrauma in der präklinischen Versorgung*, in: *Notfall + Rettungsmedizin*, Springer, Berlin/Heidelberg, 2007, 10, 529-540

¹² Nur wenige Minuten: Entwicklung eines Zimmerbrandes. Abruf: 05.03.2013, www.eielectronics.de/html/media2.html

¹³ Basmer, Peter, Zwick, Gerhard: *Messung des Giftgascocktails bei Bränden*. Forschungsbericht, 2004, Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH)

¹⁴ von Mühlendahl, Karl Ernst, Oberdisse, Ursula, Bunjes, Reinhard, Brockstedt, Matthias: *Vergiftungen im Kindesalter*. 4. Aufl., Thieme, Stuttgart, 2003

¹⁵ Kaiser, Guido: Internetbasierte Fallrekrutierung und Datengewinnung für eine (prä-)klinische Studie: Evaluation einer neuartigen Arbeitsmethode für die Notfallmedizinische Forschung, in: *Anästhesiologie & Intensivmedizin*, Nürnberg 2012, 53: S45-S46