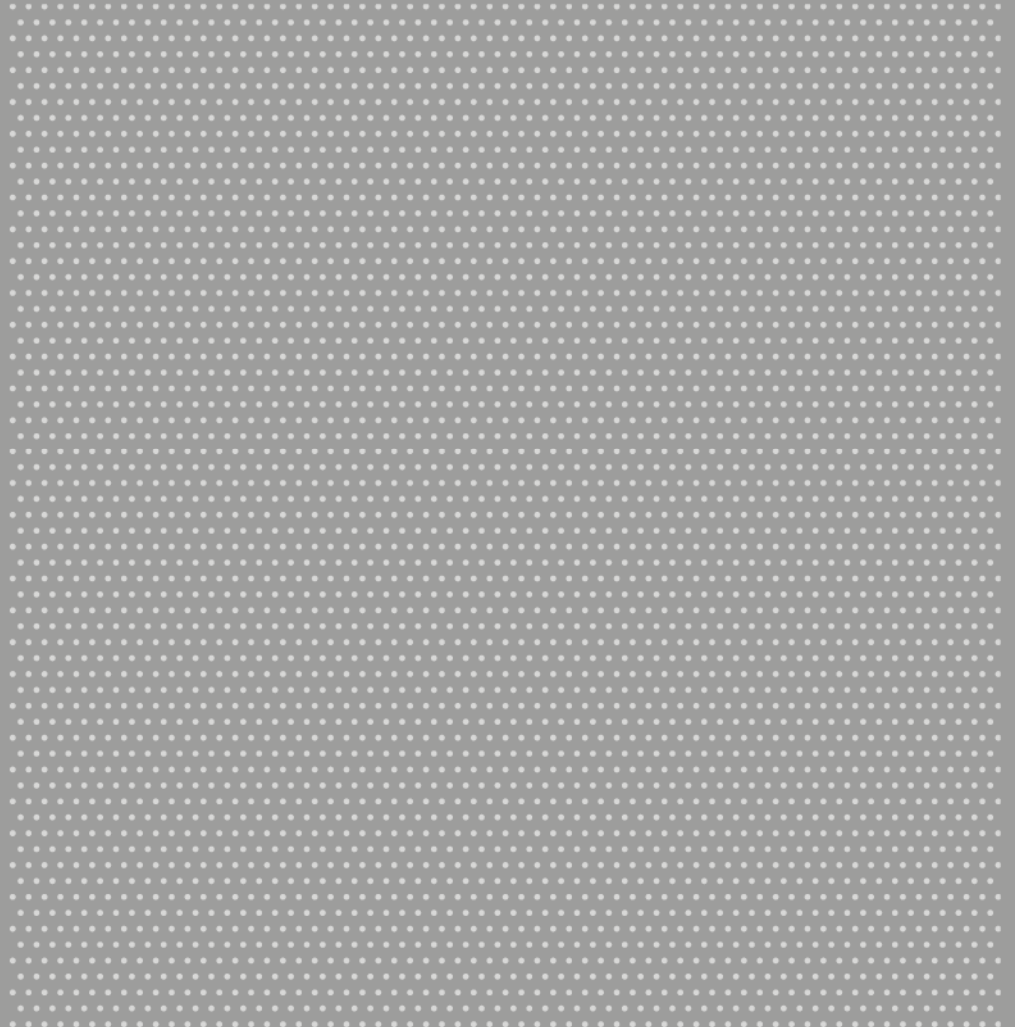


DGUV-UVT-Report

Passivrauchen am Arbeitsplatz



Bearbeitet von: Dietmar Breuer¹⁾, Roger Kühn²⁾, Matthias Weigl²⁾,
Udo Eickmann³⁾, Tobias Weiß⁴⁾, Helmut Blome¹⁾,
Thomas von der Heyden¹⁾, Wolfgang Schneider¹⁾

1) Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstr. 111
53757 Sankt Augustin
Tel.: 02241 231-02
Fax: 02241 231-2234
Internet: www.dguv.de/ifa

2) Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe,
Mannheim

3) Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und
Wohlfahrtspflege, Köln

4) Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen
Gesetzlichen Unfallversicherung Institut der Ruhr-Universität
Bochum (IPA), Bochum

Redaktion: Zentralbereich des Instituts für Arbeitsschutz der
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)

Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV)
Mittelstr. 51
10117 Berlin

– Oktober 2011 –

ISBN: 978-3-88383-872-4

Passivrauchen am Arbeitsplatz

Kurzfassung

Beim Rauchen von Zigaretten, Zigarren, Zigarillos oder Pfeife entsteht ein hochkomplexes Gemisch aus mehr als 4 000 Verbindungen, das nachgewiesenermaßen auch bei nicht rauchenden Personen zu Gefährdungen führen kann. Die Vielzahl der Verbindungen macht es unmöglich, alle zu untersuchen. Für Tabakrauch hat sich Nikotin als geeignete Leitsubstanz erwiesen. Frühere Untersuchungen zur Tabakrauchbelastung am Arbeitsplatz erfolgten vorwiegend in der Gastronomie und vereinzelt in Büros. Dieser Report berücksichtigt über ein Berechnungsverfahren alle Arbeitsbereiche, insbesondere für kontinuierliche oder kurzfristig sehr hohe Tabakrauchexpositionen. Die Berechnung der Belastung durch Tabakrauch wird vorgestellt und erläutert. Die Berechnungsgrundlagen wurden in Anlehnung an die vom Statistischen Bundesamt herausgegebenen Mikrozensus-Statistiken zu Rauchgewohnheiten der deutschen Bevölkerung zusammengestellt. Für Gaststätten und das Gastgewerbe basieren die Berechnungsgrundlagen auf Daten der Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe. Die Ergebnisse ermöglichen es, diese Belastung für jeden individuellen Fall abzuschätzen. Diese Betrachtung bezieht sich je nach Umsetzung und Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben zum Nichtraucherschutz auf einen früheren oder gegenwärtigen Zeitpunkt. So ergaben sich in der Gastronomie bei ungünstigen Randbedingungen (hohe Raucheranzahl im Verhältnis zur Raumgröße), wie z. B. in Diskotheken oder kleinen Gaststätten der getränkegeprägten Gastronomie die höchsten Tabakrauchbelastungen. In der Speisegastronomie zeigten sich wegen des günstigeren Verhältnisses von Gästezahl zu Raumgröße niedrigere Belastungen. In Büros ohne technische Lüftung sind im Winter bei geschlossenen Fenstern und Türen Konzentrationen wie in höher belasteten Gastronomiebereichen zu erwarten. In Sonderräumen wie Messwarten oder Meisterbüros, Pausenräumen, Fahrerkabinen im gewerblichen Transport ergaben sich zeitlich begrenzt oder auch über die Schicht beachtenswerte Belastungen; dem vergleichbar waren früher sicherlich auch Raucherabteile in Zügen oder Rauchbereiche in Flugzeugen. Weitgehend zu vernachlässigen ist die Belastung durch Tabakrauch in Außenarbeitsbereichen wie der Außengastronomie oder in größeren Werkhallen.

Environmental tobacco smoke at the workplace

Abstract

The smoking of cigarettes, cigars, cigarillos or pipes produces a highly complex mixture of over 4,000 compounds which has been shown to present a hazard even to non-smokers. Owing to their large number, it is impossible for all of these compounds to be studied. Nicotine has proved to be a suitable indicator substance for tobacco smoke. Past studies of tobacco smoke exposure at the workplace were primarily conducted in the catering sector, and in isolated cases in offices. By means of mathematical analysis, this report takes account of all working areas, particularly those associated with continual or periodically very high exposure to tobacco smoke. The calculation of the tobacco smoke exposure is presented and explained. The data used for calculation were compiled with reference to the microcensus statistics on the smoking habits of the German population published by the German Federal Office of Statistics. The calculations for the catering sector are based upon experience gained by the German Social Accident Insurance Institution for the foodstuffs industry and the catering trade. The results enable this exposure to be estimated for each individual case. This approach is based upon a past or present point in time, depending upon implementation and observance of the statutory requirements concerning the protection of non-smokers. As a result, very high levels of exposure to tobacco smoke were observed in the catering sector at unfavourable ratios of the number of customers to the size of the room, as is for example the case in discotheques or small public houses. In the restaurant sector, lower exposure levels were observed owing to the more favourable ratio of the number of customers to the size of the rooms; in offices without ventilation equipment, concentrations were observed in the winter with the doors and windows closed that were the same as in the parts of the catering sector exhibiting higher exposure. In special areas, such as control rooms, foremen's offices, break rooms and drivers' cabs in the commercial transport sector, considerable exposure levels were observed briefly or even over entire shifts; corresponding levels doubtless also occurred in the smoking compartments on trains or in the smoking sections of airliners. Exposure to tobacco smoke in outdoor areas such as in the open-air catering sector or in larger production shops is largely negligible.

Tabagisme passif au poste de travail

Résumé

Lorsque l'on fume une cigarette, un cigare, un cigarillo ou la pipe, il se forme un mélange hautement complexe de plus de 4 000 substances chimiques, qui peut également, d'après des études, constituer un risque pour les non-fumeurs. Étant donné qu'il est impossible d'analyser un si grand nombre de substances, la nicotine a été retenue comme substance de référence pour la fumée de tabac. La plupart des études antérieures sur la concentration de fumée de tabac au poste de travail ont été réalisées dans le secteur de la gastronomie, quelques-unes seulement ayant trait au travail de bureau. Pour cette étude, une méthode de calcul qui permet de prendre en considération tous les secteurs d'activité, en particulier pour des expositions permanentes à de la fumée de tabac ou des expositions temporaires à de fortes concentrations de fumée de tabac, a été mise en œuvre. Le calcul de la concentration de fumée de tabac dans l'air ambiant est présenté et expliqué. Les bases de calcul ont été déterminées d'après les statistiques concernant la consommation de cigarettes de la population allemande qui ont été établies à partir de recensements partiels et sont publiées par l'office fédéral allemand de la statistique. Pour le secteur de la gastronomie, les bases de calcul sont fondées sur l'expérience acquise par la caisse légale allemande d'assurance accident du secteur Denrées alimentaires, hôtellerie et restauration. Les résultats permettent d'estimer cette concentration pour chaque cas spécifique. Cette étude correspond à une situation antérieure ou actuelle en fonction de la mise en pratique et du respect des dispositions légales en matière de protection des non-fumeurs. On a ainsi obtenu, dans le secteur de la gastronomie, des concentrations très élevées de fumée de tabac dans le cas d'un rapport défavorable du nombre de clients aux dimensions du local, comme dans les discothèques ou les petits cafés-restaurants par exemple. Les concentrations sont plus faibles dans les restaurants, car le rapport du nombre de clients aux dimensions du local est plus favorable, et, en hiver lorsque les fenêtres et les portes sont fermées, les concentrations sont les mêmes dans les bureaux dépourvus d'installation d'aération que dans les domaines de la gastronomie où les concentrations sont relativement élevées. Dans des locaux spéciaux tels que des postes de mesure ou des bureaux de contremaîtres, des salles de pause, des cabines de conduite dans le secteur des transports, les concentrations calculées atteignent des valeurs considérables pendant une durée limitée ou toute la durée d'un poste. Autrefois, on était sans doute également en présence de concentrations aussi élevées dans les compartiments fumeurs des trains ou les zones fumeurs des avions. Les concentrations de fumée de tabac sont, à quelques exceptions près, négligeables dans les secteurs où l'on travaille à l'extérieur, comme la restauration extérieure, ou dans les grands halls d'usine.

Tabaquismo pasivo en el puesto de trabajo

Resumen

Al fumar cigarrillos, puros, puritos o pipas se genera una mezcla altamente compleja de más de 4000 compuestos que, como se ha comprobado, pueden perjudicar también a los no fumadores. Este gran número de compuestos hace imposible distinguirlos. En el humo de tabaco la nicotina se ha revelado como la sustancia de referencia por antonomasia. Los estudios precedentes sobre los efectos del humo de tabaco en el puesto de trabajo se han realizado principalmente en la gastronomía y de forma aislada en oficinas. Este informe tiene en cuenta mediante un procedimiento de evaluación todas las áreas de trabajo, especialmente aquellas que han sido expuestas al humo de tabaco de forma continua o por períodos de tiempo muy breves pero muy intensos. Además, el informe presenta y explica el cálculo de exposición al humo de tabaco. Las bases de cálculo se han confeccionado según las estadísticas de las encuestas publicadas por la Oficina Federal de Estadística sobre los hábitos de consumo de tabaco en la población alemana. Los procedimientos de evaluación para la gastronomía se basan en experiencias de la Mutua de la Industria Alimenticia y Hostelera. Los resultados permiten valorar la carga en cada caso individual. Esta consideración se refiere al pasado o a la actualidad en función de la aplicación y el cumplimiento de las normas de protección del no fumador. Así, en la gastronomía se ha comprobado una carga de tabaco muy alta con una proporción desfavorable entre el número de clientes y el tamaño de las salas, como ocurre por ejemplo en discotecas y pequeñas tabernas. Debido a la mejor relación entre el número de clientes y el tamaño de las salas, en los restaurantes se han registrado exposiciones más bajas y en las oficinas sin sistemas de ventilación y con las ventanas y puertas cerradas durante el invierno se han detectado concentraciones similares a las de las áreas altamente cargadas de la gastronomía. En los lugares especiales como las salas de control o las oficinas principales, las salas de descanso o las cabinas de conductores en el transporte profesional se han registrado cargas considerables durante períodos de tiempo limitados incluso una vez terminado el turno laboral. En el pasado se produjo seguramente también algo similar a estos casos en los compartimentos para fumadores de los trenes o en las zonas para fumadores de los aviones. La carga por humo de tabaco es ampliamente ignorada en las áreas al aire libre como son los puntos de restauración a la intemperie o las grandes naves industriales.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	11
1 Einleitung	13
2 Definition und Synonyme	15
2.1 Passivrauchen, Passivrauchen am Arbeitsplatz	15
2.2 Tabakrauch in der Raumluft	16
2.3 Glossar weiterer Begriffe	16
3 Chemische Zusammensetzung von Tabakrauchen	19
3.1 Gefahrstoffgehalt im Haupt- und Nebenstromrauch von Zigaretten	19
3.2 Alterung von Tabakrauch in der Raumluft	22
4 Luftüberwachung in Arbeitsbereichen mit Tabakrauchexposition	23
4.1 Nikotin als Maßstab bei der Bewertung der Tabakrauchbelastung	23
4.2 Verfahren zur Bestimmung von Nikotin in der Luft	23
4.3 Methoden zur getrennten Erfassung von partikelgebundenem und dampfförmigem Nikotin	26
4.4 Methoden zur Erfassung von dampfförmigem Nikotin	27
5 Exposition gegenüber Tabakrauch – Messergebnisse	29
5.1 Gastronomiebereiche	29
5.2 Sonstige Messungen	30
6 Das Rauchverhalten in Deutschland	31
6.1 Allgemeine Entwicklung des Rauchverhaltens	31
6.2 Das Rauchverhalten einzelner Berufsgruppen	31
6.3 Prävalenz der Passivrauchbelastung	33
7 Expositionsszenarien	35
7.1 Klassifizierung der Tätigkeiten	35
7.2 Klassifizierung des täglichen Zigarettenkonsums	35
7.3 Gastgewerbe	36
7.3.1 Gesetzliche Regelungen	40
7.3.2 Lüftungsvorgaben	40
7.4 Bürobereiche	42
7.5 Werkhallen	43
7.6 Außenbereich	43
7.7 Sonstige Arbeitsbereiche	44

8	Expositionsmodell für Tabakrauch in der Raumluft von Arbeitsbereichen	45
8.1	Problemstellung	45
8.2	Beschreibung der Modellgleichungen	45
8.3	Methodik der probabilistischen Modellierung	46
8.4	Das Repace-Lowrey-Modell	47
9	Grundlagen für Berechnungsbeispiele	49
9.1	Gastgewerbe	49
9.2	Arbeitsplätze ohne technische Lüftung und Büroarbeitsbereiche	49
9.3	Arbeitsbereiche mit technischer Lüftung	50
10	Expositionsberechnungen für Modellarbeitsbereiche	51
10.1	Nikotinbelastung in Diskotheken	51
10.1.1	Diskothek – Median	52
10.1.2	Diskothek – 75. Perzentil.....	52
10.2	Nikotinbelastung in Gaststätten ohne Speisen	53
10.2.1	Gaststätten – Median	53
10.2.2	Gaststätten – 75. Perzentil	53
10.3	Restaurants und Gaststätten mit Speisen	55
10.4	Büroarbeitsplätze (kleines Büro)	55
10.4.1	Winterszenario.....	56
10.4.2	Sommerszenario	56
10.5	Büroarbeitsplätze (mittelgroßes Büro)	57
10.5.1	Winterszenario	57
10.5.2	Sommerszenario	57
10.6	Gruppen-/Großraumbüro	58
10.6.1	Winterszenario	58
10.6.2	Sommerszenario	58
10.7	Messwarte/Meisterbüro	59
10.7.1	Winterszenario	60
10.7.2	Sommerszenario	60
10.8	Fahrerkabine/gewerblicher Transport	60
10.9	Pausenraum	61
10.9.1	Winterszenario	62
10.9.2	Sommerszenario	62
10.10	Werkhalle	63
10.11	Zusammenfassung der berechneten Ergebnisse.....	64

10.12	Zur Genauigkeit der Modellierungsergebnisse	65
11	Zusammenfassung	67
12	Literatur	69
Anhang 1:	Rauchquoten nach Berufsgruppen	75
Anhang 2:	Abkürzungsverzeichnis	85

Vorwort

Tabakrauch entsteht durch das Verbrennen bzw. Verglimmen von Tabak in Zigaretten, Zigarren, Zigarillos oder Pfeifen und stellt ein komplexes Gemisch aus mehr als 4 000 Verbindungen dar. Man unterscheidet zwischen dem Hauptstromrauch, den ein Raucher durch Ziehen an einer Zigarette inhaliert, und dem Nebenstromrauch, der beim Glimmen entsteht. Die Summe aus ausgeatmetem Hauptstromrauch und Nebenstromrauch in der Raumluft bezeichnet man als Tabakrauch in der Raumluft (Environmental Tobacco Smoke (ETS)).

Die Arbeitsstättenverordnung verpflichtet den Arbeitgeber, die erforderlichen Maßnahmen zu treffen, damit die nicht rauchenden Beschäftigten in Arbeitsstätten wirksam vor den Gesundheitsgefahren durch Tabakrauch geschützt sind. Somit kommt der Exposition durch „Passivrauchen“ am Arbeitsplatz eine erhebliche Bedeutung zu.

Eine eindeutige Abgrenzung der Begriffe „Rauchen“ und „Passivrauchen“ ist dabei sehr wichtig. Dies gilt für Forschung, für Präventionsansätze und für versicherungstechnische Fragestellungen.

Unter „Passivrauchen“ wird sprachlich „das (ungewollte) Einatmen von Tabakrauch durch einen Nichtraucher, der sich in Gesellschaft von Rauchenden befindet“ oder das „Einatmen von Tabakrauch, der durch Rauchen anderer Personen verursacht wird“ verstanden.

Mit dem Wort „passiv“ ([lat.] erleidend, untätig, nicht aktiv, dulddend) erfolgt eine deutliche sprachliche Unterscheidung zum „aktiven“ Rauchen. Auch bei den englischen Begriffen wie „passive smoking“ und „secondhand smoking“ kommt dies zum Ausdruck. Im Titel der IARC Monographs und der Berichte des U.S. Department of Health and Human Services (U.S. DHHS) wird der Begriff „involuntary smoking“ benutzt, um die Unfreiwilligkeit des „Passivrauchens“ zu betonen.

In den Thesen der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) zum Schutz vor Passivrauch am Arbeitsplatz ist der konsequente Schutz vor Tabakrauch in der Raumluft an allen Arbeitsplätzen festgeschrieben. Unabhängig von diesem Ziel wird aber für die wissenschaftliche Bewertung und eine sachliche sozialpolitische Diskussion eine möglichst genaue Kenntnis und Darstellung der aktuellen und zurückliegenden Tabakrauchexposition von großer Bedeutung sein. Der vorliegende Report stellt daher relevante Informationen zur Belastung durch Tabakrauchbestandteile an Arbeitsplätzen zusammen. Nicht behandelt werden hingegen Aspekte zu gesundheitlicher Wirkung und Risiko für Raucher und tabakrauchexponierte Personen.

Die konkreten Fragen, auf die dieser Report eingeht, beziehen sich auf die

- auftretenden Einzelstoffe,
- für die Messung und Beurteilung verwendeten Stoffe,
- Bewertung alter und neuer Messdaten,
- Beschreibung der angewendeten Messstrategie und
- Diskussion der Einflussparameter, die zur Beschreibung konkreter Arbeitsbereichssituationen notwendig sind.

Mit diesem Report wollen die Unfallversicherungsträger und die DGUV einen wissenschaftlichen Beitrag zur Beschreibung von Arbeitsbereichen unter Nutzung von Daten zur Tabak- und Passivrauchexposition leisten.

1 Einleitung

Der Themenkomplex des Passivrauchens ist in den letzten Jahrzehnten verstärkt in den Mittelpunkt wissenschaftlicher Diskussion gerückt. Die große Bedeutung einer einheitlichen Terminologie zeigt sich darin, dass selbst Schlüsselbegriffe nicht selten unscharf verwendet oder vereinzelt sogar unterschiedlich definiert werden.

Die Grundlagen für die wissenschaftliche Terminologie waren bereits in den 1980er-Jahren ausformuliert [1]:

- Tabakrauch in der Raumluft entsteht aus Nebenstromrauch (Seitenstromrauch) und ausgeatmeten Hauptstromrauch.
- Das komplexe Stoffgemisch unterliegt in der Raumluft Verdünnungs- und Alterungsprozessen.
- „Passivrauchen“ schließt definitionsgemäß ausschließlich nicht rauchende Personen ein und mögliche gesundheitliche Effekte werden ausschließlich auf Nichtraucher bezogen.

Bereits 1986 beschreibt der über 350 Seiten umfassende Bericht „The Health Consequences of Involuntary Smoking: A Report of the Surgeon General“ [1] des U.S. Department of Health and Human Services die zentralen Begriffe:

“This report represents a detailed review of the health effects resulting from non-smokers exposure to environmental tobacco smoke (ETS). ETS is the combination of smoke emitted from burning tobacco product between the puffs (sidestream) and the smoke exhaled by the smoker” ... “ETS is diluted into a larger volume of air and it ages prior to inhalation”. Non-smokers` exposure to environmental tobacco smoke is termed involuntary smoking. “The term involuntary smoking is used to note that such exposures often occur as an unavoidable consequence of being in close proximity to smokers, particularly in enclosed indoor environments. The term “passive smoking” is also used throughout the scientific literature to describe this exposure.”

Die umfassenden Berichte aus den folgenden Jahrzehnten wie die Veröffentlichungen der California Environmental Protection Agency EPA [2; 3], des U.S. Department of Health and Human Services“ [4], der International Agency for Research on Cancer (IARC) in Lyon [5] sowie aus deutscher Sicht der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der DFG [6] und des Ausschusses für Gefahrstoffe (AGS)“ [7] orientieren sich an dieser Terminologie.

2 Definition und Synonyme

2.1 Passivrauchen, Passivrauchen am Arbeitsplatz

Synonyme: passive smoking, involuntary smoking, secondhand smoking

Definitionen:

Passivrauchen ist die inhalative Aufnahme von Tabakrauch durch Nichtraucher (Definition der TRGS 905 [7] und weiterer Veröffentlichungen [8 bis 10]).

Passivrauchen am Arbeitsplatz ist die inhalative Aufnahme von Tabakrauch durch Nichtraucher, die im kausalen Zusammenhang mit der beruflichen Tätigkeit steht.

Hintergrund:

Eine eindeutige Unterscheidung der Begriffe „Passivrauchen“ und „(aktives) Rauchen“ ist für Forschung, Präventionsansätze sowie für versicherungstechnische Fragestellungen von erheblicher Relevanz. Der Raucher führt in der Regel z. B. durch Ziehen an einer Zigarette oder einer Zigarre die Aufnahme von Nikotin und damit von anderen Inhaltsstoffen in hohen Konzentrationen willkürlich herbei. Der Raucher setzt sich während der Züge und zwischen ihnen frischem, unverdünntem Haupt- und Nebenstromrauch der eigenen Zigarette und dem verdünnten Tabakrauch in der Raumluft aus. Der wichtigste Präventionsansatz beim Raucher ist die Raucherentwöhnung, während beim Passivrauchen der Nichtraucherschutz im Vordergrund steht.

Eine klare sprachliche Abgrenzung der beiden Begriffe fand bereits in den 1980er-Jahren mit der englischsprachigen Wortwahl („passive smoking“, „secondhand smoking“) und im Deutschen mit passiv ([lat.] erleidend, untätig, nicht aktiv, dulgend [8; 9]) ihren Ausdruck. Der englische Begriff „involuntary smoking“ wird häufig benutzt, um die Unfreiwilligkeit des „Passivrauchens“ zu betonen [1; 4; 5]. Deutsche Sprachlexika bezeichnen Passivrauchen als *„das (ungewollte) Einatmen von Tabakrauch durch einen Nichtraucher, der sich in Gesellschaft von Rauchenden befindet“* [8; 9].

Abweichend von dieser Definition wurde vereinzelt auch die Inhalation von Nebenstromrauch durch Raucher als Passivrauchen bezeichnet [11] und diese Begriffsbestimmung für epidemiologische Berechnungen verwendet [8; 12; 13].

In Übereinstimmung mit der TRGS 905 [7] und weiteren deutschsprachigen Veröffentlichungen [8 bis 10] schließt die in diesem Report verwendete Definition von „Passivrauchen“ ausschließlich Nichtraucher ein.

Auch mögliche gesundheitliche Auswirkungen von „Passivrauchen“ werden ausschließlich auf Nichtraucher [1; 2; 4; 5; 7; 10; 14] bzw. Nichtraucher [15] bezogen, wobei der englischsprachige Begriff „non-smoker“ in diesem Zusammenhang zum Teil auch im Sinne von „never-smoker“ verwendet wird [3].

2.2 Tabakrauch in der Raumluft

Synonyme: Environmental Tobacco Smoke (ETS), secondhand smoke (SHS),

Der sprachlich problematische Begriff „Passivrauch“

Der Ausdruck „Passivrauch“ findet in deutschen Sprach- und Fachlexika [8; 9; 16; 17] und in diesem Report aus inhaltlichen und sprachlichen Gründen keine Verwendung.

Begründung: Der Ausdruck ist problematisch, da er mit dem Wortteil „passiv“ eine personenbezogene Komponente besitzt. Auch im Englischen gilt „passive smoke“ als sprachwidrig und wird nicht benutzt. Zusätzlich ist die Konnotation des Ausdrucks irreführend, da suggeriert wird, dass ein Raucher, der zwischen den Zügen Passivrauch einatmet, zum Passivraucher wird.

Beschreibung und Hintergrund

Als Übersetzung von „Environmental Tobacco Smoke (ETS)“ hat sich im Deutschen bisher nicht „Tabakrauch in der Umgebungsluft“, sondern „Tabakrauch in der Raumluft“ eingebürgert, da relevante (berufliche) Expositionen von Nichtrauchern in der Regel in geschlossenen und halbgeschlossenen Räumen stattfinden. Der Bericht „IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 83, Tobacco Smoke and Involuntary Smoking“ beschreibt ETS folgendermaßen [5]:

“Secondhand smoke is composed of aged exhaled mainstream smoke and diluted sidestream smoke ... secondhand smoke is actually a complex mixture, containing many compounds for which concentrations can vary with time and environmental conditions.”

Tabakrauch in der Raumluft (Environmental Tobacco Smoke, ETS) entsteht durch das Verbrennen bzw. Verglimmen von Tabak als Hauptstromrauch, den der Raucher nach dem Ziehen an der Zigarette wieder ausatmet, sowie als verdünnter Nebenstromrauch (Seitenstromrauch), der beim Glimmen einer Zigarette oder einer Zigarre zwischen den Zügen freigesetzt wird, und Verdünnungs- und Alterungsprozessen unterliegt. Das komplexe Stoffgemisch besteht aus einer Vielzahl von Inhaltsstoffen, deren Konzentrationen durch zeitliche und räumliche Faktoren stark schwanken können (vgl. Kapitel 3).

Die Mehrheit der Raucher in Deutschland (95,9 %) geben Zigaretten als hauptsächlich konsumierte Tabakware an [18], sodass der Rauch von Pfeifentabak, Zigarren und Zigarillos in der Regel als untergeordnete ETS-Expositionsquellen angesehen werden.

Irreführend ist die vereinzelt erfolgte Gleichsetzung [11; 12; 15] von „Nebenstromrauch“ und „Tabakrauch in der Raumluft“, da hierbei Verdünnungs- und Alterungsprozesse sowie Hauptstromrauchanteile unberücksichtigt bleiben.

2.3 Glossar weiterer Begriffe

Hauptstromrauch (HSR)

Hauptstromrauch entsteht beim „Ziehen“ an der Zigarette (Zigarre, Pfeife, Zigarillo).

Hauptstromrauch, exhaliertes

Der Hauptstromrauch, den der Raucher nach Inhalation wieder ausatmet.

Nebenstromrauch (NSR)

Synonym: Seitenstromrauch

Nebenstromrauch entsteht beim Glimmen der Zigarette (Zigarre, Pfeife, Zigarillo) zwischen den Zügen.

Raucher (smoker)

Person, die derzeit gelegentlich oder regelmäßig raucht

Regelmäßiger Raucher

Raucher mit regelmäßigem (meist täglichem) Zigarettenkonsum

Bemerkung: in der Regel definiert über einen durchschnittlichen Konsum von mindestens einer Zigarette täglich und mehr (vgl. auch Abschnitt 7.2)

Gelegenheitsraucher

Raucher mit gelegentlichem, nicht täglichem Zigarettenkonsum

Bemerkung: in der Regel definiert über einen durchschnittlichen Konsum von weniger als eine Zigarette täglich

Nichtraucher (non-smoker)

Eine Person, die derzeit kein Raucher ist

Bemerkung: Unter Nichtraucher werden in der Regel sowohl Exraucher als auch Nieraucher verstanden, wobei der englischsprachige Begriff „non-smoker“ im Zusammenhang mit den gesundheitlichen Auswirkungen von „Passivrauchen“ zum Teil auch enger im Sinne von „never-smoker“ (Nieraucher) verwendet wird.

Nieraucher (never-smoker)

Ein Nichtraucher, der nie geraucht hat

Bemerkung: Zum Teil definiert über maximal 100 Zigaretten pro Lebenszeit [10]

Exraucher (ex-smoker)

ehemaliger Raucher

Bemerkung: In der Literatur wird die Dauer der Abstinenz nicht einheitlich definiert.

3 Chemische Zusammensetzung von Tabakrauchen

Tabakrauch entsteht durch das Verbrennen bzw. Verglimmen von Tabak in Zigaretten, Zigarren, Zigarillos oder Pfeifen und ist ein komplexes Gemisch aus mehr als 4 000 bisher nachgewiesenen Verbindungen. Tabakrauch in der Raumluft stellt die Summe aus ausgeatmetem Hauptstromrauch und Nebenstromrauch dar. Qualitativ ist die chemische Zusammensetzung des Nebenstromrauches derjenigen des Hauptstromrauches ähnlich.

Haupt- und Nebenstromrauch bestehen aus komplexen Gemischen von Partikeln und flüchtigen Substanzen. Aufgrund der unterschiedlichen Verbrennungsarten des Tabaks differiert das Verhältnis der einzelnen freigesetzten Verbindungen jedoch deutlich:

- Beim Nebenstromrauch findet, eher unter Sauerstoffmangel, ein Glimmen bei ca. 400 bis 800 °C statt,
- demgegenüber findet beim Hauptstromrauch ein durch den Zug geförderter sauerstoffreicher Verbrennungsprozess bei über 900 °C statt.

Die Hauptverbrennungsprodukte Kohlendioxid und Kohlenmonoxid werden in der mit ausreichend Luftsauerstoff versorgten „Hochtemperaturzone“ ($T > 500\text{ °C}$) gebildet, während die typischen Tabakrauchkomponenten durch Pyrolyse/Destillationsprozesse in den sauerstoffarmen Regionen der Zigarette bei Temperaturen $< 500\text{ °C}$ entstehen. Beispielweise entsteht Cyanwasserstoff als Zersetzungsprodukt von Nitraten und Aminosäuren vornehmlich im Hauptstromrauch, während Ammoniak überwiegend durch Reduktion von Nitraten und Pyrolyse von Glycin im Nebenstromrauch gebildet wird.

Auch der mittlere Partikeldurchmesser unterscheidet sich leicht, so liegt er für den Hauptstromrauch bei $0,18\text{ }\mu\text{m}$, im Nebenstromrauch bei $0,12\text{ }\mu\text{m}$. Diese Werte sind Ergebnisse von *Okada et al.* [19], der die Größenverteilung von Tabakrauch mithilfe optischer Messverfahren (Lichtstreuung) Mitte der 1970er-Jahre untersuchte. 2005 hat *Afshari* [20] verschiedene Quellen feiner und ultrafeiner Partikel im Innenraum im Prüfkammerverfahren verglichen. Dabei kamen sowohl ein optisches Messverfahren, das den Bereich der Partikeldurchmesser von $0,3$ bis $1\text{ }\mu\text{m}$ charakterisierte, als auch ein Kondensationskernzähler, der alle Partikel von $0,02$ bis $>1\text{ }\mu\text{m}$ erfasst, zum Einsatz. Alle bisherigen Versuche zeigen, dass Tabakrauch nach seiner Partikelgröße dem Feinstaub zuzuschreiben ist.

Im Handbuch der American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASRAE) [21] 1997 das Sedimentationsverhalten von Partikeln in der Luft in drei Klassen eingeteilt: Partikel im Größenbereich von 1 bis $10\text{ }\mu\text{m}$ sedimentieren mit einer konstanten durch Gravitation bedingten Geschwindigkeit, Partikel im Größenbereich von $0,1$ bis $1\text{ }\mu\text{m}$ zeigen sehr geringe Sedimentationsgeschwindigkeiten, während sich Partikel unterhalb von $0,1\text{ }\mu\text{m}$ gasähnlich verhalten und nicht sedimentieren. Beim Tabakrauch kommt hinzu, dass feine bzw. ultrafeine Partikel des Zigarettenrauches mit der Zeit zu größeren Partikeln agglomerieren bzw. an Oberflächen adsorbieren oder durch Kondensationsprozesse dampfförmiger ETS-Bestandteile anwachsen.

3.1 Gefahrstoffgehalt im Haupt- und Nebenstromrauch von Zigaretten

In der internationalen Literatur findet sich eine große Anzahl von Arbeiten, in denen – unter Verwendung von Zigarettenabrauchautomaten – der Gefahrstoffgehalt im Haupt- und teilweise auch Nebenstromrauch von Zigaretten untersucht wurde. Zum Einsatz solcher Maschinen existieren hinsichtlich Zugvolumen, Zeitintervallen zwischen zwei Zügen, Zugdauer etc. unterschiedliche Normen und Protokolle (ISO 3308 [22], Health Canada/Intense Conditions [23], Federal Trade Commission (FTC), Massachusetts Smoking Conditions, etc.),

die sich auf das Messergebnis auswirken. Eine aktuelle Zusammenstellung entsprechender Studien findet sich bei *Rodgman* und *Perfetti* [24]. Nachfolgend wird näher auf die Massachusetts Benchmark Study eingegangen [25]. In dieser vergleichsweise aktuellen Studie wurden 1999 insgesamt 26 auf dem US-amerikanischen Markt verfügbare Zigaretten-sorten von vier Zigarettenherstellern, darunter zwei filterlose Sorten sowie fünf Mentholziga-retten, nach definiertem Protokoll auf unterschiedliche Substanzen im Hauptstromrauch untersucht. Diese Zigaretten-sorten wiesen nach Packungsangabe einen Teergehalt zwi-schen 1 und 26 mg pro Zigarette (FTC conditions) auf und repräsentierten mehr als 33 % der in den USA im Jahr 1997 verkauften Zigarettenmenge [25]. Die Nikotingehalte, die unter gleichen Bedingungen (FTC) ermittelt wurden, lagen zwischen 0,1 und 1,7 mg pro Zigarette. Elf Filterzigaretten sowie eine filterlose Zigarette wurden in der Studie zudem auf ihren Nebenstromrauchgehalt untersucht. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Massachusetts Benchmark Study für die von der IARC als Humankanzerogene (K1) eingestufteten Tabak-rauchbestandteile von Filterzigaretten mit Ausnahme des o-Toluidins sowie für die Leitkom-ponenten Nikotin und Acrylnitril dargestellt.

Tabelle 1:
Hauptstrom- (HSR) und Nebenstromrauchgehalte (NSR) von elf Filterzigaretten;
eigene Auswertung der Daten von *Borgerding* et al. [25]

Stoff	Einheit	HSR		NSR		Verhältnis NSR/HSR		
		Median	95 %	Median	95 %	Mediane	Min	Max
Nikotin*	mg/Zig	1,7	2,4	3,6	5,1	2,0	1,5	6,5
Teer (Kondensat)*	mg/Zig	24,1	34,5	23,0	31,9	0,9	0,7	3,6
2-Naphthylamin	ng/Zig	15,3	20,0	131,3	170,7	8,3	6,1	23,5
4-Aminobiphenyl	ng/Zig	4,3	5,7	24,3	30,8	5,7	4,2	13,8
Benzo[a]pyren	ng/Zig	21,3	30,8	73,9	91,5	3,3	1,9	12,2
Cadmium	ng/Zig	119,6	161,8	182,0	255,0	1,3	1,1	6,2
Arsen	ng/Zig	10,3	15,7	15,6	24,0	1,6	0,6	3,2
N-Nitrosonornicotin	ng/Zig	183,1	299,6	91,3	111,0	0,5	0,3	1,0
NNK	ng/Zig	146,0	196,3	63,2	84,9	0,4	0,3	1,3
Formaldehyd ⁹	µg/Zig	46,7	90,7	725,8	921,2	14,3	5,4	54,3
1,3-Butadien ⁹	µg/Zig	74,2	104,7	108,1	128,3	1,5	0,9	5,0
Acrylnitril ⁹	µg/Zig	23,1	38,4	29,9	42,3	1,3	0,7	5,0
Benzol ⁹	µg/Zig	75,9	95,4	93,1	125,3	1,1	0,9	3,5
Toluol ⁹	µg/Zig	124,2	154,9	177,2	232,9	1,4	1,1	3,4
Styrol ⁹	µg/Zig	11,5	16,6	33,0	43,5	2,8	1,9	9,4

* In der Europäischen Union wurde 2001 die Richtlinie 2001/37/EG veröffentlicht, die den Mitgliedstaaten auferlegt, dass ab dem 1. April 2004 nur noch Zigaretten mit einem Teergehalt von weniger als 10 mg/Zigarette und einem Nikotingehalt von weniger als 1 mg/Zigarette in Verkehr gebracht werden dürfen [26].

^{9a} Stoff tritt gasförmig auf, die restlichen partikelgebunden.

NNK: 4-(Methylnitrosamino)-1-(3-pyridyl)-1-butanon

Zur Untersuchung des Haupt- und Nebenstromrauches wurden jeweils mindestens fünf Zigaretten analysiert. In der Studie wurden Zigaretten auch auf die Metallgehalte an Chrom und Nickel untersucht. Allerdings fanden sich diese Metalle weder im Haupt- noch im Nebenstromrauch. Die Nachweisgrenze für Chrom lag bei 3 ng pro Zigarette und für Nickel bei 8,4 ng pro Zigarette. Die Messergebnisse für die zwei untersuchten filterlosen Zigaretten unterscheiden sich nicht von denen der Filterzigaretten. Gleiches gilt für den Vergleich zwischen mentholhaltigen und herkömmlichen Zigaretten.

In der Massachusetts Benchmark Study wurde deutlich, dass für die Hauptstromrauchgehalte teils enge Korrelationen der Messparameter untereinander bestanden. So ist es in guter Näherung möglich, anhand der Leitkomponenten Nikotin und Teer Hauptstromrauchgehalte für einen Großteil der restlichen Messparameter vorherzusagen. Dies gilt allerdings nicht für die Nebenstromrauchgehalte. Ein (statistischer) Zusammenhang zwischen den Nebenstromrauchgehalten und der Art der Zigarette bzw. ihrem Nikotin- oder Teergehalt im Hauptstromrauch (Ultralight, Light, Regulär, Filterart) bestand nicht. Diese Beobachtung wird durch eine weitere Untersuchung [23] gestützt. Darin wurden vier Zigarettenarten (full flavour, light, extra light und ultra light) auf den freigesetzten Nebenstromrauchgehalt verschiedener Kanzerogene mittels unterschiedlicher Abrauchnormen [22; 23] untersucht. Dabei zeigten sich lediglich geringe Unterschiede in den Nebenstromrauchgehalten der unterschiedlichen Zigarettenarten innerhalb der gleichen Messmethode, während sich größere Unterschiede je nach angewandter Norm zeigten. In der Regel lagen die nach dem Health Canada Protokoll ermittelten Nebenstromrauchgehalte deutlich unterhalb der nach ISO-Norm gemessenen Werte.

Das ebenfalls als humankanzerogen eingestufte aromatische Amin o-Toluidin (DFG seit 2006; IARC seit 2009) war nicht Analysenparameter der Massachusetts Benchmark Study. Es ist jedoch ebenfalls integraler Bestandteil des Tabakrauches, wie Messungen unterschiedlicher Autoren belegen, die für den Hauptstromrauch Gehalte von 6 bis 200 ng/Zigarette und für den Nebenstromrauch Gehalte von 2 000 bis 3 200 ng/Zigarette angeben [27 bis 32].

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass offensichtlich nur geringe Unterschiede zwischen filterlosen Zigaretten, herkömmlichen Filterzigaretten, Light-, Ultralight- oder Mentholzigaretten in den pro Zigarette freigesetzten Nebenstromrauch-Bestandteilen bestehen. Da sich Raumluftbelastungen mit Tabakrauchbestandteilen zu deutlich überwiegendem Anteil aus dem aus Zigaretten freigesetzten Nebenstromrauch zusammensetzen, dürften somit entsprechende Luftkonzentrationen kaum von der Art der gerauchten Zigaretten abhängen. Gleichzeitig muss auch fraglich bleiben, ob zu früheren Zeiten übliche Zigaretten mit deutlich höherem Nikotin- und Teergehalt (im Hauptstromrauch) auch größere Mengen an Gefahrstoffen in die Raumluft abgaben als aktuell am Markt erhältliche Zigaretten. So wurden innerhalb der Europäischen Union der Teergehalt und damit auch der Nikotingehalt der in den Verkehr gebrachten Zigaretten sukzessive abgesenkt. Waren bis Jahresende 1992 noch 15 mg Teergehalt erlaubt [33], sank diese Höchstgrenze ab dem 31. Dezember 1997 auf 12 mg und zum 1. April 2004 auf 10 mg.

Darüber hinaus zeigen die oben erwähnten Untersuchungen die deutliche Abhängigkeit der Messergebnisse von der jeweils angewandten Norm für die Zigarettenabrauchautomaten, so dass eine Abschätzung von Raumluftkonzentrationen anhand entsprechend gewonnener Nebenstromrauch-Messwerte allenfalls semiquantitativ möglich sein könnte.

Über den Anteil des ausgeatmeten Hauptstromrauches am Tabakrauch liegen Prüfkammeruntersuchungen von *Baker* und *Proctor* [34] vor. Drei Personen hatten in einer Prüfkammer jeweils eine Zigarette geraucht. Kohlenmonoxid, Nikotin und Partikelkonzentrationen in der Luft wurden bestimmt und mit den Konzentrationen von Tabakrauch verglichen, der mit einer Rauchmaschine in dieser Prüfkammer erzeugt wurde. Der Unterschied lag darin, dass die

Abrauchmaschine keinen Rauch ausatmet und der Hauptstromrauch aus der Kammer geleitet wurde. Die Differenz der ermittelten Konzentrationen bildete somit den Anteil des ausgeatmeten Hauptstromrauches.

Anhand von Tabelle 2 wird deutlich, dass der Anteil des ausgeatmeten Hauptstromrauches am ETS bei den Partikeln am höchsten ausfällt, während er je nach Zigarettenart beim Nikotin < 10 % beträgt.

Tabelle 2:
Anteile des ausgeatmeten Hauptstromrauches am ETS [34]

Zigarettentyp	Anteil des ausgeatmeten Hauptstromrauches in % am ETS		
	Kohlenmonoxid	Partikel	Nikotin
Heißluftgetrockneter Virginiatabak	11	43	7
US-blended	13	15	9
Filterzigarette	3	20	1

3.2 Alterung von Tabakrauch in der Raumluft

Ein weiterer Aspekt des Tabakrauches ist die Tatsache, dass er nach dem Verlassen der Zigarette verdünnt wird und altert. Der Alterungsprozess geht mit bedeutenden physikalischen und chemischen Änderungen im Rauch einher. Die wesentlichen Änderungen sind die relativ rasche Verdampfung auch hoch siedender Verbindungen in der ersten Stunde, danach verändert sich der mittlere Partikeldurchmesser durch Koagulation von kleinen Partikeln bzw. durch Adsorption von kleinen Partikeln an Oberflächen.

Auch der Konzentrationsabfall einzelner ETS-Komponenten innerhalb weniger Stunden wurde mithilfe der Prüfkammerversuche von *Baker* und *Proctor* [34] unter definierten Bedingungen untersucht und diskutiert. Bei diesen Versuchen wurden die Halbwertszeiten einzelner ETS-Komponenten in Abhängigkeit von der Luftwechselrate miteinander verglichen (Abbildung 1).

Bei Aerosolen werden Abscheidungen an Oberflächen als Grund für geringere Halbwertszeitänderungen gegenüber Gasen angenommen. Bei Nikotin spielt die Adsorption an Oberflächen eine bedeutende Rolle. Dies wird auch bei den später noch genauer erläuterten Modellrechnungen von *Repace* und *Lowrey* [35] berücksichtigt, dass bei der Berechnung der Nikotinkonzentration die Luftwechselrate mit einem Faktor (> 1) multipliziert wird, der die Adsorption des Nikotins abbildet.

Durch verfeinerte optische Messverfahren und mithilfe von Kondensationskernzählern lassen sich zeitliche Verläufe ultrafeiner (< 0,1 µm) und feiner Partikel (Feinstaub) mittlerweile gut abbilden. *Afshari* hat auf diese Weise Zigarettenrauch in einer Prüfkammer untersucht und konnte zeitliche Verläufe der Partikelanzahlen in Abhängigkeit von der Partikelgröße darstellen.

Abbildung 2 verdeutlicht, dass mit dem verwendeten Kondensationskernzähler (CPC) ultrafeine Partikelkonzentrationen bis zu 250 000 Partikel/cm³ gemessen werden können. Sowohl die ultrafeinen Partikel < 0,1 µm als auch Partikel > 1 µm sind in ihrem zeitlichen Konzentrationsverlauf nahezu identisch. Im Unterschied zu anderen Quellen ultrafeiner Partikel entstehen bei diesem Versuch erst nach einer zeitlichen Verzögerung Partikel in der Fraktion

0,4 bis 0,6 μm . Dies wird als Koagulation ultrafeiner Partikel bzw. durch Kondensationsprozesse gedeutet.

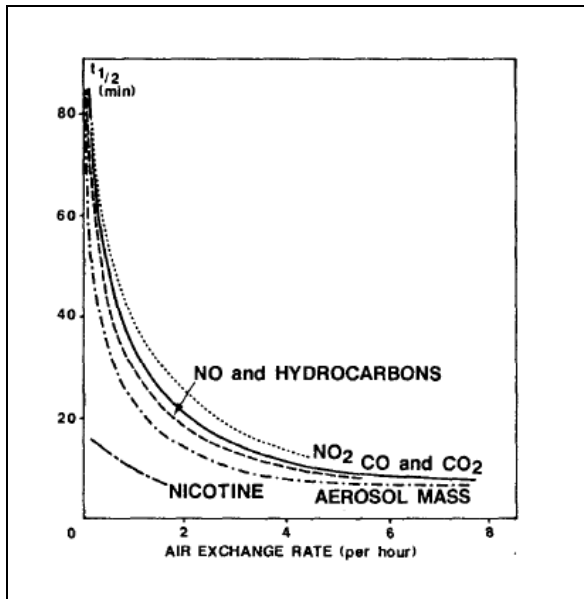
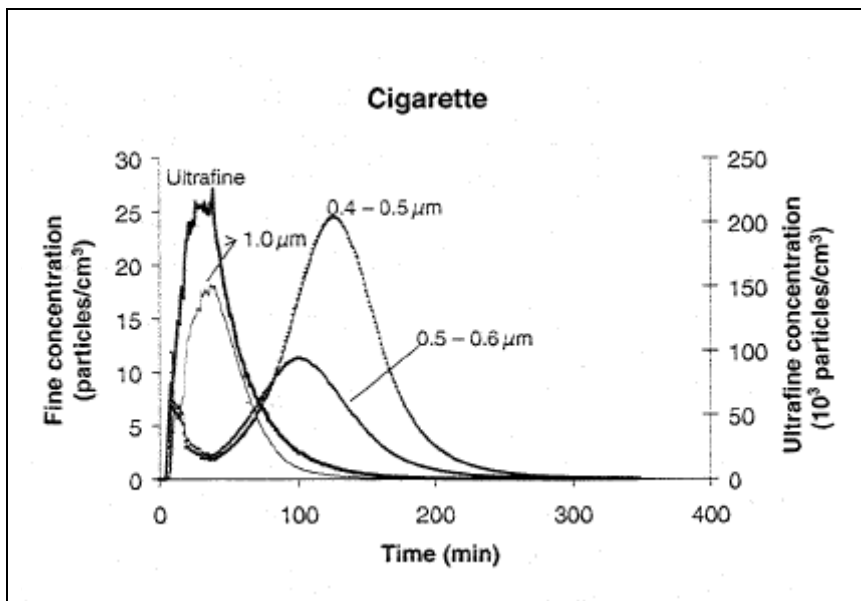


Abbildung 1:
Veränderung der Halbwertszeiten
ausgewählter Bestandteile nach Baker [34]

Abbildung 2:
Zeitliche Veränderung der Partikelkonzentration von Tabakrauch
in der Raumluft nach Afshari [20]



Bei der Diskussion um das Mengenverhältnis einzelner ETS-Komponenten im Haupt-/bzw. Nebenstromrauch darf nicht außer Acht gelassen werden, dass eine wichtige Frage für die gesundheitliche Belastung von Nichtrauchern darin besteht, in welcher Konzentration einzelne Komponenten in der Umgebungsluft dieser Personen vorliegen. Da Tabakrauch aus einem komplexen Gemisch zahlreicher Verbindungen besteht, muss sich die Bewertung der Exposition auf ausgewählte Substanzen reduzieren, die einerseits tabakspezifisch sind und sich andererseits von Umgebungseinflüssen, wie Verkehr, Küchendünste oder Heizöfen, deutlich unterscheiden lassen. In den meisten Studien wurden Feinstaub oder RSP (respirable suspended particles) und Nikotin als Maß für eine Exposition von Tabakrauch herangezogen. Die Partikelgrößen von RSP entsprechen der im Arbeitsschutz üblichen

alveolengängigen Fraktion. Nikotin gilt als die tabakspezifische Verbindung, ist allerdings in seinem Wirkpotenzial als nicht krebserzeugend eingestuft. Feinstaub (RSP) wird hingegen durch Fremdquellen wie Heizbrand, Verkehr oder industrielle Emissionen beeinflusst, die je nach Konzentrationsbereich eine deutliche Störquelle darstellen können.

Als weitere tabakspezifische Komponenten gelten 3-Vinylpyridin und Solanesol, für die allerdings Expositionsdaten nicht im selben Umfang vorliegen wie für Nikotin. Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass auch Acrylnitril als Leitkomponente für die Exposition gegenüber Tabakrauch herangezogen werden kann [36].

4 Luftüberwachung in Arbeitsbereichen mit Tabakrauchexposition

4.1 Nikotin als Maßstab bei der Bewertung der Tabakrauchbelastung

Bei komplexen Substanzgemischen ist es meist nicht möglich, alle enthaltenen Komponenten mit vertretbarem Aufwand zu erfassen und deren Einzelgehalte zu bestimmen. In solchen Fällen werden Substanzen ausgewählt, die charakteristische Bestandteile des Gemisches sind und deren Gehalt in einer direkten Beziehung zur Emission des Gemisches steht. Es ist nicht notwendig, dass diese Substanz diejenige mit dem größten Gefährdungspotenzial ist. Im Vordergrund steht, dass sie möglichst repräsentativ, gut erfassbar und nachweisbar sein sollte.

Tabakrauch ist aufgrund der komplexen Zusammensetzung ein solches Gemisch. Um die Exposition gegenüber Tabakrauch ermitteln zu können, ist es daher notwendig, aus der Vielzahl der Komponenten eine Substanz oder mehrere als Marker auszuwählen, deren Konzentration im Rauch bestimmt wird.

Die Eignung von Nikotin als Marker für die Tabakrauchbelastung hat *Hammond* [37] sehr klar aufgezeigt. Nikotin ist, obwohl es einem natürlichen Abbau unterliegt, ein guter Marker, da seine Konzentration z. B. direkt mit der Anzahl der gerauchten Zigaretten korreliert. Des Weiteren gibt es für Nikotin in der Raumluft keine weiteren Emissionsquellen außer Tabakprodukten. Feinstaub, der ebenfalls beim Rauchen freigesetzt wird, kann auch aus anderen Quellen stammen, zum Beispiel aus Kaminen oder Kfz-Abgasen. Bei der Bewertung der Tabakrauchbelastung aufgrund der Bestimmung der Feinstaubgehaltes muss daher immer die Hintergrundbelastung durch andere Quellen festgestellt werden, was für Nikotin nicht notwendig ist.

Aufgrund seiner chemisch-physikalischen Eigenschaften (Schwerflüchtigkeit bzw. Adsorption an Oberflächen) sollte eine enge Korrelation zu anderen schwer flüchtigen Stoffen oder Partikeln bestehen. Interessant ist vor allem die Korrelation von Nikotin im Tabakrauch zu den krebserzeugenden Inhaltsstoffen. Zu diesen zählen vor allem polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, aromatische Amine und tabakspezifische Nitrosamine [38]. *Hüner* et al. konnten in ihren Untersuchungen 2007 eine enge Korrelation von Nikotin zur Summe der Toluidine feststellen ($R = 0,93$). Im Rahmen einer aktuellen Studie der Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe (BGN) ließen sich etwas schwächere Korrelationen für Benzo[a]pyren ($R = 0,55$) und tabakspezifische Nitrosamine ($R = 0,74$) nachweisen [39]. Auch zu leichter flüchtigen Substanzen wurden enge Korrelationen nachgewiesen. *Breuer* et al. fanden diese zu dem K2-Stoff Acrylnitril ($R = 0,91$) [36] und *Bolte* et al. zu Formaldehyd ($R = 0,91$) [40].

4.2 Verfahren zur Bestimmung von Nikotin in der Luft

Eine Arbeitsplatzmessmethode für Nikotin im deutschsprachigen Raum ist seit 1970 in den Analytischen Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der DFG publiziert [41]. Hierbei wird Nikotin in der Luft nach Absorption in einer mit butanolhaltiger Schwefelsäure gefüllten Waschflasche bestimmt. Nach Umsetzung mit verschiedenen Reagenzien bildet sich ein farbiger Komplex mit einem Absorptionsmaximum bei 505 nm aus, der anhand von externen Kalibrierkurven den Nikotingehalt der Luft abbildet.

Bis Mitte der 1990er-Jahre lag ein von der US-amerikanischen Arbeitsschutzbehörde National Institute für Occupational Safety and Health (NIOSH) entwickeltes Messverfahren

zur Bestimmung von Nikotin in der Luft an Arbeitsplätzen vor (NMAM 2544, 1994) [42]. Diese Methode basiert auf aktiver Probenahme mit dem Adsorbens XAD-2, das mit Ethylacetat desorbiert wird. Mittels gepackter Säule wird Nikotin getrennt und mit der Methode des Internen Standards (Chinolin) durch Gaschromatographie mit stickstoffselektivem Detektor quantifiziert. Dieses Verfahren war vor allem für den Einsatz von Nikotin als Schädlingsbekämpfungsmittel mit den dort geltenden Arbeitsplatzgrenzwerten [43] konzipiert und erprobt worden.

Im Tabakrauch findet man Nikotin sowohl in der Gasphase als auch partikelgebunden. Die auftretenden Konzentrationen liegen weit unterhalb des Arbeitsplatzgrenzwertes, daher mussten neue Bestimmungsmethoden entwickelt werden. Dabei ist zwischen Verfahren zu unterscheiden, die sowohl partikelgebundenes als auch in der Gasphase befindliches Nikotin abscheiden (siehe Abschnitt 4.3), und solchen, die nur aus der Gasphase heraus adsorbieren (siehe Abschnitt 4.4).

4.3 Methoden zur getrennten Erfassung von partikelgebundenem und dampfförmigem Nikotin

Eine für die damalige Zeit bedeutende Nikotinmessmethode wurde von *Hammond* et al. [44] entwickelt und 1987 publiziert. In dieser Arbeit wird die gleichzeitige Probenahme von dampfförmigem Nikotin und Feinstaub (respirable suspended particles, RSP) beschrieben und validiert.

Das Verfahren sah vor, Nikotin auf zwei hintereinander geschalteten teflonbeschichteten Glasfaserfiltern zu sammeln. Zunächst wird auf einem nicht imprägnierten Filter Nikotin in partikelgebundener Form als RSP, danach auf dem zweiten mit Natriumhydrogensulfat (NaHSO_4) getränkten Filter dampfförmiges Nikotin abgeschieden, bei einem Volumenstrom von 3 l/min. Diese Methode wurde nach der Laborentwicklung in einer 34 m³ großen Prüfkammer und anschließend an verschiedenen Arbeitsplätzen als personengetragene Messmethode getestet. Bei diesen Versuchen mit frischem Tabakrauch wurde überwiegend dampfförmiges Nikotin auf dem zweiten Filter gefunden.

Eine an der Harvard University Boston, Massachusetts, entwickelte Methode verwendet einen mit Citronensäure imprägnierten Filter bei einem Volumenstrom von 2 l/min [45].

An der Brigham Young University in Provo (Utah) wurde das Filtersystem so modifiziert, dass zwei mit Benzolsulfonsäure imprägnierte Filter hinter dem nicht imprägnierten Teflonfilter angebracht wurden [45]. Die Probenahme erfolgte mit einem Volumenstrom von 5 l/min.

Die beiden letztgenannten Institute entwickelten auch Denudersysteme. Hier basiert das Messprinzip auf einer Abscheidung des in der Gasphase vorliegenden Nikotins an einer mit Säure imprägnierten Oberfläche und anschließender Sammlung des partikelgebundenen Nikotins auf einem bereits oben beschriebenen Filtersystem [45]. Die Probenahmen erfolgen bei 20 l/min bzw. 2 l/min.

Bei der Extraktion der Filter- und Denudersysteme werden wässrige Lösungen gewonnen, die mit Natriumhydroxidlösungen alkalisch gestellt werden. Anschließend wird mit organischen Lösungsmitteln, z. B. Dichlormethan oder Heptan, extrahiert, die gaschromatographisch unter Verwendung von stickstoffselektiven oder Flammenionisationsdetektoren analysiert werden.

Bei dem von *Tang* et al. [46] entwickelten Verfahren erfolgt die Probenahme über zwei hintereinander geschaltete Probenträger, wobei der erste zur Sammlung des partikelgebundenen Nikotins mit silanisierter Glaswolle gefüllt ist, während sich im zweiten Tenax als Adsorbens befindet. Mit einer Pumpe wird hier ein Volumenstrom von 0,1 l/min angesaugt. Beide Probenträger werden thermisch desorbiert und die Analyse erfolgt mittels GC/NPD.

4.4 Methoden zur Erfassung von dampfförmigem Nikotin

Bei der Entwicklung von Passivsammlern zur Bestimmung von Nikotin aus der Gasphase übernahmen *Hammond* et al. und die Arbeitsgruppe an der Brigham Young University die mit Natriumhydrogensulfat bzw. Benzolsulfonsäure imprägnierten Filter aus den bereits oben erwähnten Filtersystemen. Auch die Aufarbeitung der Proben entspricht der obigen Vorgehensweise.

Im Labor der Fa. R. J. Reynolds Tobacco Company, Winston-Salem, North Carolina, [45] wurde ein Passivsammler entwickelt, der anstelle eines Filters eine Adsorptionsschicht von 600 mg XAD-4-Harz verwendet. Hier erfolgt die Extraktion mit Ethylacetat unter Zusatz von 0,01 % Triethylamin. Die Analyse wird mit einem GC/NPD-System unter Verwendung von Chinolin als Internem Standard durchgeführt. Passivsammler wurden auch von *Hammond* et al. und an der Brigham Young University entwickelt.

Aktive Probenahmesysteme zur Bestimmung des in der Gasphase vorliegenden Nikotins unter Verwendung von XAD-4-Harz entwickelten das NIOSH [47], die American Society for Testing and Materials (ASTM) [48], der Fa. R. J. Reynolds Tobacco Company [45] und das IFA [49]. Hierbei wird ohne Vorfilter die Probeluft mit jeweils 1 l/min direkt über das Probenträgermaterial geleitet. Die Extraktion erfolgt mittels Ethylacetat, dem entweder Triethylamin (0,01 %, v/v) oder Methanol (10 %, v/v) zugesetzt sind. Die Analyse wird jeweils unter Verwendung von Chinolin als Internem Standard mit einem GC/NPD-System durchgeführt.

Die Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe (BGN) [50] hat ein Verfahren ausgearbeitet unter Verwendung von Aktivkohle als Adsorbens und einem Volumenstrom von 0,5 l/min. Das Adsorbens wird mit einer Desorptionslösung aus Dichlormethan (60 %, v/v), Schwefelkohlenstoff (35 %, v/v), und Methanol (5 %, v/v) extrahiert. Der Nikotingehalt wird mittels GC/MS bestimmt, wobei als Interner Standard n-Undecan und N,N-Diethylnikotinsäureamid genutzt werden.

Bolte et al. [40] verwendeten bei der Bestimmung von Nikotin in deutschen Restaurants, Gaststätten und Diskotheken zwei hintereinander geschaltete für die Thermodesorption geeignete Probenträger. Der erste enthielt Tenax GR als Adsorbens zur Anreicherung von schwerer flüchtigen Komponenten aus der Raumluft, der zweite Chromosorb 106 zum Sammeln von leichter flüchtigen Substanzen. Die Probenahme erfolgte mit einem Volumenstrom von 0,02 l/min. An die Thermodesorption schloss sich die Analyse der Luftinhaltsstoffe mittels GC/MS an.

Aufgrund der großen Anzahl verschiedener Bestimmungsverfahren für Nikotin war es notwendig, die Methoden miteinander zu vergleichen. *Hammond* et al. untersuchten beide von ihnen entwickelte Sammelverfahren (Aktiv- und Passivsammlung) in besagter Prüfkammer mit großer Übereinstimmung. Mit einer Probenahmedauer von bis zu acht Stunden konnte nun Nikotin sowohl aktiv an Arbeitsplätzen von Eisenbahnern als auch passiv über eine Woche in Wohnungen im Niedrigkonzentrationsbereich von 1 µg/m³ bestimmt werden.

Löfroth [51] hat das Sammelprinzip mit den beiden Filtern mit einer Denuder-Probenahmetechnik verglichen. Dabei kam er zu dem Schluss, dass die Phasenverteilung von Nikotin im Wesentlichen vom Alter des Tabakrauches abhängt. So liegt Nikotin in frischem Tabakrauch dampfförmig vor, sodass in diesen Fällen, wie z. B. in einer Prüfkammer oder für Arbeitsplätze, ein Messverfahren für dampfförmige Stoffe ausreicht. Hingegen ist in Räumen, die mit gealtertem Rauch (Kaltrauch) kontaminiert sind, Nikotin in einem deutlich höheren Maß in der Partikelphase zu finden. Damit wird deutlich, dass bei kombinierten Probenträgern, die sowohl Feinstaub als auch gasförmige Komponenten abscheiden, immer beide Probenträger auf Nikotin zu untersuchen sind. Aus Langzeitprobenahmen, die z. B. über mehrere Tage

andauern, ist mit Minderbefunden für Nikotin zu rechnen, sofern nur nach dampfförmigem Nikotin gesucht wird.

In einer Vergleichsstudie von zehn Verfahren (Verwendung von Filter-, Denudersystemen, Passivsammler mit Filter und XAD-4, Tenax und XAD-4 als Adsorbentien bei aktiver Probenahme) bei vier Instituten stellte man eine gute Übereinstimmung der Messergebnisse fest, wobei ein Passivsammelverfahren wegen zusätzlicher Adsorption am Filterhalter signifikante Minderbefunde aufwies [45]. Ein weiteres Ergebnis dieser Studie war, dass mehr als 95 % des Nikotins im Passivrauch in der Gasphase vorliegt und somit auch Methoden, die nur Nikotin aus dem Gasraum heraus anreichern, geeignet sind zur Gesamtnikotinbestimmung bei Tabakrauchbelastung.

5 Exposition gegenüber Tabakrauch – Messergebnisse

5.1 Gastronomiebereiche

Obwohl die Belastung der Raumluft durch Tabakrauch bereits seit mehreren Jahrzehnten diskutiert wird, werden nur wenige Messergebnisse für Deutschland gefunden. Es liegen drei aktuelle Studien vor, die Nikotinkonzentrationen in Raucherbereichen der Gastronomie ab 2005 beschreiben:

- *Bolte et al.* [40] untersuchten über einen Zeitraum von einem Jahr (April 2005 bis Mai 2006) in 28, überwiegend hoch belasteten Betrieben im Großraum München die Konzentrationen verschiedener Tabakrauchbestandteile, unter anderem Nikotin.
- Die Nikotinkonzentrationen in elf gastronomischen Betrieben in Bochum und Köln ermittelten *Breuer et al.* [36] im Sommer 2008 und Winter 2008/2009.
- In den Winterhalbjahren 2006/2007 und 2007/2008 ermittelten *Hüner et al.* [52] die Nikotinwerte deutschlandweit in 88 Betrieben mit Raucherlaubnis, die repräsentativ das gesamte Spektrum in der Gastronomie wiedergeben sollen.

Die Messergebnisse der Studien, die jeweils unterschiedliche Analyseverfahren anwendeten, sind zum Vergleich in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3:
Ergebnisse von Nikotinmessungen aus deutschen Studien

Studie (Gesamtzahl untersuchter Betriebe)	Nikotin in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Median (Spannweite)		
	Gastronomiebetriebsart		
	Restaurant, Bistro, Cafe	Gaststätte, Bar	Diskotheke
<i>Bolte et al.</i> [40] ($n = 28$)	15 (0,7 bis 83)	31 (9,1 bis 180)	193 (71 bis 450)
<i>Breuer et al.</i> [36] ($n = 11$)	9,8 (1,2 bis 43)	15,0 (3,1 bis 97)	55,5 (20 bis 152)
<i>Hüner et al.</i> [52] ($n = 88$)	23 (1,0 bis 198)		

Da die Zuordnung zu einer Gastronomieart von der Aussage des Inhabers abhängt und eine Trennung in die verschiedenen Betriebsarten fließend ist (Beispiel: Restaurant vs. Gaststätte) überlappen die Konzentrationsbereiche in Tabelle 3 deutlich. Die höchste Belastung mit Tabakrauch ist vorrangig in der getränkegeprägten Gastronomie (Diskotheken, Bars) zu finden. Die Maximalwerte traten jeweils in Diskotheken auf. Weitere aktuelle Daten zur Nikotinbelastung an Arbeitsplätzen in Deutschland liegen zurzeit nicht vor.

Aus anderen europäischen Staaten gibt es eine Reihe von Studien, die ebenfalls die Nikotinkonzentration in der Gastronomieraumluft untersuchen. Tabelle 4 führt die dabei ermittelten Mediane auf und in Klammern – soweit angegeben – die Minimal- bzw. Maximalwerte.

Tabelle 4:
Nikotinkonzentrationen in der Raumluft von Gastronomiebetrieben

Quelle	Staat	Nikotin in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Median (Spannweite)		
		Gastronomiebetriebsart		
		Restaurant, Cafe, Bistro	Gaststätte, Bar	Diskotheke
Gorini et al. [53]	Österreich (2002 bis 2004)	2,53 (0,88 bis 10,5)	49,60 (21,7 bis 59,7)	24,31 (11,5 bis 30,4)
	Italien	2,03 (0,93 bis 4,17)	19,02 (1,72 bis 45,1)	35,16 (11,5 bis 135)
	Österreich (2007)	2,57 (0,37 bis 8,21)	31,43 (17,8 bis 37,4)	28,24 (15,1 bis 41,7)
Lopez et al. [54]	Österreich	9,94 (2,3 bis 21,7)		30,38 (21,7 bis 74,4)
	Italien (vor dem Rauchverbot)	1,75 (1,2 bis 3,61)		138,93 (94,0 bis 207)
	Spanien	3,62 (1,02 bis 7,45)		113,78 (63,5 bis 240)
	Griechenland	3,99 (2,0 bis 6,38)		30,80 (23,0 bis 60,3)
Nebot et al. [55]	Österreich	17		122
	Italien	1,6		19
	Frankreich	9,3		59
	Spanien	7,8		91

5.2 Sonstige Messungen

Die Arbeitsgruppe von Nebot et al. [55] führte bei ihren Untersuchungen auch Messungen in öffentlichen Einrichtungen wie z. B. Schulen, Universitäten, Krankenhäusern, Flughäfen oder Bahnhöfen durch. In Raucherbereichen ermittelten sie Medianwerte von 0,2 bis 19,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

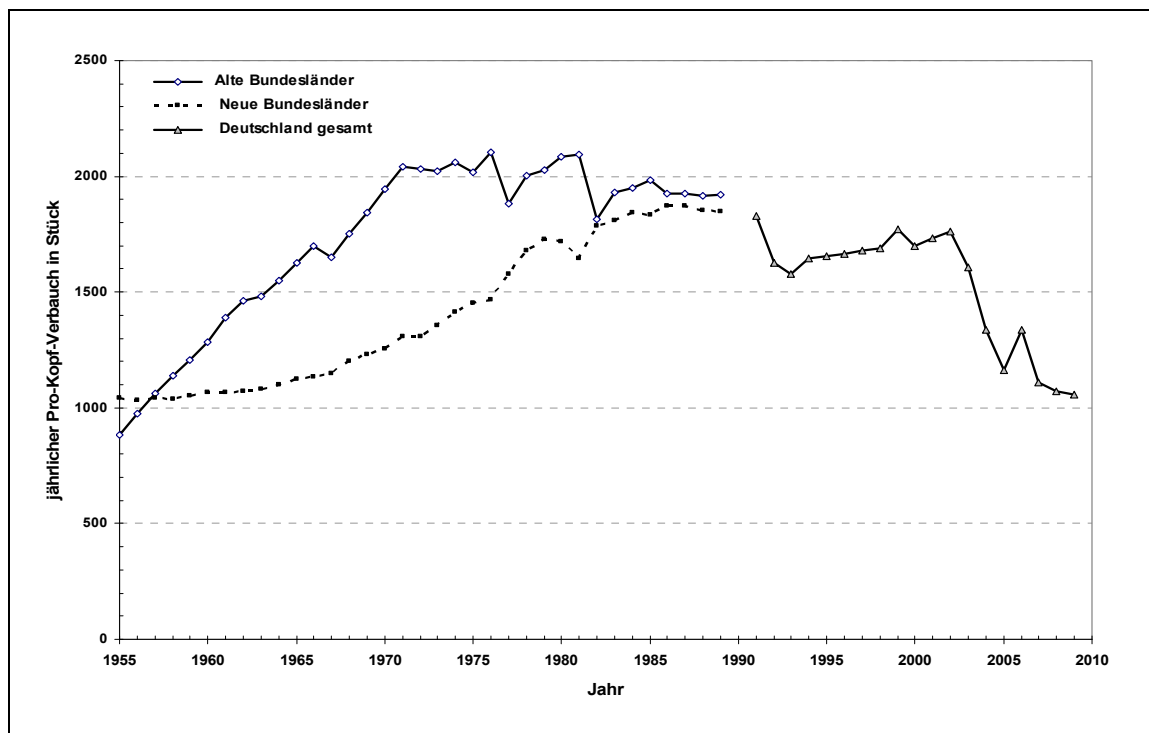
Eine Publikation aus Japan hat die Tabakrauchbelastung in einem kleinen geschlossenen Raum zum Thema. Saito und Seto [56] bestimmten die Nikotinkonzentration in einem Raucherraum, dessen Abmessungen und Luftwechselraten genauso festgehalten wurden wie die Anzahl der gerauchten Zigaretten während der Messung und die abgerauchte Zigarettenlänge. Sie stellten dabei einen linearen Zusammenhang zwischen der Zahl der gerauchten Zigaretten und der Nikotinkonzentration fest und ermittelten eine maximale Nikotinkonzentration von 71,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

6 Das Rauchverhalten in Deutschland

6.1 Allgemeine Entwicklung des Rauchverhaltens

Das Rauchverhalten der erwachsenen deutschen Bevölkerung [57] hat sich in den vergangenen Jahrzehnten deutlich verändert. Während die Zigarette noch Ende des 19. Jahrhunderts als Statussymbol der besser gestellten Gesellschaftsschichten galt, hat sie sich im Verlauf des 20. Jahrhunderts in allen gesellschaftlichen Kreisen durchgesetzt. In Deutschland stieg der Absatz von fabrikfertigen Zigaretten innerhalb dieses Zeitraumes von sechs Milliarden auf 133 Milliarden Stück pro Jahr an. Besonders augenfällig ist der Anstieg des Zigarettenkonsums seit den 1950er-Jahren in den westlichen Bundesländern, während der Anstieg in den östlichen Bundesländern bis in die 1970er-Jahre vergleichsweise moderat ausfiel. Seit Beginn des dritten Jahrtausends ist ein deutlicher Rückgang des Zigarettenkonsums zu verzeichnen (Abbildung 3). Heute werden mehr als 90 % aller Tabakprodukte in Form von Zigaretten konsumiert, sodass in diesem Report nicht gesondert auf Zigarren- oder Pfeifenrauch eingegangen wird.

Abbildung 3:
Jährlicher Pro-Kopf-Verbrauch an Zigaretten in Deutschland [58]



6.2 Das Rauchverhalten einzelner Berufsgruppen

Zum Rauchverhalten einzelner Berufsgruppen (Tabelle 5) lässt sich feststellen, dass der Anteil der Nichtraucher mit zunehmender Berufsqualifikation und steigendem Einkommen zunimmt [59].

Tabelle 5:

Anteil aktueller Raucher und Raucherinnen nach Bildung, Berufsstatus und Einkommen. Prävalenzen in verschiedenen Altersgruppen und altersstandardisierte Odds Ratio (OR) mit 95%-Konfidenzintervallen (95%-KI) (Datenbasis: Telefonischer Gesundheitssurvey 2003 nach [59])

	Anteil Raucher in %							
	Männer				Frauen			
	Alter in Jahren			Gesamt (OR, 95%-KI) ^a	Alter in Jahren			Gesamt (OR, 95%-KI) ^a
18 bis 39	40 bis 59	60+	18 bis 39		40 bis 59	60+		
Bildung								
Niedrig	58,6	43,0	24,1	1,47 (1,16 bis 1,86)	56,4	40,4	12,2	2,04 (1,61 bis 2,59)
Mittel	52,5	41,7	18,2	1,43 (1,17 bis 1,75)	40,2	35,2	12,3	1,61 (1,31 bis 1,96)
Hoch	36,2	32,8	13,9	1,00 (Referenz)	29,5	25,1	10,3	1,00 (Referenz)
Berufsstatus								
Niedrig	55,5	45,0	27,2	1,54 (1,21 bis 1,95)	46,7	37,5	11,7	1,19 (0,93 bis 1,52)
Mittel	46,5	40,8	18,1	1,24 (1,00 bis 1,53)	41,2	35,3	13,4	1,38 (1,12 bis 1,72)
Hoch	35,4	32,1	13,5	1,00 (Referenz)	26,7	28,1	11,2	1,00 (Referenz)
Einkommen								
Niedrig	54,1	51,8	22,1	1,25 (1,01 bis 1,55)	47,3	39,9	14,3	1,05 (0,84 bis 1,30)
Mittel	47,1	41,2	16,6	1,01 (0,84 bis 1,22)	39,0	36,2	10,4	0,96 (0,78 bis 1,18)
Hoch	46,4	33,6	15,3	1,00 (Referenz)	34,7	31,1	15,0	1,00 (Referenz)

^a Ergebnisse binär logistischer Regressionen für das aktuelle Rauchen bei gleichzeitiger Betrachtung der potenziellen Einflussgrößen Bildung, Berufsstatus und Einkommen.

Dies spiegelt sich in den Einzelergebnissen bei den Befragungen zum Mikrozensus wieder (siehe Anhang 1, Seite 75 ff.). Es gibt Berufe, bei denen die Raucherquote unter 20 % liegt, bis hin zu Berufen, bei denen mehr als 50 % der Personen rauchen. Auch hier spiegelt sich die Ausbildung bzw. der soziale Standard der Berufe wider. In der Gruppe mit geringer Raucherquote finden sich sehr viele Berufe, deren Ausübung einen Hochschulabschluss erfordert, während Berufe, deren Ausübung auch ohne spezielle Ausbildung möglich ist, eine wesentlich höhere Raucherquote aufweisen.

- Beispiele für Berufe (Männer und Frauen) mit einer geringen Quote (< 20 %) an aktiven Rauchern:
Ärzte, Zahnärzte, Lehrer, Naturwissenschaftler, Apotheker, Ingenieure, Verwaltungsfachkräfte im höheren Dienst etc.

- Beispiele für Berufe (Männer) mit hoher Raucherquote (> 50 %): Altenpfleger, Friseure, Hochbauberufe, Werk- oder Personenschutzfachkräfte, Gießereimechaniker, Transportgeräteführer, Dachdecker, Maler und Lackierer, Isolierer, Gerüstbauer, Restaurantfachkräfte, Gebäudereiniger
- Beispiele für Berufe (Frauen) mit hoher Raucherquote (> 40 %): Altenpflegerinnen/Heilerziehungspflegerinnen, Berufe im Funk- und Fernsprechverkehr, Kassenfachfrauen, Hotel-/Gaststättenkauffrauen, Gastwirtinnen, Berufe mit Gästebetreuung, Restaurantfachfrauen, Stewardessen, Berufskraftfahrerinnen, Wächterinnen/Aufseherinnen

6.3 Prävalenz der Passivrauchbelastung

Die Häufigkeit der Tabakrauchbelastung am Arbeitsplatz wird nach Bundes-Gesundheits-survey unterschätzt, wenn man die Gesamtbevölkerung betrachtet. Beschränkt sich die Analyse auf die erwerbstätige Bevölkerung, ergab sich eine deutlich höhere Häufigkeit der Belastung. Zum Zeitpunkt der Datenerhebung waren 40 % der erwerbstätigen Männer und 30 % der erwerbstätigen Frauen im Alter von 18 bis 59 Jahren am Arbeitsplatz Tabakrauch ausgesetzt. Am häufigsten war die Exposition in der Gruppe der 20- bis 29-Jährigen mit 58 % der Männer und 31 % der Frauen. Zudem wird deutlich, dass erwerbstätige Männer in allen Altersgruppen am Arbeitsplatz häufiger mit Tabakrauch konfrontiert waren als Frauen.

Aufgrund berufsgruppenspezifischer Unterschiede im Tabakkonsum und der unterschiedlichen Handhabung von Rauchverböten variierte die Passivrauchbelastung mit der beruflichen Stellung. Am stärksten am Arbeitsplatz belastet waren Arbeiter mit 57 %, gefolgt von Angestellten mit 54 %, Selbstständigen mit 51 % und Beamten mit 47 %. Die häufigere Tabakrauchexposition bei Arbeitern war bei Männern zu beobachten. Arbeiterinnen waren nicht weniger belastet als weibliche Angestellte. Für beide Geschlechter gilt aber gleichermaßen, dass Beamte bzw. Beamtinnen sowie Selbstständige an ihren Arbeitsplätzen am wenigsten durch Tabakrauch belastet waren.

Das Deutsche Krebsforschungszentrum (DKFZ) hat für Erwerbstätige das Gastgewerbe vor dem Baugewerbe als am häufigsten belasteten Gewerbebezug für die Tabakrauchbelastung identifiziert [60] und sich dabei auf eine Erwerbstätigenbefragung des Bundesinstituts für Berufsbildung und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin berufen [61]. Diese Befragung berücksichtigt aber z. B. nicht, dass einige der genannten Gewerbebezüge einen sehr hohen Anteil an Arbeitsplätzen im Freien aufweisen (Baugewerbe, Landwirtschaft) oder ob die arbeitsbedingte Belastung über die gesamte Schicht kontinuierlich ist. Für die Expositionsabschätzung an Arbeitsplätzen sind diese Fragen von grundlegender Bedeutung, hat es doch schon immer Bereiche gegeben, in denen das Rauchen untersagt war und der nicht-rauchende Erwerbstätige dem Tabakrauch nur zeitbegrenzt z. B. in Pausenräumen ausgesetzt war. Im Kapitel 7 wird die arbeitsbedingte Tabakrauchexposition erstmals den wirklich am Arbeitsplatz vorhandenen Randbedingungen zugeordnet, um die Voraussetzungen für eine Expositionsabschätzung gegenüber Tabakrauch zu schaffen.

7 Expositionsszenarien

7.1 Klassifizierung der Tätigkeiten

Neben der Raucherquote spielt im Arbeitsleben auch die Art der Tätigkeit eine entscheidende Rolle. Ziel dieses Reports ist die Abschätzung der Belastung durch Tabakrauch am Arbeitsplatz. Auch schon vor der Einführung des Nichtraucher-schutzes an Arbeitsplätzen gab es Tätigkeiten, bei denen eine Belastung durch Tabakrauch gänzlich oder weitgehend ausgeschlossen war.

- Eine arbeitsbedingte Exposition kann bzw. konnte ausgeschlossen werden.
Beispiele: Bergleute im Steinkohlenbergbau unter Tage, Mitarbeiter in Reinräumen
- Eine arbeitsbedingte Exposition kann bzw. konnte weitgehend ausgeschlossen werden; in speziellen Räumen wie z. B. Aufenthaltsräumen, Messwarten, Meisterbüros oder Lehrerzimmern war/ist eine Belastung durch Tabakrauch zeitlich begrenzt möglich.
Beispiele: Alle Tätigkeiten in Bereichen mit Explosionsschutz wie z. B. in der chemischen Industrie, Lehrer, Tätigkeiten mit hoher Frequenz (Fließbandarbeit) mit speziell eingeplanten Pausen
- Eine arbeitsbedingte Exposition ist/war gering; in speziellen Räumen wie z. B. Aufenthaltsräumen, Messwarten, Meisterbüros oder Bauwagen war/ist eine Belastung durch Tabakrauch zeitlich begrenzt möglich.
Beispiele: Außenarbeitsplätze, Arbeitsplätze in Werkhallen mit technischer Lüftung
- Eine arbeitsbedingte Exposition war/ist vorhanden.
Beispiele: Büros, Großraumbüros oder Callcenter, Gastronomiebetriebe, Fahrerkabinen bei Berufskraftfahrern, kleinere Werkstätten, Messwarten.

Einige dieser Beispiele sind auch heute noch aktuell. Andere Berufe, bei denen früher am Arbeitsplatz geraucht werden durfte, fallen heute möglicherweise in die Gruppe mit Exposition gegenüber Tabakrauch in speziellen Räumen. Leider gibt es keine Erkenntnisse darüber, ob z. B. das Bedienpersonal in Spezialräumen wie Messwarten über eine Arbeitsschicht nicht dadurch einer überdurchschnittlich hohen Belastung gegenüber Tabakrauch ausgesetzt war/ist, dass diese Räume als Raucherraum zweckentfremdet wurden.

7.2 Klassifizierung der Rauchstärke anhand des täglichen Zigarettenkonsums

Das Bundes-Gesundheitssurvey [57] stuft Raucher in drei Klassen ein:

1. schwacher Raucher, 1 bis 5 Zigaretten/d
2. normaler Raucher, 5 bis 20 Zigaretten/d
3. starker Raucher, > 20 Zigaretten/d

Als durchschnittlicher Zigarettenverbrauch wird ein mittlerer Konsum von 18 Zigaretten pro Tag angegeben: Männer 19,6 Zigaretten/d, Frauen 15,8 Zigaretten/d.

Im Rahmen dieses Reports wird für starke Raucher ein Zigarettenkonsum von 30 bis 40 Zigaretten pro Tag und für schwache Raucher ein Zigarettenkonsum von fünf Zigaretten pro Tag angesetzt. Für die Abschätzung des Zigarettenverbrauchs über die Arbeitsschicht wird

angenommen, dass ein Raucher etwa die Hälfte seiner Wachphase am Arbeitsplatz verbringt und somit auch etwa die Hälfte seines Tageskonsums an Zigaretten dort raucht:

- Umgerechnet auf die Arbeitsschicht konsumiert ein schwacher Raucher in einem Bereich ohne Raucheinschränkung zwei Zigaretten pro Acht-Stunden-Schicht (jeweils eine Zigarette vor- und nachmittags). In Arbeitsbereichen mit Raucheinschränkung wird ein schwacher Raucher in einer kurzen Pause (10 bis 15 Minuten) nicht rauchen und in einer längeren Pause (30 bis 60 Minuten) eine Zigarette rauchen.
- Umgerechnet auf die Arbeitsschicht bedeutet dies, dass ein durchschnittlicher Raucher in einem Bereich ohne Raucheinschränkung zwischen acht und zehn Zigaretten pro Acht-Stunden-Schicht (ca. eine Zigarette pro Stunde) konsumiert. In Arbeitsbereichen mit Raucheinschränkung wird ein durchschnittlicher Raucher in einer kurzen Pause (10 bis 15 Minuten) eine Zigarette und in einer längeren Pause (30 bis 60 Minuten) bis zu zwei Zigaretten rauchen.
- Umgerechnet auf die Arbeitsschicht konsumiert ein starker Raucher in einem Bereich ohne Raucheinschränkung zwischen 15 und 20 Zigaretten pro Acht-Stunden-Schicht (ca. zwei Zigarette pro Stunde). In Arbeitsbereichen mit Raucheinschränkung wird ein starker Raucher in einer kurzen Pause (10 bis 15 Minuten) zwei Zigaretten und in einer längeren Pause (30 bis 60 Minuten) bis zu vier Zigaretten rauchen.

Die angegebene Anzahl gerauchter Zigaretten wird für die Berechnung der Belastung nicht rauchender Kollegen mit Tabakrauch verwendet.

7.3 Gastgewerbe

Die gastgewerblichen Betriebe können anhand ihrer hauptsächlichen Funktion in vier Kategorien eingeteilt werden [62]:

1. Beherbergungsbetriebe (Hotel, Hotel garni, Pension)
2. Bewirtungsbetriebe (Restaurant, Wirtshaus, Systemgastronomie, Imbissbetrieb, Cafe)
3. Unterhaltungsbetriebe (Bar, Diskothek, Nachtlokale)
4. Gastgewerbliche Nebenbetriebe (Kantine, Betriebsrestaurant)

Das Statistische Bundesamt legt seinen Gewerbestatistiken die nationale Klassifikation der Wirtschaftszweige Ausgabe 2003 zugrunde [63]. Unter dem Wirtschaftszweig 55 Gastgewerbe wird zwischen Hotellerie 55.1, sonstiges Beherbergungsgewerbe 55.2, speisen-geprägte Gastronomie 55.3, getränkegeprägte Gastronomie 55.4 sowie Kantinen und Caterer 55.5 unterschieden. Während zur speisengeprägten Gastronomie Restaurants mit und ohne Bedienung, Cafes, Eissalons und Imbissstuben zählen, gehören z. B. Schankwirtschaften, Diskotheken und Tanzlokale, Bars und Vergnügungslokale zur getränkegeprägten Gastronomie.

Eine ähnliche Differenzierung übernimmt der DEHOGA-Bundesverband. Er stellt auf seinen Internetseiten Daten und Fakten zum Gastgewerbe, basierend auf Zahlen des Statistischen Bundesamtes, zur Verfügung. Folgende Betriebsarten werden hier genannt: Bars und Vergnügungslokale, Cafes, Caterer, Diskotheken und Tanzlokale, Eisdielen, Imbisshallen, Kantinen, Restaurants, Schankwirtschaften sowie Trinkhallen [64].

Bei den aufgeführten Betriebsarten handelt es sich im weitesten Sinne um Betriebsstätten, in denen die relevanten Belastungen durch Tabakrauch im Innenraum vorkommen. Zusätzlich sind für die Beschäftigten auch Belastungen zu beachten, die saisonal auch außerhalb des Gastraumes wie z. B. in Biergärten auftreten können. Es ist aber anzunehmen und kann durch Messungen belegt werden, dass in Außenbereichen deutlich geringere Belastungen

durch Tabakrauch auftreten als in Innenräumen, was den hohen Luftwechselraten zuzuschreiben ist (siehe auch Abschnitt 7.6, Seite 43).

Zu weiteren Belastungsszenarien sind zeitlich begrenzte, regelmäßig wiederkehrende Brauchtumsveranstaltungen zu zählen, wie sie die derzeit gültigen Nichtraucherschutzgesetze in Nordrhein-Westfalen [65] und Bayern [66] bis Mitte 2010 als Rauchverbotsausnahmen beschreiben.

Aus der Umsatzsteuerstatistik, die jährlich für alle Wirtschaftszweige herausgegeben wird, sollen beispielhaft für das Jahr 2007 die Zahlen für das Gastgewerbe dargestellt werden. Bezogen auf eine Gesamtanzahl von ca. 240 000 umsatzsteuerpflichtigen Unternehmen gibt Tabelle 6 die Verteilung auf die einzelnen Untergruppen wieder [67].

Tabelle 6:
Umsatzsteuerpflichtige Unternehmen im Gastgewerbe

Nr. der Klassifikation der Wirtschaftszweige	Gliederung	Anzahl	Anteil in %
55	Gastgewerbe	239 794	
55.1	Hotellerie	37 865	16
55.2	Sonstiges Beherbergungsgewerbe	7 362	3
55.3	Speisengeprägte Gastronomie	131 895	55
55.4	Getränkegeprägte Gastronomie	51 605	22
55.5	Kantinen und Caterer	11 067	4

Die Zählweise der Anzahl der Betriebe und Beschäftigten weist seit 1960 deutliche Differenzen in den Absolutzahlen auf. Die Ursache hierfür liegt in den unterschiedlichen Erfassungsmerkmalen der verfügbaren Statistiken.

- Der zuständige Unfallversicherungsträger BGN erfasst sowohl alle gemeldeten Betriebe und ordnet sie den zugehörigen Gewerbezweigen zu, als auch alle gemeldeten Versicherten, die innerhalb eines Jahres dort tätig waren.
- Das Statistische Bundesamt veröffentlicht jährlich eine Statistik des Gastgewerbes, die auf einer Datenerhebung einer auskunftspflichtigen Stichprobe basiert [68].
- Das Statistische Bundesamt veröffentlicht auch die Umsatzsteuerstatistik aller Unternehmen mit einem Jahresumsatz von mehr als 17 500 €.

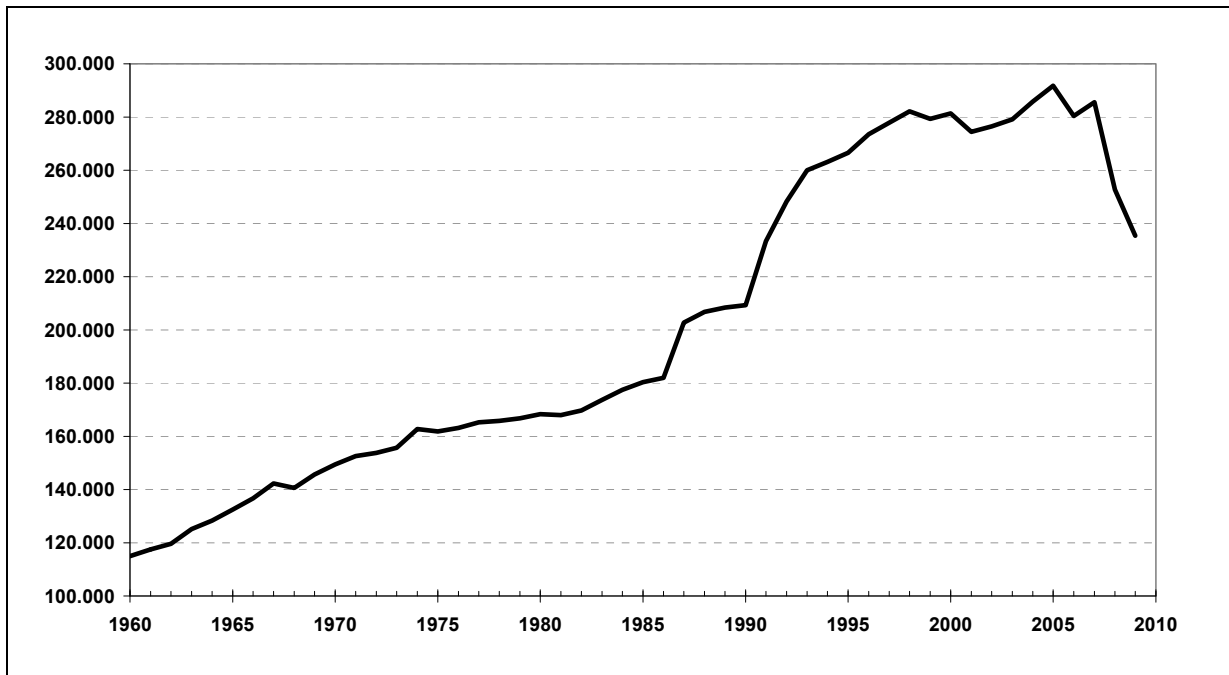
Die Anzahl der dem Unfallversicherungsträger gemeldeten Unternehmen im Gewerbebereich 16 (Gastronomie und Beherbergungsgewerbe) stieg seit 1960 kontinuierlich an und erreichte 2005 ihren Höchststand von 294 000 (Abbildung 4). Die besonders auffälligen Veränderungen in den Jahren 1987, 1990 und 2007 können folgendermaßen erklärt werden:

1987: Ausweisung von Kleinstunternehmen und Filialen

1990: Wiedervereinigung

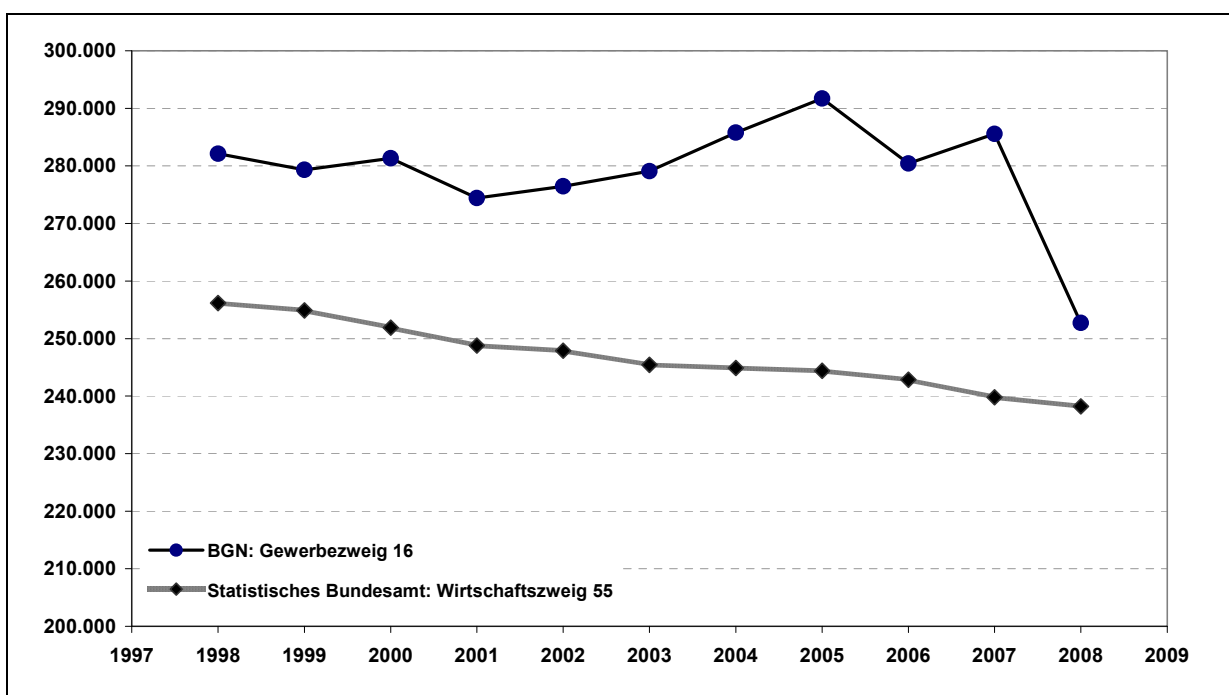
2007: Wegfall der Unternehmerpflichtversicherung führt zu einer Abnahme, da Einpersonen-Unternehmen nicht mehr versicherungspflichtig sind

Abbildung 4:
Anzahl der dem UV-Träger gemeldeten Unternehmen im Gewerbebezweig 16
(Gastronomie und Beherbergungsgewerbe) zwischen 1960 und 2009



Das Statistische Bundesamt ermittelt die Unternehmenszahlen auf der Basis der Umsatzsteuerstatistik als Sekundärerhebung. Erhebungsgrundlage sind Datensätze der Landesfinanzbehörden aus dem automatisierten Umsatzsteuer-Voranmeldungs- und Vorauszahlungsverfahren. Im Jahr 2006 erfolgte die Klassifikation aus dem Wirtschaftszweig 55 mit einem Jahresumsatz von mehr als 17 500 €. Insofern liegen diese Zahlen deutlich unter denen der BGN (Abbildung 5).

Abbildung 5:
Anzahl der Betriebe im Hotel- und Gaststättenbereich zwischen 1998 und 2008
basierend auf den Zahlen der BGN und des Statistischen Bundesamtes



Typisch für diesen Gewerbebereich ist auch eine hohe betriebliche Fluktuation von ca. 50 000 Beschäftigten pro Jahr.

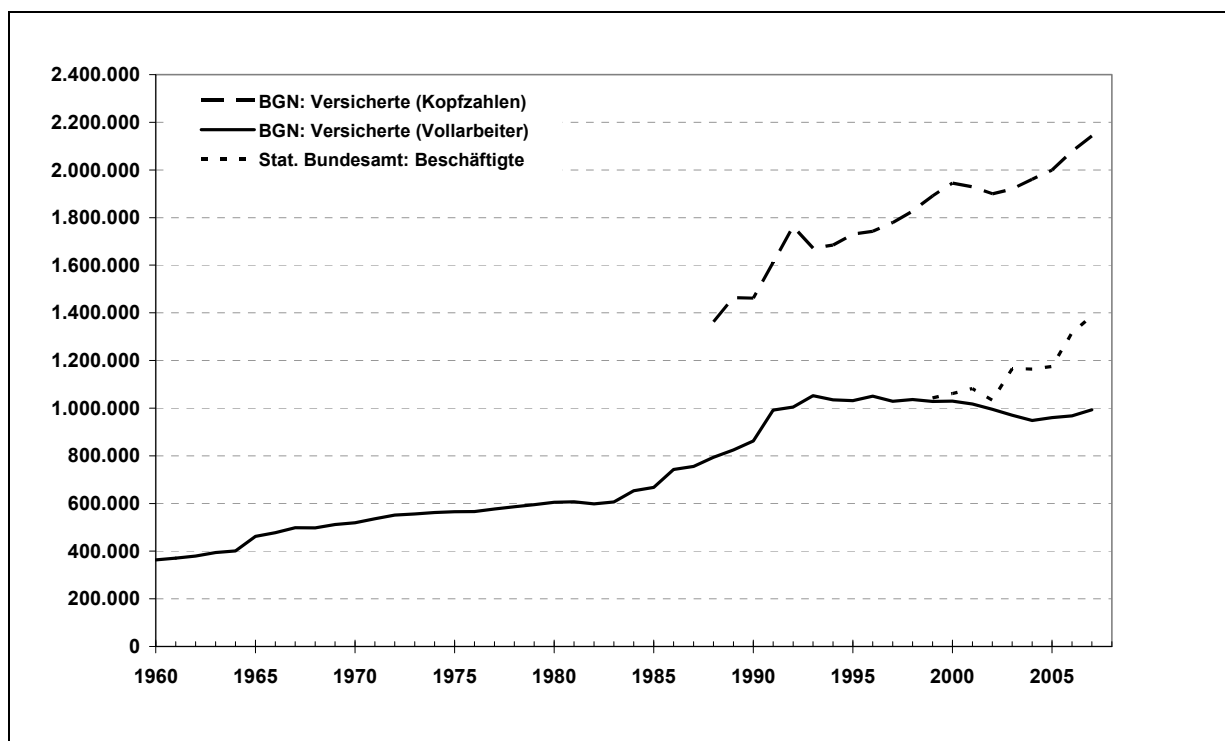
Auch die Beschäftigtenzahlen unterscheiden sich deutlich aufgrund ihrer Erhebungsmerkmale. Während der Unfallversicherer jährlich vom Unternehmer die Summe aller geleisteten Stunden, die von seinen Angestellten erbracht wurde, abfragt, erhebt das Statistische Bundesamt im Rahmen der Jahrerhebung aus einer Stichprobe (Basis: Unternehmensregister) im Gastgewerbe zu einem Stichtag (2006: 30. September 2006) diese Zahl [68], siehe Tabelle 7.

Der zeitliche Verlauf der Beschäftigten- und Versichertenzahlen ist in Abbildung 6 dargestellt.

Tabelle 7:
Beschäftigtenzahlen im Gastgewerbe für das Jahr 2006

Nummer der Klassifikation	Wirtschaftszweig	Beschäftigte			
		Insgesamt	Teilzeitbeschäftigte	Tätige Inhaber	Angestellte
55	Gastgewerbe	1 315 631	576 980 (44 %)	175 496 (16 %)	1 140 139 (84 %)
55.4	Getränkegeprägte Gastronomie	168 722	85 502 (51 %)	34 989 (21 %)	133 734 (79 %)

Abbildung 6:
Beschäftigte und Versicherte im Gastgewerbe zwischen 1960 und 2007



Es lässt sich festhalten, dass die Anzahl der Versicherten seit dem Jahr 1960 deutlich gestiegen ist. Aktuell gibt es bei der BGN im Gastgewerbe über zwei Millionen Versicherungsverhältnisse pro Jahr. Die Zahl der Vollarbeiter stellt eine Rechengröße dar, bei der die Anzahl der gemeldeten Stunden durch die Jahresarbeitszeit eines Vollzeitbeschäftigten

geteilt wird. Diese Zahl ist seit 1960 kontinuierlich gestiegen und verharrt seit 1992 auf einem ähnlichen Niveau. Abbildung 6 verdeutlicht, dass seit den 1990er-Jahren der Teilzeitanteil in der Gastronomie stark angestiegen ist. Es gibt nur selten durchgängige Erwerbsbiografien. Der Anteil der Raucher liegt in diesem Gewerbebereich bei 47 % und damit deutlich über dem Bundesdurchschnitt von 33 % [67].

7.3.1 Gesetzliche Regelungen

Der klassische Begriff „Gaststätte“ umfasst nach dem deutschen Gaststättengesetz in der gültigen Fassung vom 20. November 1998 (letzte Änderung durch Artikel 10 des Gesetzes vom 7. September 2007, BGBl. S. 2246) die „Schankwirtschaft“, in der Getränke zum Verzehr an Ort und Stelle ausgeschenkt werden, und die „Speisewirtschaft“, in der zubereitete Speisen zum Verzehr an Ort und Stelle angeboten werden [68].

Das Bundes-Gaststättengesetz regelt insbesondere die Voraussetzungen für die Erteilung und den Widerruf einer Gaststättenerlaubnis (Konzession), den Umfang der Erlaubnis, die Auflagen und die Versagungsgründe.

Zur Erteilung der Konzession werden in Abhängigkeit von der Gaststättenart Mindestanforderungen u. a. an die Lage, Beschaffenheit, Ausstattung und Einteilung der Räume gestellt. Diese Anforderungen legen die jeweiligen Landesregierungen durch Rechtsverordnungen (Gaststättenverordnungen) fest.

Mit dem Inkrafttreten der Föderalismusreform im Jahr 2006 sind jedoch künftig die Länder für das Gaststättenrecht zuständig. Somit ist das Bundes-Gaststättengesetz nur noch anwendbar, solange die Länder keine eigenen Gesetze verabschiedet haben [69]. (vgl. Art. 125a Abs. 1 GG).

Als erstes Land hat Brandenburg von seiner Gesetzgebungskompetenz Gebrauch gemacht. Das Brandenburgische Gaststättengesetz (BbgGastG) ist am 7. Oktober 2008 in Kraft getreten [70]. Für den Freistaat Thüringen wurde ein solches Landesgesetz am 9. Oktober 2008 verabschiedet und trat am 1. Dezember 2008 in Kraft (ThürGastG) [71]. Mit dem Inkrafttreten der Ländergesetze wurden die bisher geltenden Gaststättenverordnungen außer Kraft gesetzt. Damit ist zu erwarten, dass im länderspezifischen Gaststättenrecht ähnlich uneinheitliche Regelungen entstehen wie bei den länderspezifischen Nichtraucherschutzgesetzen seit 2008.

7.3.2 Lüftungsvorgaben

7.3.2.1 Gaststättenbauverordnung

Die bauliche Ausgestaltung von Gaststätten wurde in den Ländern durch die jeweiligen Gaststättenbauverordnungen (GastBauV) geregelt. So galt beispielsweise in Nordrhein-Westfalen die GastBauV vom 9. Dezember 1983 [72] bis zur Aufhebung zum 31. Dezember 2005. Im Teil III dieser Verordnung werden unter § 14 die Lüftungsvorgaben unter der Überschrift Haustechnische Anlagen konkretisiert:

- (1) *Gasträume und andere Aufenthaltsräume müssen Lüftungsanlagen haben, wenn eine ausreichende Erneuerung der Raumluft durch Fensterlüftung nicht möglich oder wegen des Lärmschutzes unerwünscht ist.*
- (2) *Gasträume mit bis zu 400 Gastplätzen und zugehörigen Aufenthaltsräumen müssen die Lüftungsanlagen je m² Grundfläche eine Außenluftmenge von mindestens 12 m³/h zuführen können (Außenluftmenge). Diese Außenluftmenge gilt für Außentemperaturen zwischen 0 °C und +26 °C. Bei niedrigeren oder höheren Außenlufttemperaturen*

dürfen die Außenluftstraten herabgesetzt werden; folgende Werte dürfen jedoch nicht unterschritten werden:

- *bei Außenlufttemperaturen unter 0 °C 6 m³/h*
- *bei Außenlufttemperaturen über 26 °C 9 m³/h*

(3) *Gasträumen mit mehr als 400 Gastplätzen müssen die Lüftungsanlagen eine Außenluftmenge von mindestens 30 m³/h je m² Grundfläche zuführen können.“*

Bei einem Gastraum von 60 m² Grundfläche müsste die Lüftungsanlage demnach mindestens 720 m³ Außenluft pro Stunde nachliefern. Bei einer Raumhöhe von 3 m würde somit eine Luftwechselrate von 4 h⁻¹ erzielt werden.

Im Teil VII (Schlussvorschriften) dieser Verordnung wird unter § 31 die Anwendung der Vorschriften auf bestehende Gaststätten beschrieben. Eine Anwendung der Lüftungsvorgaben findet sich hier nicht, sodass für die damals bestehenden Gaststätten in diesem Punkt Bestandsschutz angenommen werden musste.

Hingegen wurde in der GastBauV des Landes Bayern in § 13 zum Thema Lüftung Folgendes gefordert [73]:

- (1) *Gasträume und andere Aufenthaltsräume müssen die für eine ausreichende Lüftung erforderlichen Einrichtungen haben.*
- (2) *Durch die raumluftechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) muss für jeden Gastplatz eine stündliche Außenluftstrate von mindestens 20 m³, in Räumen, in denen geraucht werden darf, von mindestens 30 m³, gesichert sein ...“*

Allerdings gilt dieser § 13 gemäß § 1 Geltungsbereich nicht für Berghütten, Kantinen auf Baustellen, erlaubnisfreie Straußenwirtschaften und vorübergehend eingerichtete Gaststätten. Damit wird auch an dieser Stelle deutlich, dass wiederum länderspezifische Anforderungen an Lüftungstechnik in Gaststätten gefordert wurden.

7.3.2.2 Versammlungsstättenverordnung

Für größere Betriebsstätten sind noch heute länderspezifische Versammlungsstättenverordnungen gültig. Anfang der 1990er-Jahre wurde die Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz beauftragt, Entwürfe einer Musterbauordnung und einer Musterversammlungsstättenverordnung zu erarbeiten. Beide Musterentwürfe dienten als Grundlage für die Umsetzung in länderspezifisches Recht. Auf der Basis der Musterbauordnung (MBO 1997) [74] wurde dann eine Musterversammlungsstättenverordnung (MVStättV) verfasst, die derzeit in der Fassung aus dem Jahr 2005 vorliegt [75]. Die Vorschriften dieser Verordnung gelten für Bau und Betrieb von Versammlungsstätten mit Versammlungsräumen, die mehr als 200 Besucher fassen.

§ 17 der MVStättV nimmt Bezug auf Heizanlagen und Lüftungsanlagen und fordert, dass Versammlungsräume und Aufenthaltsräume Lüftungsanlagen haben müssen. Die Begründung und Erläuterung zur MVStättV konkretisiert diesen Paragraphen inhaltlich [76].

So ist bei der Ausgestaltung zum § 17 beschrieben, dass bei der Bemessung der Lüftungsanlage die Arbeitsstättenrichtlinie ASR 5 [77] sowie die DIN 1946-2:1994-01 [78] zu beachten sind. Der erforderliche Außenluftstrom sei gemäß DIN 1946 Teil 2 nach der Zahl der Besucherplätze im Versammlungsraum, nach der Grundfläche des Versammlungsraumes und nach möglichen Luftverunreinigungen zu berechnen, wobei immer der höhere Wert maßgeblich ist.

Konkret muss nach DIN 1946-2 für Versammlungsräume jeder Person 20 m³ Außenluftstrom/h zur Verfügung stehen, sofern diese keiner besonderen Belastung ausgesetzt ist. Für Versammlungsstätten, in denen geraucht wird, soll der Mindest-Außenluftstrom pro Person 40 m³/h betragen.

7.4 Bürobereiche

Bürobereiche lassen sich in verschiedene Bürotypen unterscheiden. Als kleinste Einheit ist das Einzelbüro zu sehen. Dessen Größe kann mit etwa 8 bis 10 m² angesetzt werden. Über das Zwei- und Mehrpersonenbüro schließen sich Großraumbüros mit sehr großen Flächen ab ca. 400 m² an. Die Fläche pro Mitarbeiter sollte mit etwa 12 bis 15 m² kalkuliert werden. In sehr effektiv genutzten Räumen kann der Flächenbedarf bis auf weniger als 8 m² pro Mitarbeiter gesenkt werden. Großraumbüros werden häufig technisch belüftet. Kleinere Einheiten können auch natürlich belüftet sein. Die Außenluftfrate für natürlich belüftete Räume bei sitzender Tätigkeit nach ASR 5 wird durch entsprechende Öffnungsflächen beschrieben. Ein zu öffnendes Fenster wird jedoch nicht immer zum Lüften geöffnet. Daher sind die Außenluftfraten stark vom Nutzerverhalten und von äußeren Bedingungen wie der Jahreszeit oder Außenlärm abhängig.

Als Expositionsszenarien stellen das Einzelbüro eines Rauchers, in das ein Nichtraucher geht, um ein Gespräch zu führen, und das Zweipersonenbüro, belegt mit einem Raucher und einem Nichtraucher, sicher einen sehr ungünstigen Fall dar. Als Randbedingungen können folgende Annahmen für diesen ungünstigen Fall gemacht werden:

Raumgröße pro Person: $A = 8 \text{ m}^2$, Raumhöhe: $H = 2,5 \text{ m}$; Raumvolumen: $V = 20 \text{ m}^3$,
Luftwechselrate: $\lambda = 0,1 \text{ h}^{-1}$

Im „Normalfall“ sind die Räume nicht unbedingt größer, möglicherweise aber höher. In Bürogebäuden wird häufig eine lichte Raumhöhe von 3 m angestrebt. Je nachdem, wie viele Einbauten benötigt werden, ergeben sich Raumhöhen zwischen $H = 2,5 \text{ m}$ und $H = 3 \text{ m}$.

Die Luftwechselrate bei natürlicher Lüftung beträgt in der Regel $\lambda = 0,1$ bis 10 h^{-1} , wobei die meisten Werte im Bereich von $\lambda = 0,2$ bis 3 h^{-1} liegen.

Für Berechnungen in diesem Report wird:

- für den Sommer eine Luftwechselrate von 2 h^{-1} und
- für den Winter eine Luftwechselrate von $0,5 \text{ h}^{-1}$

angenommen.

Größere Büros werden häufig technisch belüftet. Die Raumgröße von 10 m² pro Person kann auch für größere Büros herangezogen werden. Je nach Größe müssen die Raumhöhen nach der Arbeitsstättenverordnung jedoch größer werden. Sie können bis zu $H = 3,25 \text{ m}$ betragen (für $A > 2000 \text{ m}^2$).

Bei technischer Lüftung werden die meisten Anlagen auf einen zwei- bis sechsfachen Luftwechsel ausgelegt. Ein Luftwechsel von $\lambda = 4 \text{ h}^{-1}$ kann hier als guter Mittelwert herangezogen werden.

Bei technisch belüfteten Räumen beschreibt die ASR 5 in der Fassung von 1984 eine Außenluftfrate von 20 bis 40 m³/h Person. Für die Belastung durch Tabakrauch wird eine zusätzliche Außenluftmenge von 10 m³/h Person beschrieben.

7.5 Werkhallen

In Werkhallen ist der Luftraum zumeist sehr groß. Raumhöhen von 6 m und mehr sind übliche Praxis, wodurch sich ein Verdünnungseffekt einstellt. Hinzu kommt, dass die „Personenbelegung“ in Werkhallen meist deutlich geringer ist als im Büro, und so die Anzahl der Emissionsquellen geringer ist. Darüber hinaus besitzen viele Werkhallen Systeme zur technischen Lüftung. Dadurch wird die Belastung weiter vermindert. Die Lüftungssysteme in Werkhallen führen primär die Gefahrstoffe ab, die während der Produktion entstehen. Dass der Tabakrauch damit ebenfalls abgeführt wird, ist eher ein Nebeneffekt. Die Rauchbelastung in einer großen Werkhalle kann nicht durch das in Kapitel 9 beschriebene Modell mit räumlicher homogener Verteilung des Rauches modelliert werden. Dazu bietet sich eher ein Zwei-Zonen-Modell an, in dem sich die Schadstoffquelle (der oder die Raucher) im kleineren „Nahbereich“ befindet und der Rest der Halle als ein eigener Bilanzraum behandelt wird (siehe Abschnitt 10.10). Die Tabakrauchbelastung in Werkhallen ist daher als gering anzusehen.

Anders sieht die Passivrauchbelastung in Meisterbüros, Leitwarten und Pausenräumen aus. Für alle drei Raumarten können zur Beschreibung der Exposition die ungünstigen Bedingungen des zuvor beschriebenen Beispiels (siehe Abschnitt 7.4) eines Zweipersonenbüros mit einem Raucher angenommen werden.

In Meisterbüros oder Leitwarten war davon auszugehen, dass Kollegen über die gesamte Arbeitsschicht verteilt hier eine Zigarettenpause einlegen und so eine kontinuierliche Tabakrauchbelastung zustande kommt.

Etwas anders sieht die Situation in Pausenräumen aus: Hier finden sich in den Pausenzeiten zahlreiche Personen gleichzeitig ein und die Tabakrauchbelastung kann kurzzeitig erheblich werden.

7.6 Außenbereich

Die natürlichen Lüftungsbedingungen in Außenbereichen sind gegenüber denjenigen in Innenräumen durch größere Luftaustauschflächen an einzelnen Arbeitsplätzen und durch eine größere Varianz der Luftgeschwindigkeiten charakterisiert.

Während in Innenräumen mit natürlicher Lüftung in den meisten Expositionssituationen nur begrenzte Luftaustauschflächen, wie Fenster und Türen oder Hallentore zur Verfügung stehen, kann der Luftaustausch in Außenbereichen an exponierten Personen ungehindert mit der jeweiligen Luftgeschwindigkeit erfolgen. Legt man z. B. eine Halbkugel als virtuellen Bilanzraum um eine beschäftigte Person in Außenbereichen, so ergibt sich ein Bilanzraumvolumen von

$$V_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \quad (1)$$

Die sich austauschende Luftmenge im Bilanzraum ergibt sich zu

$$\dot{V}_{L,AB} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v_{L,AB} = \pi \cdot R^2 \cdot v_{L,AB} \quad (2)$$

Dabei wird berücksichtigt, dass die Hälfte der Kugeloberfläche der Halbkugel aus Massenbilanzgründen für den Lufteintritt und die andere Hälfte für den Luftaustritt benötigt wird. Die flache Schnittfläche der Halbkugel soll sich am Boden befinden und daher nicht am Stoffaustausch beteiligt sein.

Der stündliche Luftwechsel λ ergibt sich nun aus dem Quotienten

$$\lambda = \frac{V_{L,AB}}{V_R} = \frac{1,5}{R} \cdot v_{L,AB} \quad (3)$$

Die Luftgeschwindigkeit $v_{L,AB}$ ergibt sich aus der Windgeschwindigkeit im Außenbereich und ist somit von der Jahreszeit, den Wetterbedingungen sowie den örtlichen Mikrobedingungen abhängig. Die Häufigkeiten der mittleren Windgeschwindigkeiten (Stundenwerte) sind in der Regel „rechtsschief“ verteilt und reichen in bebauten Gebieten von 0 m/s (Windstille) bis zu ca. 4 m/s und mehr. Die Annahme einer Luftgeschwindigkeit von 0,2 m/s ist sehr konservativ und führt dennoch unter Zugrundelegung eines Bilanzraumradius R von 2 m zu einem Luftwechsel $\lambda = 540 \text{ h}^{-1}$.

Belastungen durch Rauch, z. B. im Rahmen einer „Raucherpause“ auf Baustellen, werden daher in Außenbereichen schnell eliminiert. Da die Luftwechselzahl sowohl die Höhe der sich maximal einstellenden Rauchkonzentration als auch die Geschwindigkeit der Rauchentfernung aus dem Bilanzraum beeinflusst, kann man davon ausgehen, dass Rauchbelastungen in Außenbereichen gegenüber denjenigen in Innenräumen zu vernachlässigen sind.

7.7 Sonstige Arbeitsbereiche

In der Vergangenheit gab es einige weitere Arbeitsbereiche, in denen durchaus erhebliche Belastungen durch Tabakrauch entstehen konnten. Beispiele sind Raucherabteile oder Raucherbereiche, die Schaffner oder Flugbegleiter bei der Ausübung ihrer Tätigkeit aufsuchen mussten. Ein weiterer Bereich sind Fahrerkabinen: Zahlreiche Berufskraftfahrer fahren, z. B. bei der Auslieferung von Möbeln, zu zweit; dabei kann es während der Fahrt in der recht kleinen Fahrerkabine zur Belastung mit Tabakrauch kommen.

8 Expositionsmodell für Tabakrauch in der Raumluft von Arbeitsbereichen

8.1 Problemstellung

Die Belastung der Beschäftigten gegenüber Emissionen aus Tabakprodukten hängt von vielen Einflussgrößen ab, die zudem von Tag zu Tag stark variieren können. Daher muss zur Bestimmung der Rauchbelastung von einzelnen Personen einerseits auf umfangreiche personenbezogene Messdaten zurückgegriffen werden. Existierende Messinformationen, z. B. aus Messdatenbanken, können verwendet werden, wenn eine ausreichend genaue Übereinstimmung der emissionsbeeinflussenden, arbeitsorganisatorischen, räumlichen und klimatischen Bedingungen nachgewiesen wurde.

Andererseits entwickelten verschiedene Autoren Expositionsmodelle [79 bis 81], da die individuellen Expositionsbedingungen von existierenden Messinformationen abweichen können. Diese Modelle ermöglichen es, durch Verwendung von vorliegenden Informationen zur Schadstoffemission (Messungen), zur Arbeitsorganisation, zur Lüftung etc. in mathematischen Bilanzgleichungen eine Abschätzung der individuellen ETS-Belastung in Abhängigkeit von wesentlichen Einflussgrößen zu geben.

Zur Bestimmung der ETS-Belastung eines Beschäftigten über einen längeren Zeitraum, in dem die Expositions determinanten schwanken, kann es notwendig sein, die Modellierung nicht als „Punktschätzung“ vorzunehmen, sondern in Form einer probabilistischen Expositionsmodellierung anzulegen [82].

Im Folgenden wird ein sogenanntes Ein-Zonen-Modell zur Ermittlung der Konzentration von ETS in der Atemluft an Arbeitsplätzen beschrieben, das die Annahmen von *Repace et al.* [83] für die Luftkonzentration von Nikotin berücksichtigt. Dieses Modell kann sowohl als deterministische Punktschätzung als auch probabilistisch über eine Monte-Carlo-Simulation eingesetzt werden. Während *Repace et al.* die Berechnungen zur Ermittlung der „Salivary Cotinine“-Konzentration im Körper verwendeten, sollen im folgenden Modell die Berechnung nur bis zur Bestimmung der Nikotin-Luftkonzentration geführt werden.

8.2 Beschreibung der Modellgleichungen

In einem Bilanzraum kann eine homogene Vermischung von emittierten Stoffen angenommen werden, wenn viele diffuse Quellen, z. B. viele Zigaretten, vorliegen oder eine Quelle im Bilanzraum intensiv bewegt wird, oder wenn eine intensive Vermischung der Emission einer Quelle durch Konvektion erfolgt. Diese Voraussetzungen sind an sehr vielen Arbeitsplätzen mit Rauchbelastung, etwa in Gaststätten, Bars oder Restaurants, erfüllt.

Die aktuelle Konzentration eines Stoffes i , in unserem Falle Nikotin, in einem homogen vermischten Bilanzraum berechnet sich zu [81]

$$x_i = \frac{\dot{m}_i}{\dot{V}_{air}} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot (t_1 - t_0)}) + x_{i,0} \cdot e^{-\lambda \cdot (t_1 - t_0)} \quad (4)$$

mit

x_i = Konzentration des Schadstoffes i im Bilanzraum in mg/m^3

m_i	=	Massenstrom des emittierten Schadstoffes in mg/h
V_{air}	=	Volumenstrom an Frischluft in den Bilanzraum in m ³ /h
$x_{i,ex}$	=	Konzentration des Schadstoffes i in der Außenluft in mg/m ³
$x_{i,0}$	=	Konzentration des Schadstoffes im Bilanzraum bei t = 0 in mg/m ³
t	=	Zeit in h
λ	=	Luftwechselzahl in h ⁻¹

Die Nikotinemission lässt sich darstellen als

$$\dot{m}_i = r \cdot G_N \cdot n_s \quad (5)$$

mit

r	=	Anzahl Zigaretten je Raucher und Stunde in Stück/h
G_N	=	Nikotin-Emissionsrate (Masse/Zigarette) in mg/Stück
n_s	=	Anzahl Raucher im Raum

Der effektiv wirksame Frischluftstrom ergibt sich zu

$$\dot{V}_{air} = \lambda \cdot V_R \cdot q \quad (6)$$

mit

V_R	=	Volumen des Bilanzraumes in m ³
q	=	Absorptionsfaktor auf Oberflächen [> 1]

Diese drei Gleichungen sind ausreichend, um die Nikotinkonzentration in der Luft in Abhängigkeit von den aufgeführten Variablen (Expositionsdeterminanten) zu berechnen.

8.3 Methodik der probabilistischen Modellierung

Für einen Arbeitsplatz ermittelte Werte sind nicht ohne Weiteres auf andere Büroarbeitsplätze zu übertragen. Dort ist z. B. die Raucherdichte anders, es werden andere Zigaretten geraucht oder es wird anders gelüftet. Zudem kann man anführen, dass die im Beispiel verwendeten Zahlenwerte sicherlich nicht über die Zeit konstant waren, sondern ständig variiert haben werden.

Ist man in der Lage, die Werte der wesentlichen Einflussgrößen der oben aufgeführten Modellgleichungen in ihrer zeitlichen Häufigkeitsverteilung zu beschreiben, kann über ein Monte-Carlo-Verfahren folgendermaßen vorgegangen werden [81]:

- Die Parameter werden in ihrer Spannweite und Häufigkeitsverteilung einzeln beschrieben, z. B. die Anzahl der Raucher in einem Raum, die Zahl der jeweils gerauchten Zigaretten, die Luftwechselrate etc.
- Nun wird über ein Zufallsverfahren (Monte-Carlo-Verfahren) aus den Verteilungen der in das Expositionsmo­dell (Gl. 4 bis 6) eingehenden Parameter ein Anfangsdatensatz zusammengestellt und die Luftkonzentration an Nikotin berechnet. Dieses Ergebnis wird gespeichert.

- In einem zweiten Durchgang wird wiederum über das Zufallsverfahren ein anderer Anfangsdatensatz zusammengestellt und erneut die Luftkonzentration von Nikotin ermittelt. Auch dieser Wert wird gespeichert.
- Wiederholt man dieses Verfahren 500-, 1 000- oder 10 000-mal, erhält man für die berechnete Nikotin-Luftkonzentration eine eigene Verteilung, in der Regel eine „rechtschiefe“ lognormale Häufigkeitsverteilung.
- Diese Verteilung kann nun wie eine Verteilung von Messdaten ausgewertet werden. Man kann also bestimmen, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, dass unter den vorgegebenen Annahmen an einem konkreten Arbeitsplatz die Nikotinkonzentration in der Luft größer oder kleiner ist als ein Wert x .

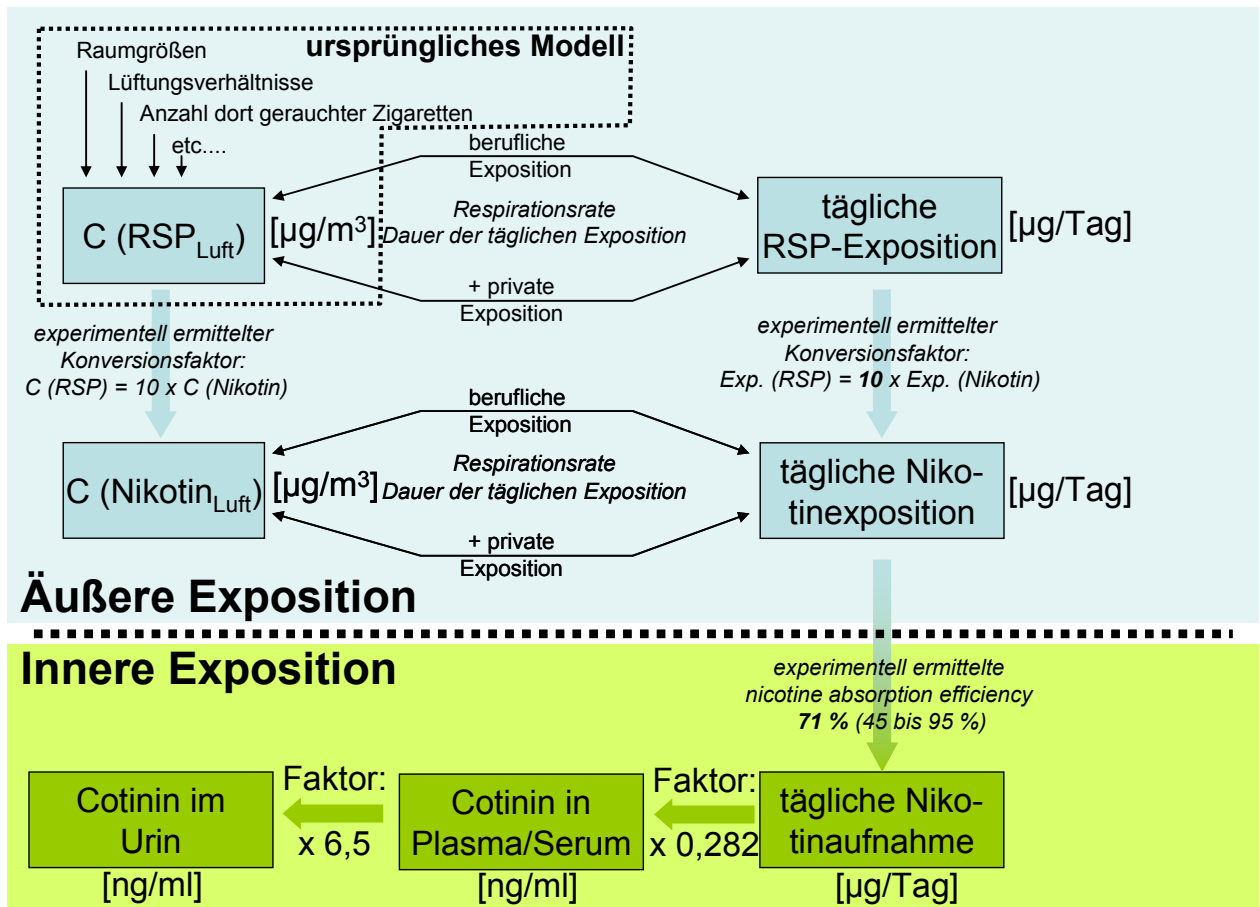
8.4 Das Repace-Lowrey-Modell

Das ursprüngliche Modell von *Repace* und *Lowrey* stellt einen mathematischen Zusammenhang (mass balance equation) zwischen den räumlichen Gegebenheiten sowie weiteren die Exposition mitbestimmenden Faktoren (Anzahl gerauchter Zigaretten, Lüftungsverhältnisse, etc.) und der in solchen Räumen vorherrschenden Konzentration von RSP in der Luft her (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Daraus ergibt sich dann unter Berücksichtigung der Aufenthaltsdauer eine arbeits-täglich-kumulative Exposition gegenüber RSP für einen exponierten Nichtraucher in Milligramm pro Tag [35]. Später wurde dieses Modell dahingehend erweitert, dass anhand der äußeren Bedingungen auch Nikotinkonzentrationen in der Arbeitsplatzluft sowie Cotininkonzentrationen im Urin und in Plasma/Serum oder Speichel [83 bis 85] berechnet werden können (Modelling nonsmokers' exposure). Dabei werden experimentell ermittelte Standardfaktoren eingesetzt, um von einer RSP-Konzentration oder -Dosis in eine Nikotinkonzentration oder -dosis umzurechnen (Faktor 1/10). Mit einem weiteren experimentell ermittelten Faktor (71/100) wird aus einer täglichen äußeren Nikotinexposition in eine tägliche Nikotinaufnahme umgerechnet. Aus der täglichen Nikotinaufnahme wird schließlich unter Berücksichtigung von kontinuierlicher Nikotinaufnahme, Metabolisierungskinetik und Ausscheidungskinetik des Metaboliten (steady state) ein Cotininspiegel im Plasma berechnet. Dieser wiederum lässt sich über einen weiteren Faktor (6,5) in eine Cotininkonzentration im Urin umrechnen.

Mit dem Modell von *Repace* und *Lowrey* (Abbildung 7, Seite 48) lassen sich also aus (retrospektiv zu ermittelnden) räumlichen Gegebenheiten äußere Belastungen gegenüber RSP und Nikotin berechnen und daraus dann Cotininkonzentrationen im biologischen Material. Vice versa können mit dem Modell zumindest auf Kollektivbasis auch Cotininkonzentrationen in biologischem Material (Urin, Plasma, Serum, Speichel) in eine tägliche Menge aufgenommenes RSP umgerechnet werden und, sofern die räumlichen Gegebenheiten sowie das Verhältnis Arbeitszeit zu Freizeit genau bekannt sind, auch in eine RSP- oder Nikotin-Raumluftkonzentration am Arbeitsplatz abgeschätzt werden.

Die Stärken des Modells liegen in der Abschätzung der Exposition gegenüber RSP und Nikotin in der Raumluft im Hochdosisbereich. Die Teile des Modells, die sich auf die innere Belastung und insbesondere auf Erkrankungsrisiken beziehen, müssen hingegen kritisch betrachtet werden.

Abbildung 7:
Das Modell von Repace und Lowrey zur rechnerischen Abschätzung der ETS-Exposition



9 Grundlagen für Berechnungsbeispiele

Für alle Berechnungen wurden folgende Grundannahmen getroffen:

- Nikotinemission: 1,8 mg pro Zigarette (Emission nach *Repace*) [85]
- Absorptionsfaktor für Nikotin auf Oberflächen: 2,2 (vgl. [85])

9.1 Gastgewerbe

Die Berechnungsparameter für das Gastgewerbe zeigt Tabelle 8, für Arbeitsplätze ohne technische Lüftung und für Büroarbeitsbereiche sind sie in Tabelle 9 und für Arbeitsbereiche mit technischer Lüftung in Tabelle 10 zusammengestellt.

Tabelle 8:
Grundvoraussetzungen für die Berechnungen im Gastgewerbe
(Zahlen basieren auf Untersuchungen der BGN)

Betriebsart	Anzahl	Raumgröße in m ²	Raumvolumen in m ³	Luftwechsel- rate in 1/h	Anzahl Gäste pro m ²	Raucher- quote in %	Zigaretten pro Raucher und Stunde
Diskotheken	7	bis 2 500	100 bis 10 000 Median 250	0,5 bis 7 Median 4,2	bis zu 1	50	2
Gaststätte ohne Speisen	45	50 bis 150	150 bis 450 Median 192	0,4 bis 6 Median 3,1	bis zu 0,5 Median 0,2	50	3
Gaststätte mit Speisen und Restaurants	41	50 bis 800	150 bis 2 500 Median 300	0,7 bis 7,5 Median 3	0,1 bis 0,3 Median 0,16	30	3

9.2 Arbeitsplätze ohne technische Lüftung und Büroarbeitsbereiche

Tabelle 9:
Grundvoraussetzungen für die Berechnungen an
Büroarbeitsplätzen und vergleichbaren Arbeitsbereichen

Betriebsart	Raumgröße in m ²	Raumvolumen in m ³	Luftwechsel- rate in 1/h	Anzahl Mitarbeiter	Raucher- quote in %	Zigaretten pro Raucher und Stunde
Büro 1	15 bis 25	40 bis 70	0,5 (Winter) 2 (Sommer)	2	50	1 bis 2
Büro 2	25 bis 35	70 bis 100	0,5 (Winter) 2 (Sommer)	4	50	1 bis 2
Gruppen-/ Großraumbüro	40 bis 500	120 bis 1 500	0,5 bis 4*	ca. 1 Mitarbeiter auf 10 m ²	50	1 bis 2
Messwarte/ Meisterbüro	10 bis 250	25 bis 750	0,5 bis 4*	1 bis 10	50**	1 bis 2 plus Externe
Fahrerkabine im gewerblichen Transport	2 bis 3	2 bis 8	5 bis 100 Median 10	2	50	1 bis 2
Pausenraum	10 bis 50	25 bis 125	0,5 bis 2	ca. 1 Mitarbeiter auf 2,5 m ²	50	6

* mit Klimatisierung, Alt-Anlage, ** Kollegen und Kolleginnen nutzen den Raum als „Raucherraum“

9.3 Arbeitsbereiche mit technischer Lüftung

Tabelle 10:
Grundvoraussetzungen für die Berechnungen an Arbeitsplätzen mit technischer Lüftung

Betriebsart	Hallen- größe in m ³	Luftwechsel in der Werkhalle in 1/h	Lokale Fläche des Arbeitsbe- reiches in m ²	Bilanzraum um die Maschine in m ³	Lokaler Luftwechsel in 1/h	Mitarbeiter im lokalen Arbeitsbereich	Raucher- quote in %	Zigaretten pro Raucher und Stunde
Werkhalle	5 000 bis 50 000	1 bis 5	15 bis 250	30 bis 500	?	2 bis 10	50	1 bis 2

10 Expositionsrechnungen für Modellarbeitsbereiche

Auf der Basis des vorgestellten Berechnungsmodells und der in Kapitel 9 genannten Randbedingungen wurden Expositionsrechnungen für verschiedene Belastungsszenarien durchgeführt.

Für die Festlegung der Randbedingungen in Diskotheken und Gaststätten wurde auf berufsgenossenschaftliche Nikotinmessungen in Diskotheken und Gaststätten zurückgegriffen. Einige Ergebnisse der Modellierungen werden im Folgenden beschrieben. Die Eingangswerte der Berechnungen sind in Tabelle 11 zusammengefasst.

Tabelle 11:
Berechnungsbeispiele für die Nikotinexposition in Arbeitsbereichen

Szenario	Raumvolumen in m ³	Luftwechsel- rate in h ⁻¹	Nikotinquelle in mg h ⁻¹
Diskotheke, Median	343	2,5	105,3
Diskotheke, 75. Perzentil	1 296	0,6	212,4
Gaststätte ohne Speisen, Median	180	3,4	38,3
Gaststätte ohne Speisen, 75. Perzentil	318	1,8	97,7
Büro 1, Sommer	55	2	3,6
Büro 1, Winter	55	0,5	3,6

Die Anzahl der gerauchten Tabakprodukte pro Zeit ergab sich aus den Daten der betrieblichen Messungen der Berufsgenossenschaften. Bei den Gaststätten und Diskotheken wurden jeweils die Informationen aus dem Median und dem 75. Perzentil der dokumentierten Messungen extrahiert, wobei das 75. Perzentil einen realistischen „Worst-case“ beschreiben soll. Um darzustellen, dass das verwendete Modell die Realität gut wiedergibt, wurden die entsprechenden Mediane bzw. 75. Perzentile der Betriebsmessungen mit aufgeführt.

10.1 Nikotinbelastung in Diskotheken

Die Berechnung der Nikotinbelastung in Diskotheken (Abbildungen 8 und 9) ergab die in den Abschnitten 10.1.1 und 10.1.2 dargestellten Konzentrationsverläufe für Nikotin in der Raumluft. Dabei wurde davon ausgegangen, dass in dem betrachteten Bilanzraum sechs Stunden lang geraucht wurde und anschließend für zwei Stunden nur noch gelüftet wurde. Der Luftwechsel blieb über die gesamte Zeit konstant.

In den folgenden Abbildungen 8 bis 23 gilt:

- Der Konzentrationsverlauf „X Nikotin“ beschreibt den aktuellen Verlauf der Nikotinkonzentration, etwa vergleichbar mit den Ergebnissen eines direkt anzeigenden Messgerätes.
- Der Konzentrationsverlauf „Xq Nikotin“ beschreibt den über die bisherige Berechnungszeit gemittelten Konzentrationsverlauf, vergleichbar mit einem sammelnden Messgerät.

10.1.1 Diskothek – Median

Die Eingangswerte dieses Szenarios ergaben sich aus parallel zu Messungen erhobenen Daten der BGN. Dabei wurden jeweils die Medianwerte der erhobenen Daten für das Raumvolumen, die Lüftung und die Intensität der Nikotinquelle eingesetzt.

- Raumvolumen: 343 m³
- Luftwechselrate: 2,5 h⁻¹
- Nikotinemission: 105,3 mg h⁻¹

Die Luftkonzentration an Nikotin erreicht bei der vorgegebenen Luftwechselrate von 2,5 h⁻¹ sehr schnell einen stationären Wert von 0,056 mg/m³ bzw. 56 µg/m³, der nach dem Ende des Rauchens innerhalb von 30 min wieder auf den Ausgangswert vor der Exposition gegenüber Tabakrauch reduziert wird (Abbildung 8). Erfahrungen der BGN haben gezeigt, dass die relevanten Belastungen in Gastronomiebetrieben in der Regel über einen Zeitraum von bis zu sechs Stunden auftreten. Die über sechs Stunden gemittelte Luftkonzentration liegt bei 54 µg/m³, die über alle acht Stunden gemittelte Luftkonzentration bei 42 µg/m³. Die Ergebnisse (Median) der betrieblichen Messungen lagen bei 95 µg/m³.

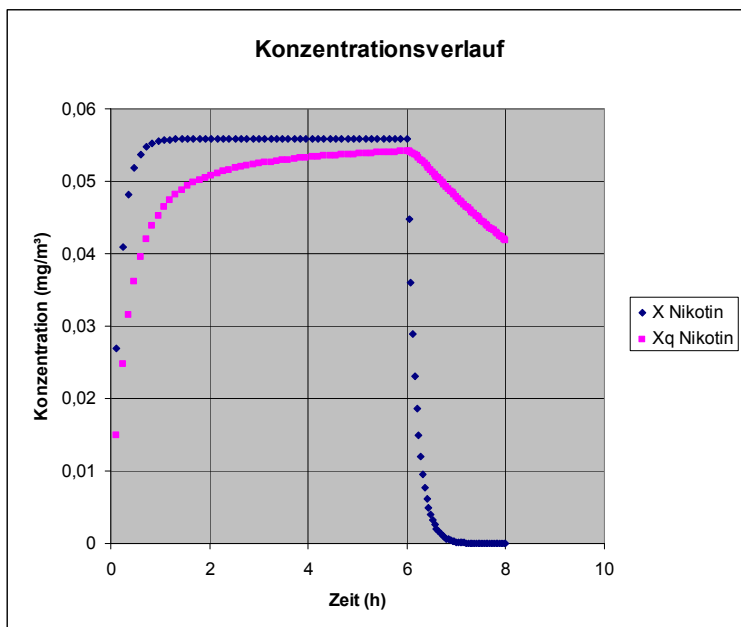


Abbildung 8:
Berechneter Konzentrationsverlauf für Nikotin in Diskotheken – Median

10.1.2 Diskothek – 75. Perzentil

Die Eingangswerte dieses Szenarios ergaben sich aus parallel zu Messungen erhobenen Daten der BGN. Dabei wurden jeweils die 75-Perzentil-Werte der erhobenen Daten für das Raumvolumen und die Intensität der Nikotinquelle eingesetzt. Die Lüftung jedoch wurde so gewählt, dass 75 % der erhobenen Luftwechseldaten oberhalb des gewählten Wertes lagen.

- Raumvolumen: 1 296 m³
- Luftwechselrate: 0,6 h⁻¹
- Nikotinemission: 212,4 mg h⁻¹

Die Luftkonzentration an Nikotin erreicht bei der vorgegebenen Luftwechselrate von 0,6 h⁻¹ sehr schnell einen stationären Wert von 0,124 mg/m³ bzw. 124 µg/m³, der nach dem Ende des Rauchens erst nach mehr als 120 Minuten wieder auf den Ausgangswert vor der Exposition gegenüber Tabakrauch reduziert wird (Abbildung 9). Die über sechs Stunden

gemittelte Luftkonzentration liegt bei $108 \mu\text{g}/\text{m}^3$, die über alle acht Stunden gemittelte Luftkonzentration bei $92 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Ergebnisse der betrieblichen Messungen lagen bei $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für das 75. Perzentil, bei $148 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für das 90. Perzentil und bei $168 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für das 95. Perzentil.

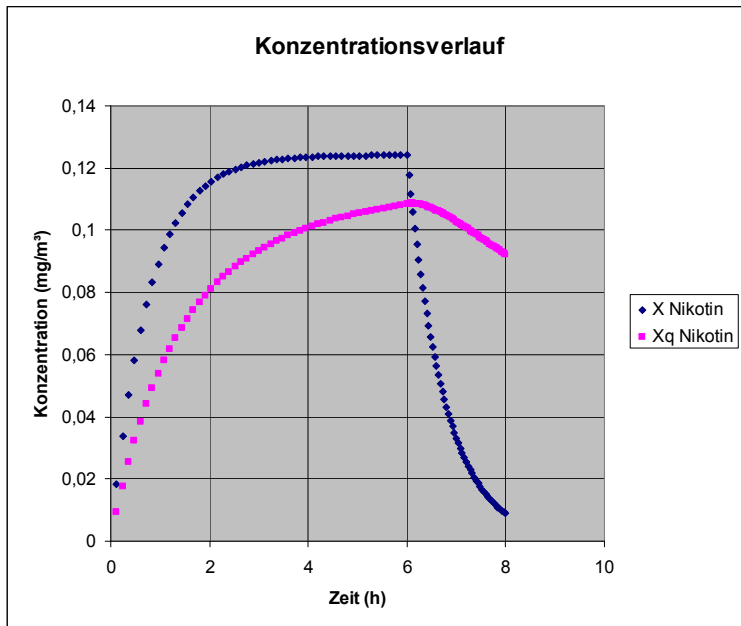


Abbildung 9:
Berechneter Konzentrationsverlauf für Nikotin in Diskotheken – 75. Perzentil

10.2 Nikotinbelastung in Gaststätten ohne Speisen

10.2.1 Gaststätten – Median

Die Eingangswerte dieses Szenarios ergaben sich aus parallel zu Messungen erhobenen Daten der BGN in Gaststätten (Kneipen). Dabei wurden jeweils die Medianwerte der erhobenen Daten für das Raumvolumen, die Lüftung und die Intensität der Nikotinquelle eingesetzt.

- Raumvolumen: 180 m^3
- Luftwechselrate: $3,4 \text{ h}^{-1}$
- Nikotinemission: $38,3 \text{ mg h}^{-1}$

Die Luftkonzentration an Nikotin erreicht bei der vorgegebenen Luftwechselrate von $3,4 \text{ h}^{-1}$ sehr schnell einen stationären Wert von $0,028 \text{ mg}/\text{m}^3$ bzw. $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, der nach dem Ende des Rauchens innerhalb von ca. 45 min wieder auf den Ausgangswert vor der Exposition gegenüber Tabakrauch reduziert wird (Abbildung 10). Die über sechs Stunden gemittelte Luftkonzentration liegt bei $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, die über alle acht Stunden gemittelte Luftkonzentration bei $21,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Ergebnisse (Median) der betrieblichen Messungen lagen bei $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

10.2.2 Gaststätten – 75. Perzentil

Die Eingangswerte dieses Szenarios ergaben sich aus parallel zu Messungen erhobenen Daten der BGN in Gaststätten (Kneipen). Dabei wurden jeweils die 75-Perzentil-Werte der erhobenen Daten für das Raumvolumen und die Intensität der Nikotinquelle eingesetzt. Die Lüftung jedoch wurde so gewählt, dass 75 % der erhobenen Luftwechseldaten oberhalb des gewählten Wertes lagen.

- Raumvolumen: 318 m³
- Luftwechselrate: 1,8 h⁻¹
- Nikotinemission: 97,7 mg h⁻¹

Die Luftkonzentration an Nikotin erreicht bei der vorgegebenen Luftwechselrate von 1,8 h⁻¹ nach ca. 1,5 Stunden einen stationären Wert von 0,078 mg/m³ bzw. 78 µg/m³, der nach dem Ende des Rauchens innerhalb von ca. 90 Minuten wieder auf den Ausgangswert vor der Exposition gegenüber Tabakrauch reduziert wird (Abbildung 11). Die über sechs Stunden gemittelte Luftkonzentration liegt bei 74,3 µg/m³, die über alle acht Stunden gemittelte Luftkonzentration bei 58,2 µg/m³. Die Ergebnisse der betrieblichen Messungen lagen bei 89 µg/m³ für das 75. Perzentil, bei 105 µg/m³ für das 90. Perzentil und bei 115 µg/m³ für das 95. Perzentil.

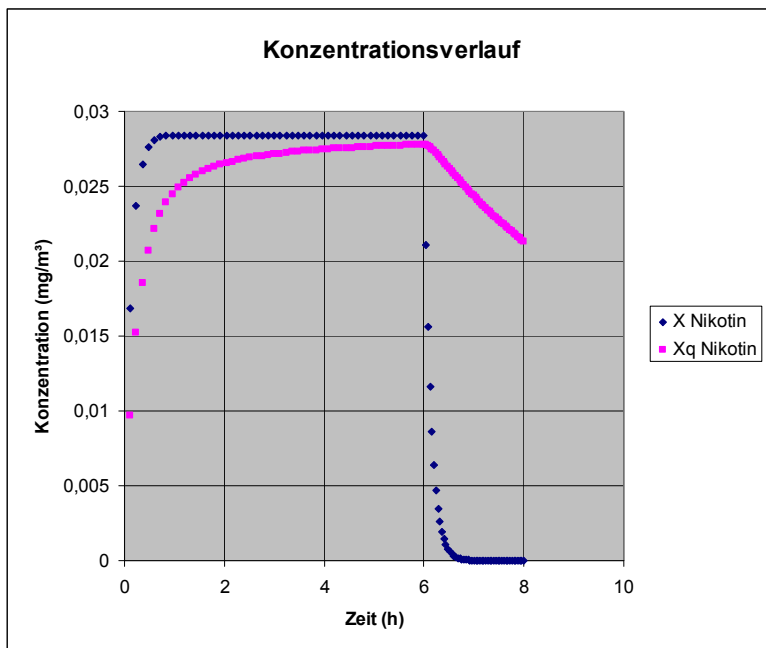


Abbildung 10:
Berechneter Konzentrationsverlauf für Nikotin in Gaststätten ohne Speisen – Median

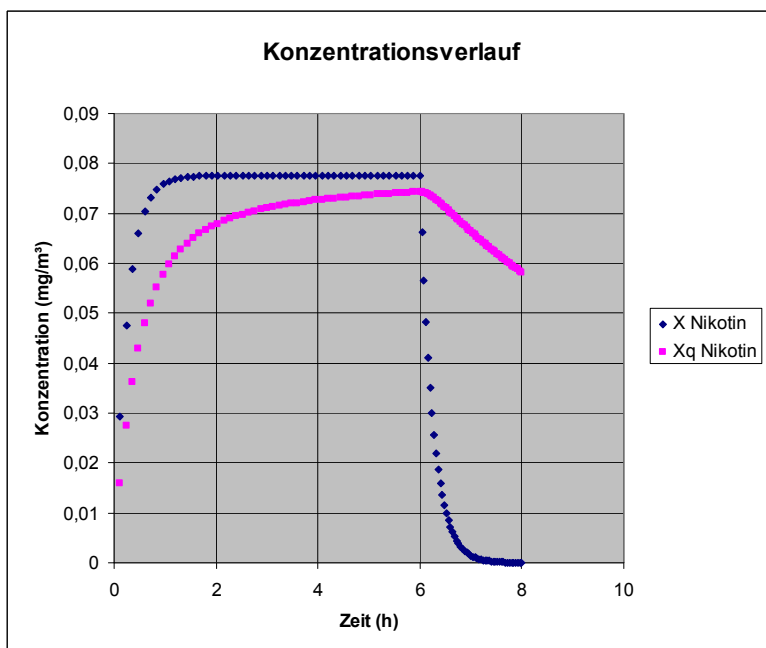


Abbildung 11:
Berechneter Konzentrationsverlauf für Nikotin in Gaststätten ohne Speisen – 75. Perzentil

10.3 Restaurants und Gaststätten mit Speisen

Die Eingangswerte dieses Szenarios ergaben sich aus den in Tabelle 8 aufgeführten Mediandaten für das entsprechende Szenario. Im Einzelnen wurde mit folgenden Werten gerechnet:

- Grundfläche der Gaststätte 110 m²
- Raumvolumen 300 m³ (Höhe ca. 2,75 m)
- Luftwechselrate 3 h⁻¹
- Anzahl der Gäste je m² 0,16
- Anteil der Raucher an Gästen (Raucherquote) 30 %
- Zigaretten pro Raucher und Stunde 3
- Zeitdauer mit Zigarettenemissionen 6 h

Die Luftkonzentration an Nikotin erreicht bei der vorgegebenen Luftwechselrate von 3 h⁻¹ schnell einen stationären Wert von 0,0144 mg/m³ bzw. 14,4 µg/m³, der nach dem Ende des Rauchens (nach 6 h) durch die Lüftung schnell wieder vermindert wird (Abbildung 12). Die über acht Stunden gemittelte Luftkonzentration an Nikotin liegt bei 10,8 µg/m³.

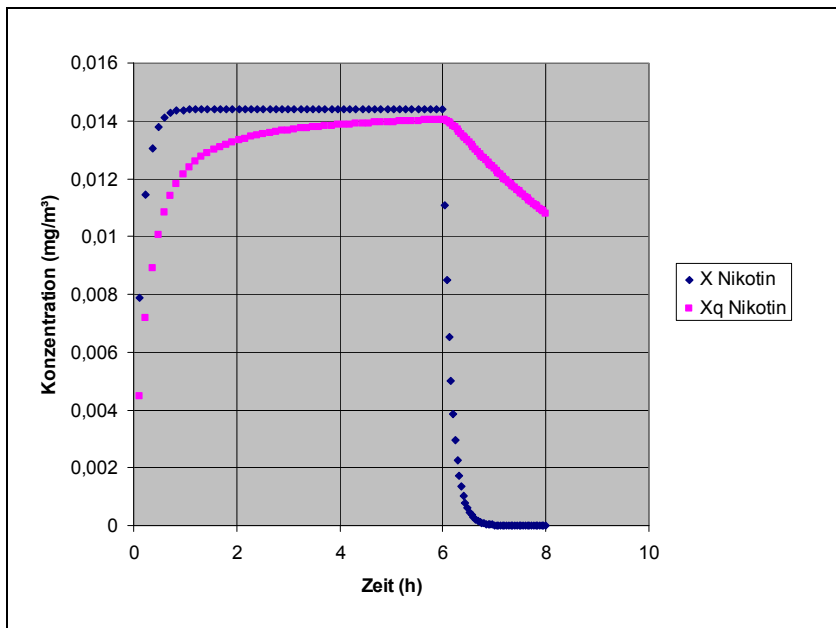


Abbildung 12:
Berechneter Konzentrationsverlauf für Nikotin in Restaurants und Gaststätten mit Speisen

10.4 Büroarbeitsplätze (kleines Büro)

Die beiden Szenarien für Büros des Typs 1 beziehen sich auf kleine Räume, in denen zwei Personen arbeiten und eine davon als „normaler Raucher“ ein bis zwei Zigaretten/Stunde raucht. Auch hier wird unterschieden in Situationen mit guter (Sommer) und schlechter Lüftung (Winter). Die Tabakrauchexposition wird für die gesamte Arbeitszeit von acht Stunden berechnet.

Die Eingangswerte der Abschätzung ergaben sich aus den in Tabelle 9 aufgeführten Daten für das entsprechende Szenario. Im Einzelnen wurde mit folgenden Werten gerechnet:

- Grundfläche des Büros 22 m²
- Raumvolumen 55 m³ (Höhe ca. 2,50 m)
- Luftwechselrate im Winter 0,5 h⁻¹
- Luftwechselrate im Sommer 2 h⁻¹

- Anzahl der Mitarbeiter 2
- Raucherquote 50 %
- Zigaretten pro Raucher und Stunde 2
- Zeitdauer mit Zigarettenemissionen 8 h

10.4.1 Winterszenario

Die Luftkonzentration an Nikotin erreicht bei der vorgegebenen Luftwechselrate von $0,5 \text{ h}^{-1}$ nach acht Stunden einen aktuellen Wert von $0,0595 \text{ mg/m}^3$ bzw. $59,5 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ (Abbildung 13). Die über acht Stunden gemittelte Luftkonzentration an Nikotin liegt bei $53 \text{ }\mu\text{g/m}^3$.

10.4.2 Sommerszenario

Die Luftkonzentration an Nikotin erreicht bei der vorgegebenen Luftwechselrate von $2,0 \text{ h}^{-1}$ einen stationären Wert von $0,0149 \text{ mg/m}^3$ bzw. $14,9 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ (Abbildung 14). Die über acht Stunden gemittelte Luftkonzentration an Nikotin liegt bei $14,5 \text{ }\mu\text{g/m}^3$.

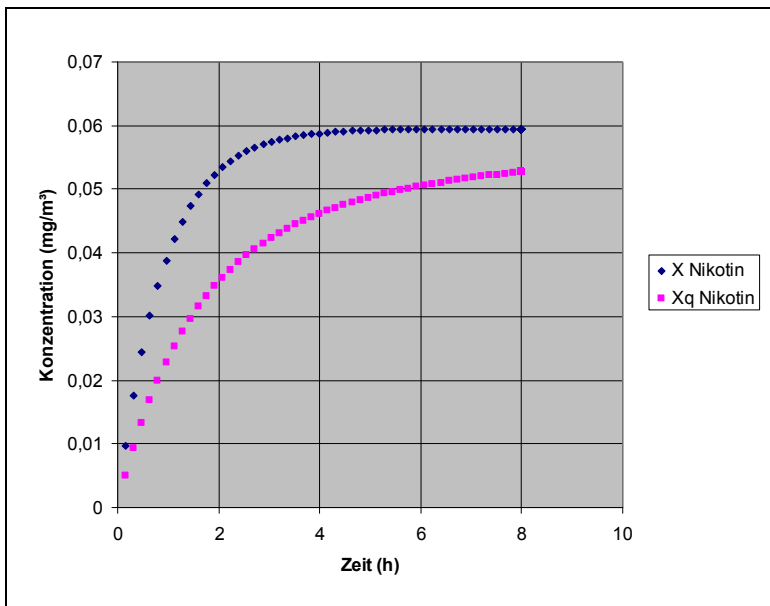


Abbildung 13:
Berechneter Konzentrationsverlauf für Nikotin in kleinen Büros (Typ 1) – Median (Winter)

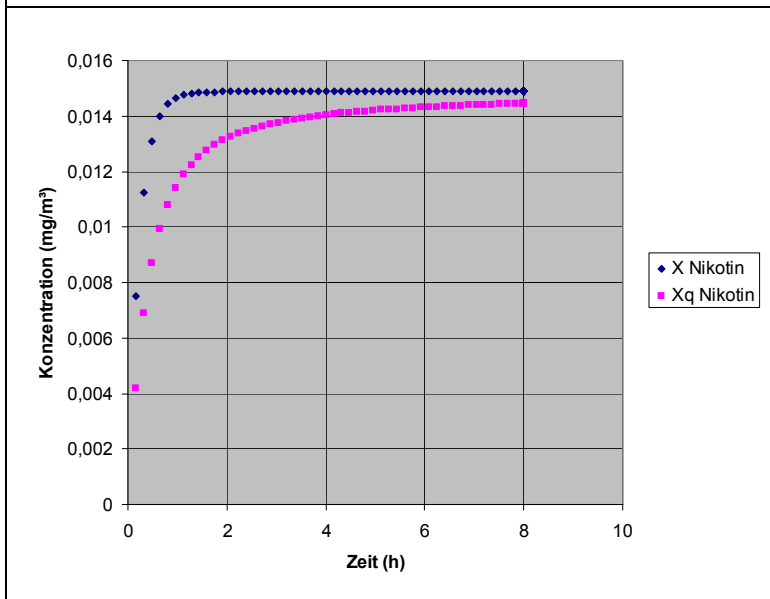


Abbildung 14:
Berechneter Konzentrationsverlauf für Nikotin in kleinen Büros (Typ 1) – Median Sommer

10.5 Büroarbeitsplätze (mittelgroßes Büro)

Die Eingangswerte dieser Abschätzung ergaben sich aus den in Tabelle 9 aufgeführten Daten für das entsprechende Szenario „Büro 2“. Im Einzelnen wurde mit folgenden Werten gerechnet:

- Grundfläche des Büros 30 m²
- Raumvolumen 85 m³ (Höhe ca. 2,80 m)
- Luftwechselrate im Winter 0,5 h⁻¹
- Luftwechselrate im Sommer 2 h⁻¹
- Anzahl der Mitarbeiter 4
- Raucherquote 50 %
- Zigaretten pro Raucher und Stunde 2
- Zeitdauer mit Zigarettenemissionen 8 h

10.5.1 Winterszenario

Die Luftkonzentration an Nikotin erreicht bei der vorgegebenen Luftwechselrate von 0,5 h⁻¹ nach acht Stunden einen aktuellen Wert von 0,077 mg/m³ bzw. 77 µg/m³ (Abbildung 15). Die über acht Stunden gemittelte Luftkonzentration an Nikotin liegt bei 69 µg/m³.

10.5.2 Sommerszenario

Die Luftkonzentration an Nikotin erreicht bei der vorgegebenen Luftwechselrate von 2,0 h⁻¹ einen stationären Wert von 0,0193 mg/m³ bzw. 19,3 µg/m³ (Abbildung 16). Die über acht Stunden gemittelte Luftkonzentration an Nikotin liegt bei 18,7 µg/m³.

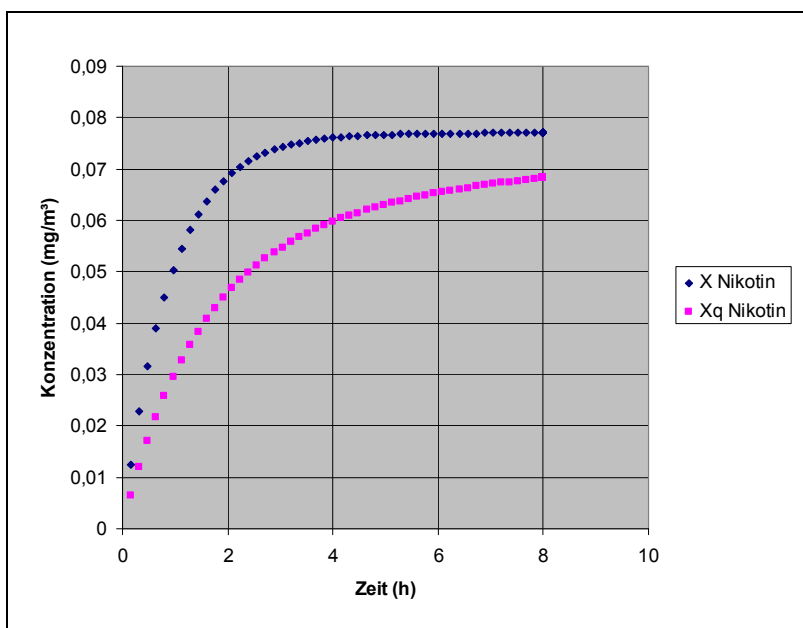


Abbildung 15:
Berechneter Konzentrations-
verlauf für Nikotin in mittelgroßen
Büros im Winter

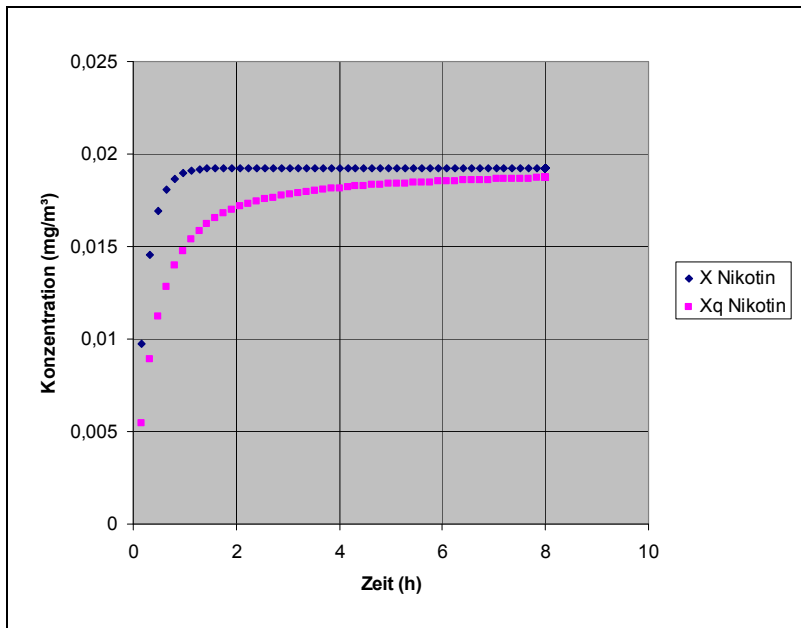


Abbildung 16:
Berechneter Konzentrations-
verlauf für Nikotin in mittelgroßen
Büros im Sommer

10.6 Gruppen-/Großraumbüro

Die Eingangswerte der Abschätzung ergaben sich aus den in Tabelle 9 aufgeführten Daten für das entsprechende Szenario. Im Einzelnen wurde mit folgenden Werten gerechnet:

- Grundfläche des Büros 160 m²
- Raumvolumen 480 m³ (Höhe ca. 3,00 m)
- Luftwechselrate im Winter 0,5 h⁻¹
- Luftwechselrate im Sommer 4 h⁻¹
- Anzahl der Mitarbeiter 16 (ein Mitarbeiter je 10 m²)
- Raucherquote 50 %
- Zigaretten pro Raucher und Stunde 1
- Zeitdauer mit Zigarettenemissionen 8 h

10.6.1 Winterszenario

Die Luftkonzentration an Nikotin erreicht bei der vorgegebenen Luftwechselrate von 0,5 h⁻¹ nach acht Stunden einen aktuellen Wert von 0,0273 mg/m³ bzw. 27,3 µg/m³ (Abbildung 17). Die über acht Stunden gemittelte Luftkonzentration an Nikotin liegt bei 24,2 µg/m³.

10.6.2 Sommerszenario

Die Luftkonzentration an Nikotin erreicht bei der vorgegebenen Luftwechselrate von 4,0 h⁻¹ einen stationären Wert von 0,0034 mg/m³ bzw. 3,4 µg/m³ (Abbildung 18). Die über acht Stunden gemittelte Luftkonzentration an Nikotin liegt bei 3,35 µg/m³.

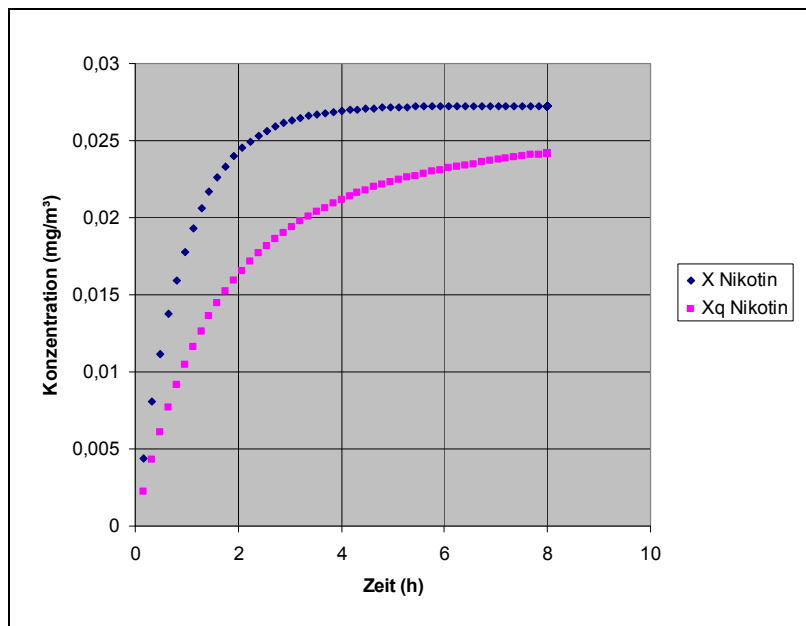


Abbildung 17:
Berechneter Konzentrations-
verlauf für Nikotin in Gruppen-/
Großraumbüros im Winter

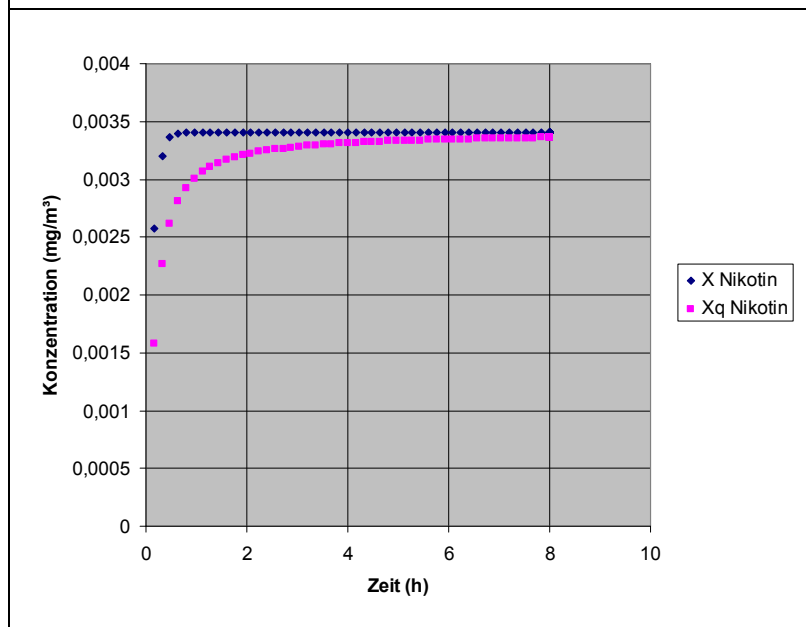


Abbildung 18:
Berechneter Konzentrations-
verlauf für Nikotin in Gruppen-/
Großraumbüros im Sommer

10.7 Messwarte/Meisterbüro

Die Eingangswerte dieses Szenarios ergaben sich aus den entsprechenden Daten in Tabelle 9. Im Einzelnen wurde mit folgenden Werten gerechnet:

- Grundfläche des Büros/der Messwarte 30 m²
- Raumvolumen 82,5 m³ (Höhe ca. 2,75 m)
- Luftwechselrate im Winter 0,5 h⁻¹
- Luftwechselrate im Sommer 4 h⁻¹
- Anzahl der Mitarbeiter 2 + (2)
- Raucherquote 50 %
- Zigaretten pro Raucher und Stunde 2
- Zeitdauer mit Zigarettenemissionen 8 h

10.7.1 Winterszenario

Die Luftkonzentration an Nikotin erreicht bei der vorgegebenen Luftwechselrate von $0,5 \text{ h}^{-1}$ nach acht Stunden einen aktuellen Wert von $0,0795 \text{ mg/m}^3$ bzw. $79,5 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ (Abbildung 19). Die über acht Stunden gemittelte Luftkonzentration an Nikotin liegt bei $70,5 \text{ }\mu\text{g/m}^3$.

10.7.2 Sommerszenario

Die Luftkonzentration an Nikotin erreicht bei der vorgegebenen Luftwechselrate von $4,0 \text{ h}^{-1}$ einen stationären Wert von $0,0100 \text{ mg/m}^3$ bzw. $10 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ (Abbildung 20). Die über acht Stunden gemittelte Luftkonzentration an Nikotin liegt bei $9,8 \text{ }\mu\text{g/m}^3$.

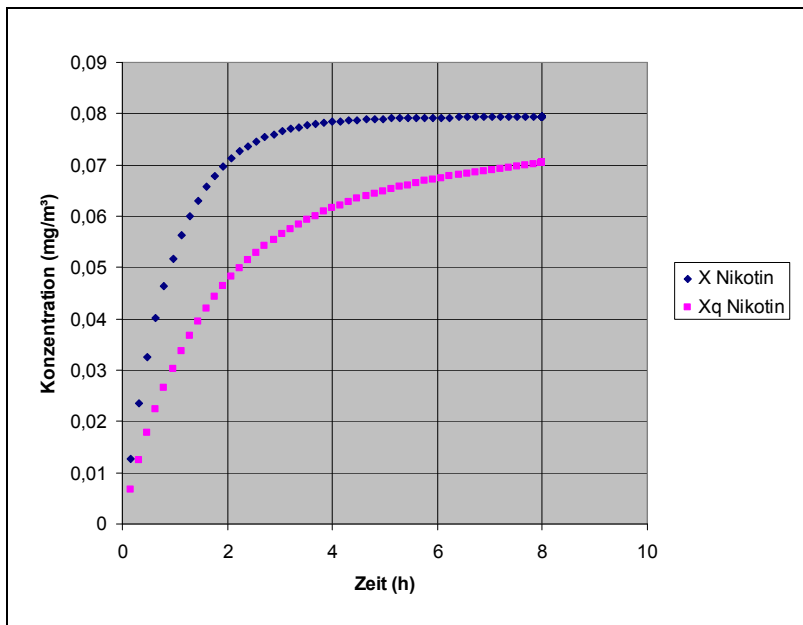


Abbildung 19:
Berechneter Konzentrations-
verlauf für Nikotin in Messwarte/
Meisterbüro im Winter

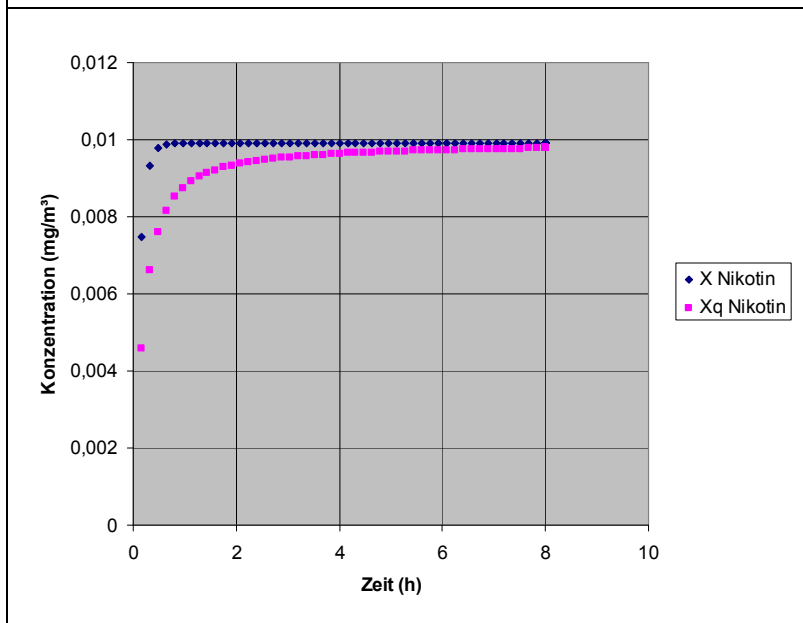


Abbildung 20:
Berechneter Konzentrations-
verlauf für Nikotin in Messwarte/
Meisterbüro im Sommer

10.8 Fahrerkabine/gewerblicher Transport

Die Eingangswerte dieser Abschätzung ergaben sich aus den in Tabelle 9 aufgeführten Daten für das entsprechende Szenario. Im Einzelnen wurde mit folgenden Werten gerechnet:

- Grundfläche der Fahrerkabine 2 m²
- Raumvolumen 4 m³ (Höhe ca. 2,00 m)
- Luftwechselrate 10 h⁻¹
- Anzahl der Mitarbeiter 2
- Raucherquote 50 %
- Zigaretten pro Raucher und Stunde 2
- Zeitdauer mit Zigarettenemissionen 8 h

Die Luftkonzentration an Nikotin erreicht bei der vorgegebenen Luftwechselrate von 10 h⁻¹ sehr schnell einen aktuellen Wert von 0,090 mg/m³ bzw. 90 µg/m³ (Abbildung 21). Die über acht Stunden gemittelte Luftkonzentration an Nikotin liegt bei 89 µg/m³.

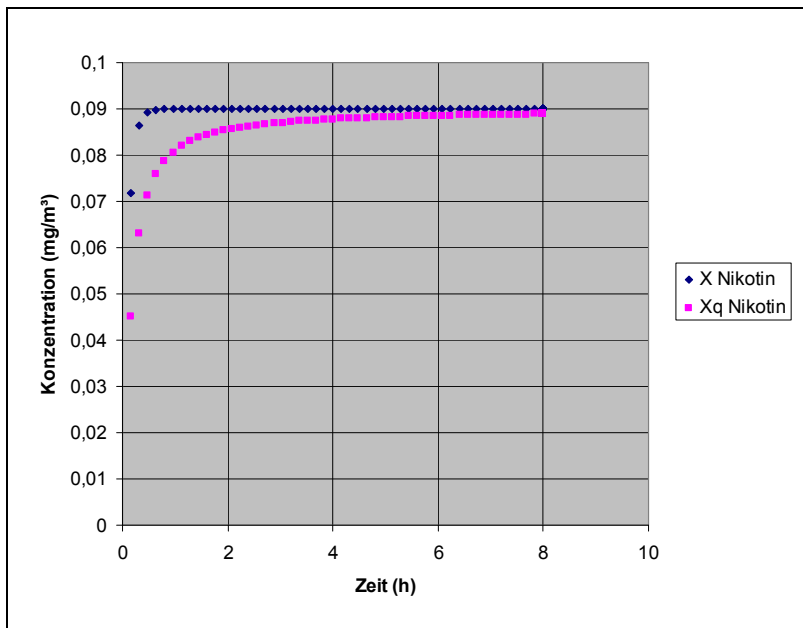


Abbildung 21:
Berechneter Konzentrations-
verlauf für Nikotin in einer
Fahrerkabine

10.9 Pausenraum

Die Eingangswerte dieser Szenarien ergaben sich ebenfalls aus den in Tabelle 9 aufgeführten Daten. Im Einzelnen wurde mit folgenden Werten gerechnet:

- Grundfläche des Pausenraumes 30 m²
- Raumvolumen 82,5 m³ (Höhe ca. 2,75 m)
- Luftwechselrate im Winter 0,5 h⁻¹
- Luftwechselrate im Sommer 4 h⁻¹
- Anzahl der Mitarbeiter 12
- Raucherquote 50 %
- Zigaretten pro Raucher und Stunde 6

Die folgenden Berechnungen berücksichtigen zwei verschiedene Pausendauern (15 und 30 Minuten) und zwei verschiedene Lüftungssituationen (Winter bzw. Sommer). Es wird davon ausgegangen, dass die Exposition gegenüber Rauch nur während der Pausen gegeben ist.

10.9.1 Winterszenario

Die Nikotinkonzentrationen steigen beim ersten Szenario (Winter) während der Pausenzeiten im Pausenraum steil an und erreichen kurzfristig Spitzenwerte von 171,7 bzw. 302,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Abbildung 22). Integriert über die gesamte Arbeitszeit (8 h plus 0,75 h Pausen) liegt die mittlere Nikotinboxposition der Beschäftigten jedoch bei nur 12,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

10.9.2 Sommerszenario

Die bessere Lüftung während des Sommerszenarios reduziert die Nikotinbelastung. Dennoch liegen während der Pausen die Spitzenkonzentrationen im Pausenraum bei 119 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. 159 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und die mittlere Nikotinkonzentration noch bei 8,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Abbildung 23).

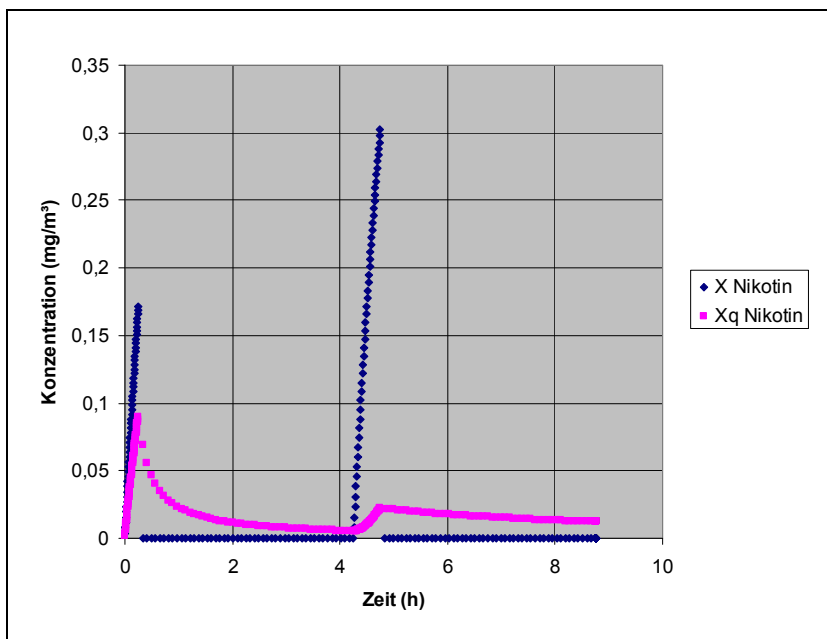


Abbildung 22:
Berechneter Konzentrationsverlauf für Nikotin bei Nutzung eines Pausenraumes (Pausendauer = 15 min morgens und 30 min mittags) im Winter

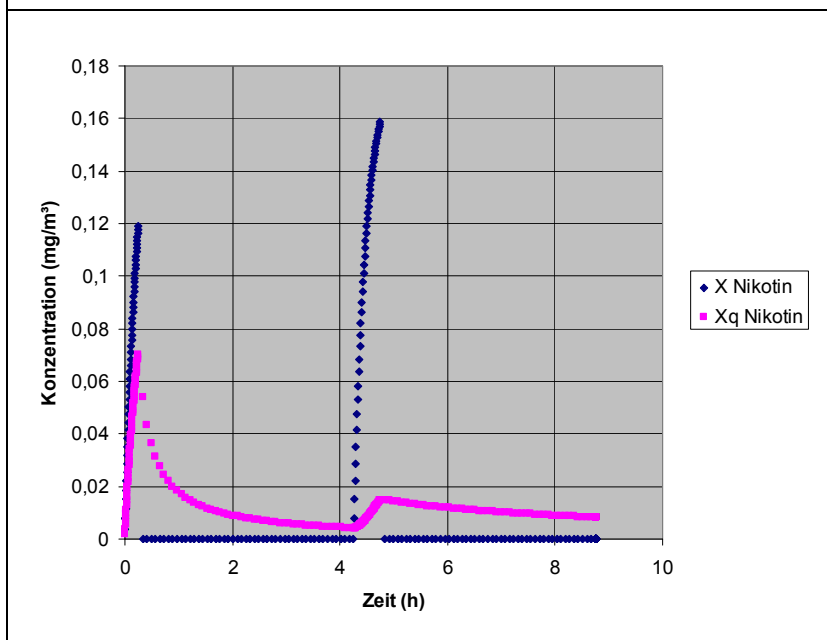


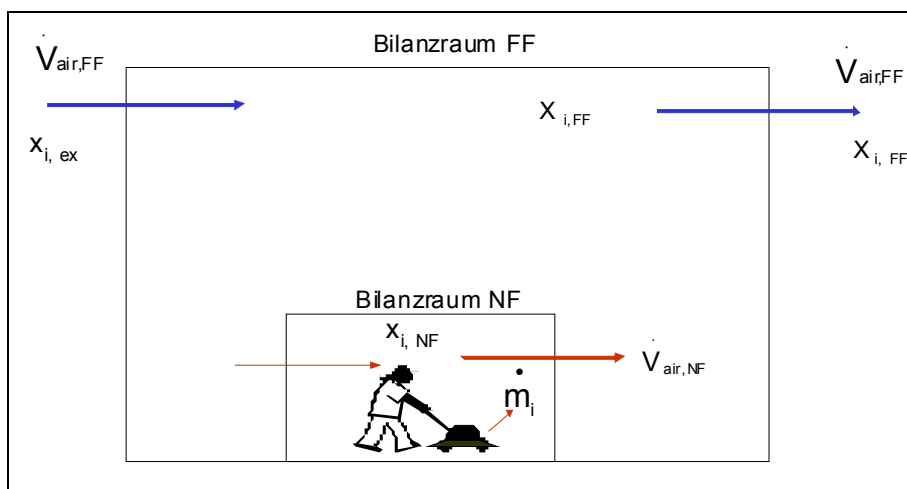
Abbildung 23:
Berechneter Konzentrationsverlauf für Nikotin bei Nutzung eines Pausenraumes (Pausendauer = 15 min morgens und 30 min mittags) im Sommer

10.10 Werkhalle

Die Rauchbelastung in einer großen Werkhalle kann nicht durch das in Kapitel 8 (Seite 45 ff.) beschriebene Modell mit räumlicher homogener Verteilung des Rauches modelliert werden. Dazu bietet sicher eher ein Zwei-Zonen-Modell an, in dem sich die Schadstoffquelle (der oder die Raucher) im kleineren „Nahbereich“ oder „Near Field“ befindet und der Rest der Halle als ein eigener Bilanzraum (Fernbereich oder „Far Field“) behandelt wird. In diesem Falle gelten folgende Bilanzgleichungen:

Die Stoffquelle m_i befindet sich in der kleineren der beiden Zonen mit dem Volumen V_{NF} , wobei der Index verdeutlicht, dass es sich hier um das „near field“-Kompartiment (NF) in der Nähe der Quelle handelt (siehe Abbildung 24).

Abbildung 24:
Schematische Darstellung des Zwei-Zonen-Modells [83]



Es wird angenommen, dass die Konzentration der Komponente i in dieser Zone $x_{i,NF}$ beträgt und homogen ist. Die Near-field-Zone ist verbunden mit dem Rest des Raumes: der Far-field-Zone (FF) mit dem Volumen V_{FF} und der homogenen Konzentration $x_{i,FF}$. Die Zonen stehen über einen Luftstrom $V_{air,NF}$ in stofflichem Austausch, die Far-field-Zone wird zusätzlich über den Frischluftstrom $V_{air,FF}$ belüftet.

Die Konzentrationen $x_{i,NF}$ und $x_{i,FF}$ in den beiden Zonen können im Falle stationärer Rahmenbedingungen leicht bestimmt werden, da dann der gesamte in die Luft entweichende Stoffstrom m_i über die Lüftung der äußeren Zone abtransportiert werden muss. Die Konzentration $x_{i,FF}$ beträgt dann also

$$x_{i,FF} = \frac{\dot{m}_i}{\dot{V}_{air,FF}} + x_{i,ex} \quad (7)$$

Die Konzentration $x_{i,NF}$ kann analog bestimmt werden zu

$$x_{i,NF} = \frac{\dot{m}_i}{\dot{V}_{air,NF}} + x_{i,FF} = \frac{\dot{m}_i}{\dot{V}_{air,NF}} + \frac{\dot{m}_i}{\dot{V}_{air,FF}} + x_{i,ex} \quad (8)$$

Der Wert $x_{i,ex}$ wird in den meisten Fällen als Null angenommen werden, da nur sehr wenige industrielle Schadstoffe in nennenswerter Menge in der Außenluft vorkommen.

Mit Gl. (8) soll nun die Rauchbelastung in einer Werkhalle beispielhaft abgeschätzt werden. Dabei werden Eingangsgrößen des Szenarios so gewählt, dass sie mit den Vorgaben der Tabelle 9 korrelieren.

Eine Werkhalle (50 m lang, 25 m breit, 5 m hoch) besitzt ein Volumen von 6 250 m³ und ist bei einem stündlichen Luftwechsel $\lambda = 1/h$ relativ schlecht belüftet.

Der Arbeitsbereich einer Arbeitsgruppe in der Halle hat ein Volumen von 125 m³ (10 m lang, 5 m breit, 2,5 m hoch). Der Lüftungsstrom in diesem Arbeitsbereich ermittelt sich [84] nach der Formel:

$$\dot{V}_{air,NF} = 0,5 \cdot \text{offene Grenzfläche des Bilanzraumes} \cdot \text{mittlere Luftgeschwindigkeit} \quad (9)$$

Dies ergibt bei einer konservativ geschätzten Luftgeschwindigkeit in der Halle von 0,1 m/s einen Lüftungsstrom im Nahbereich $V_{air,NF}$ von 6,25 m³/s bzw. 22 500 m³/h.

In dem Arbeitsbereich sind sechs Beschäftigte, davon drei Raucher, aktiv. Die Nikotinquelle soll somit aus sechs Zigaretten pro Stunde bestehen und $6 \times 1,8 = 10,8$ mg/h betragen. Mit diesen Werten ergibt sich eine stationäre Nikotinkonzentration im Near-field-Bereich, dem Arbeitsbereich der Beschäftigten, von (siehe Gl. 8):

$$x_{i,NF} = \frac{10,8 (mg/h)}{6250 (m^3/h)} + \frac{10,8 (mg/h)}{22500 (m^3/h)} + 0 \frac{mg}{m^3} = 2,21 \frac{\mu g}{m^3} \quad (10)$$

Die Nikotinbelastung ist somit in Werkhallen als relativ niedrig einzuschätzen.

10.11 Zusammenfassung der berechneten Ergebnisse

Tabelle 12 fasst noch einmal die ermittelten Nikotinkonzentrationen für die beschriebenen Expositionsszenarien zusammen. Die mittlere Nikotinkonzentration in der Atemluft der Beschäftigten variiert dabei zwischen 2,2 µg/m³ (Werkhalle) und 89 µg/m³ (Fahrerkabine/ gewerblicher Transport).

Die Ergebnisse der Expositionsabschätzungen hängen natürlich stark von den gewählten Eingangsgrößen für die Berechnungen ab. Insbesondere geht die Nikotinemission der Tabakwaren linear in das Berechnungsergebnis ein. Daher sollte an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass den hier vorgestellten Ergebnissen eine Nikotinemission von 1,8 mg/Zigarette nach Repace et al. zugrunde liegt. Andere Autoren z. B. Radon nehmen eine Nikotinemission von 1,4 mg pro Zigarette an [15]. Da die Nikotinemission als linearer Faktor in die Berechnung eingeht, ist eine Umrechnung sehr leicht möglich.

Tabelle 12:

Zusammenfassung der ermittelten Nikotinbelastungen bei den verschiedenen Expositionsszenarien

Nr.	Szenario	Mittlere Nikotinkonzentration bezogen auf eine Acht- Stunden-Schicht bei einer Emission von 1,8 mg/Zigarette in µg/m ³	Aktuelle/ Peak-Konzentration bei einer Emission von 1,8 mg/Zigarette in µg/m ³
1	Diskotheke/Median	41,8	54
2	Diskotheke/75. Perzentil	92	108
3	Gaststätten/Median	21	28
4	Gaststätten/75. Perzentil	58,2	74,3
5	Restaurants und Gaststätten mit Speisen	10,8	14,4
6	Büro, klein, Winter	53	59,5
7	Büro, klein, Sommer	14,5	14,9
8	Büro, mittelgroß, Winter	69	77
9	Büro, mittelgroß, Sommer	18,7	19,3
10	Gruppen-/Großraumbüro, Winter	24,2	27,3
11	Gruppen-/Großraumbüro, Sommer (technisch gelüftet)	3,35	3,4
12	Messwarte/Meisterbüro, Winter	70,5	79,5
13	Messwarte/Meisterbüro, Sommer	9,8	10,0
14	Fahrerkabine/gewerblicher Transport	89	90
15	Pausenraum, Winter	12,1	302
16	Pausenraum, Sommer	8,2	159
17	Werkhalle (Zwei-Zonen-Modell)	2,2	nicht bestimmt

10.12 Zur Genauigkeit der Modellierungsergebnisse

Sofern keine ausgedehnten Expositionsmessungen oder andere Expositionsdokumentationen vorliegen, liefert die Modellierung der Expositionen die belastbarsten Ergebnisse. Die retrospektive Expositionserhebung kann jedoch nur eine Abschätzung der realen Exposition liefern, d. h. die Größenordnung der Exposition. Das Ergebnis einer Expositionsabschätzung kann nicht kritiklos übernommen werden, sondern ist stets von Fachleuten wie Arbeitshygienikern oder Arbeitsmedizinern kritisch zu hinterfragen.

Die Glaubwürdigkeit der retrospektiven Exposition hängt von der Glaubwürdigkeit der Vorermittlungen und der gewählten Eingangsparameter ab. Bei der Anwendung und Interpretation der einzelnen Ergebnisse der Modellierungen sollten die folgenden Aspekte nicht außer Acht gelassen werden:

- Die Modellierung der Nikotinbelastungen liefert jeweils nur ein einzelnes Ergebnis je Expositionsszenario.
- Die Genauigkeit der Modellierungsberechnungen hängt von der Übereinstimmung der Modellannahmen, z. B. homogene Vermischung der Schadstoffe und der Frischluft im Bilanzraum, und der modellierten realen Situation ab.
- Das Ergebnis hängt von den Eingangsgrößen der Berechnung ab: Raumdaten, Lüftungsdaten, Emissionsdaten, Adsorptionsinformationen ... Je genauer die in den Szenarien gewählten Daten mit der zu modellierenden Situation übereinstimmen, desto besser bilden die Ergebnisse die Realität ab.
- Die Ergebnisse der hier vorgenommenen Expositionsabschätzung beschreiben, da es sich um Punktschätzungen handelt, die mittlere Exposition. Das Konfidenzintervall der Schätzung hat dort die geringste Ausdehnung. Bei der Betrachtung von Expositions-extrema (Minimalbelastungen, Maximalbelastungen) wächst das Konfidenzintervall beträchtlich.
- Man sollte bei der Interpretation der Ergebnisse stets bedenken: Die Daten einer Anamnese der Tabakrauchexposition sind keine Punktdaten, sondern das Integral über viele verschiedene Arbeitssituationen, in denen alle Parameter variieren konnten.

11 Zusammenfassung

Das beim Rauchen von Zigaretten, Zigarren, Zigarillos oder Pfeife entstehende hochkomplexe Gemisch aus mehr als 4 000 Verbindungen kann nachgewiesenermaßen zu Gefährdungen auch bei nicht rauchenden Personen führen. Raucher atmen im Wesentlichen den beim Ziehen an einer Zigarette oder einer Zigarre entstehenden Hauptstromrauch ein, während Nichtraucher vorwiegend den durch Glimmen entstehenden Nebenstromrauch sowie wieder ausgeatmeten Hauptstromrauch einatmen. Bei der Vielzahl der Verbindungen ist es nicht möglich, alle zu untersuchen; für Tabakrauch in der Raumluft hat sich jedoch Nikotin als hervorragend geeignete Leitsubstanz erwiesen.

In der jüngeren Vergangenheit wurden zahlreiche Untersuchungen vorwiegend im Gastronomiebereich und vereinzelt im Bürobereich zur Belastung von Beschäftigten mit Tabakrauch anhand der Nikotinkonzentration durchgeführt. Im Rahmen dieses Reports werden diese Erkenntnisse zusammengefasst und darüber hinaus auf andere Arbeitsbereiche ausgedehnt.

Zunächst wurden die Arbeitsbereiche in vier Klassen eingestuft.

- Bereiche, bei denen eine arbeitsbedingte Exposition ausgeschlossen werden kann/konnte, wie z. B. Tätigkeiten im Steinkohlenbergbau unter Tage oder in Reinräumen
- Bereiche, in denen eine arbeitsbedingte Exposition weitgehend ausgeschlossen werden kann/konnte, wie z. B. in der chemischen Industrie, in denen Mitarbeiter jedoch in speziellen Räumen Tabakrauch zeitlich begrenzt ausgesetzt sein konnten
- Bereiche, in denen eine arbeitsbedingte Exposition gering ist/war, wie z. B. Außenarbeitsplätze oder Werkhallen mit technischer Lüftung, in denen Mitarbeiter jedoch in speziellen Räumen Tabakrauch zeitlich begrenzt ausgesetzt sein konnten.
- Bereiche, wie Gaststätten, Büros etc., in denen eine arbeitsbedingte Exposition vorhanden sein kann/konnte.

Die Rauchgewohnheiten wurden in Anlehnung an die vom Statistischen Bundesamt herausgegebenen Mikrozensus-Statistiken eingestuft. Im Sinne einer Worst-case-Abschätzung wurden für die weiteren Berechnungen immer die Maximalzahlen einer jeweiligen Gruppe angenommen. Ein schwacher Raucher konsumiert bis zu fünf Zigaretten am Tag, ein normaler bis zu 20 und ein starker Raucher 35 Zigaretten am Tag. Von dieser Tagesration wird angenommen, dass die Hälfte am Arbeitsplatz konsumiert wird.

In Bereichen mit Publikumsverkehr, wie sie typisch sind für Gaststätten oder auch in Zugabteilen, wurden Annahmen für den Zigarettenkonsum der Gäste gemacht. Ausgehend von diesen Festlegungen konnten die Belastungen von Nichtrauchern durch Tabakrauch abgeschätzt werden. Wie erwartet, erwiesen sich einzelne Gastronomie- und Bürobereiche als auffällig hinsichtlich der Belastung durch Tabakrauch:

- In Gastronomiebereichen, in denen das Verhältnis von Anzahl der Raucher zur Raumgröße sehr ungünstig werden kann, wie z. B. in Diskotheken oder kleinen Gaststätten der getränkegeprägten Gastronomie, kann die Tabakbelastung der Raumluft sehr hoch werden. In der Speisegastronomie ist die Grundbelastung wegen des günstigeren Verhältnisses von Gästeanzahl und Raumgröße niedriger. Außengastronomie trägt nicht wesentlich zur Belastung durch Tabakrauch bei.
- In Bürobereichen ohne technische Lüftung, also in der Regel kleinere Büros, sind insbesondere im Winter, wenn der natürliche Luftaustausch durch das Schließen von Fenstern und Türen verringert ist, hohe Nikotinkonzentrationen möglich.

Neben den beiden zentralen Bereichen wurden weitere Arbeitsbereiche herausgearbeitet, in denen es zeitlich begrenzt oder auch über die ganze Schicht zu beachtenswerten Belastungen durch Tabakrauch kommen kann bzw. konnte:

- Sonderräume, wie Messwarten oder Meisterbüros in Arbeitsbereichen, in denen ansonsten Rauchen nicht möglich ist
- Fahrerkabinen im gewerblichen Transport, wenn in Zwei-Personen-Besetzung gefahren wird
- Pausenräume in Arbeitsbereichen, in denen ansonsten Rauchen nicht möglich ist
- Raucherabteilen in Zügen oder Raucherbereiche in Flugzeugen.

Weitgehend vernachlässigen kann man die Belastung durch Tabakrauch in Außenarbeitsbereichen oder größeren Werkhallen.

Die Berechnungsgrundlagen zur Abschätzung der Belastung durch Tabakrauch werden vorgestellt und erläutert, sodass die Möglichkeit besteht, für jeden individuellen Fall eine Belastung abzuschätzen.

12 Literatur

- [1] *Lynn, W. R.* (Hrsg.): The health consequences of involuntary smoking: A report of the surgeon general. Hrsg.: U.S. Department of Health and Human Services, Rockville, Maryland, USA 1986. <http://profiles.nlm.nih.gov/ps/access/NNBCPM.pdf>
- [2] Health effects of exposure to environmental tobacco smoke. Final Report. Hrsg.: California Environmental Protection Agency, 1997. http://www.oehha.org/air/environmental_tobacco/finalets.html
- [3] Proposed identification of environmental tobacco smoke as a toxic air contamination. Part B: Health effects. Hrsg.: California Environmental Protection Agency, as approved by the Scientific Review Panel on June 24, 2005. http://www.oehha.org/air/environmental_tobacco/2005etsfinal.html
- [4] The Health Consequences of Involuntary Exposure to Tobacco smoke, A report of the surgeon general. Hrsg.: U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, Georgia, USA, 2006. <http://www.surgeongeneral.gov/library/secondhandsmoke/index.html>
- [5] IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Tobacco Smoke and Involuntary Smoking. Vol. 83. Hrsg.: International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC press, Genf 2004
- [6] Passivrauchen am Arbeitsplatz: Änderung der Einstufung krebserzeugender Arbeitsstoffe. In: *Greim, H.* (Hrsg.): Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe – Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration). Hrsg.: Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Wiley-VCH, Weinheim 1999
- [7] Passivrauchen (Ausgabe Mai 2002). In: Technische Regeln für Gefahrstoffe: Begründungen zur Bewertung von Stoffen, Tätigkeiten und Verfahren als krebserzeugend, erbgutverändernd oder fortpflanzungsgefährdend zum Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe (TRGS 905). Ausg. 7/2005. Zul. geänd. 5/2008. http://www.baua.de/cln_103/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/Begrundungen-905-906.html
- [8] *Göttert, K.-H.* (Hrsg.): Neues Deutsches Wörterbuch. Helmut Lingen, Köln 2006
- [9] *Wahrig, G.* (Hrsg.): Deutsches Wörterbuch. 6. Aufl. Bertelsmann Lexikon Verlag, Gütersloh 1997
- [10] *Radon, K.; Nowak, D.*: Passivrauchen – aktueller Stand des Wissens. Dt. Med. Wochenschr. 129 (2004), S. 157-162
- [11] Lifting the smokescreen: 10 reasons for a smoke free Europe. Hrsg.: European Respiratory Society, Brüssel 2006. www.smokefreepartnership.eu/IMG/pdf/Lifting_the_smokescreen_background_note.pdf
- [12] *Raupach, T.; Nowak, D.; Hering, T.; Batra, A.; Andreas, S.*: Rauchen und pneumologische Erkrankungen, positive Effekte der Tabakentwöhnung., Positionspapier der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin (DGP). Pneumologie 61 (2007), S. 11-14
- [13] *Raupach, T.; Radon, K.; Nowak, D.; Andreas, S.*: Passivrauchen: Gesundheitliche Folgen, Effekte einer Expositions-karenz und Präventionsaspekte. Positionspapier der

- Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin (DGP).
Pneumologie 62 (2008), S. 44-50
- [14] *Vineis, P.; Airoidi, L.; Veglia, F.* et al.: Environmental tobacco smoke and risk of respiratory cancer and chronic obstructive pulmonary disease in former smokers and never smokers in the EPIC prospective study. *Brit. Med. J.* 330 (2005) Nr. 7486, S. 277
- [15] *Radon, K.*: Literaturlauswertung zur Quantifizierung der Passivrauchexposition bei nie rauchenden Beschäftigten im Gastgewerbe für die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung – Abschlussbericht. März 2009. http://www.dguv.de/ifa/de/pro/pro1/ff-fb0121/Passivrauchexposition_im_Gastgewerbe_270309.pdf
- [16] Roche Lexikon Medizin. 2. Aufl. Urban & Schwarzenberg, München 1991
- [17] Duden – Deutsches Universalwörterbuch. <http://www.duden.de>, Stand Okt. 2009
- [18] *Augustin, R.; Metz, K.; Heppekausen, K.; Kraus, L.*: Tabakkonsum, Abhängigkeit und Änderungsbereitschaft. Ergebnisse des Epidemiologischen Suchtsurvey 2003. *Sucht* 51 (2005), S. S40-S48 (Sonderheft 1)
- [19] *Okada, T.; Ishizu, Y.; Matsuma, K.*: Determination of particle size distribution and concentration of cigarette smoke by light scattering method. *Beitr. Tabakforsch.* 9 (1977), S. 153-160
- [20] *Afshari, A.; Matson, U.; Ekberg, L. E.*: Characterisation of indoor sources of fine and ultrafine particles: a study in a full-scale chamber. *Indoor Air* 15 (2005), S. 141-150
- [21] ASHRAE Handbook. Fundamentals. Hrsg.: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, Georgia, USA 1997
- [22] DIN ISO 3308: Zigaretten-Abrauchmaschinen für Routineanalysen – Begriffe und Standardbedingungen (Ausg. 12/2000). Beuth, Berlin 2000
- [23] Constituents and emissions reported for cigarettes sold in Canada. Hrsg.: Government of British Columbia, 2003
- [24] *Rodgman, A.; Perfetti, T. A.*: The chemical components of tobacco and tobacco smoke. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA 2008
- [25] *Borgerding, M. F.; Bodnar, J. A.; Wingate, D. E.*: The 1999 Massachusetts Benchmark Study: Final Report. A research study conducted after consultation with the Massachusetts Department of Public Health. Hrsg.: Department of Health, Boston, Massachusetts, USA 2000
- [26] Richtlinie 2001/37/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2001 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Herstellung, die Aufmachung und den Verkauf von Tabakerzeugnissen. *ABl. EG* (2001) Nr. L194, S. 26-34
- [27] *Patrianakos, C.; Hoffmann, D.*: Chemical studies on tobacco smoke. *J. Anal. Toxicol.* 3 (1979) S. 150-154
- [28] *Hoffmann, D.; Wynder, E. L.*: Aktives und passives Rauchen. In: *Marquardt, H.; Schäfer, S. G.*: Lehrbuch der Toxikologie. BI Wissenschaftsverlag, Mannheim 1994
- [29] *Smith, C.J.; Dooly, G.L.; Moldoveanu, S. C.*: New technique using solid-phase extraction for the analysis of aromatic amines in mainstream cigarette smoke. *J. Chromatogr. A* 991 (2003) Nr. 1, S. 99-107

- [30] *Stabbert, R.; Schäfer, K. H.; Biefel, C.; Rustemeier, K.*: Analysis of aromatic amines in cigarette smoke. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 17 (2003) Nr. 18, S. 2125-2132
- [31] *Forehand, J. B.; Dooly, G. L.; Moldoveanu, S. C.*: Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons, phenols and aromatic amines in particulate phase cigarette smoke using simultaneous distillation and extraction as a sole sample clean-up step. *J. Chromatogr. A* 898 (2000) Nr. 1, S. 111-124
- [32] *Luceri, F.; Pieraccini, G.; Moneti, G.; Dolara, P.*: Primary aromatic amines from side-stream cigarette smoke are common contaminants of indoor air. *Toxicol. Indust. Health* 9 (1993) Nr. 3, S. 405-413
- [33] Richtlinie 90/239/EWG des Rates vom 17. Mai 1990 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über den höchstzulässigen Teergehalt von Zigaretten. *ABI. EWG* (1990) Nr. L 137, S. 36-37
- [34] *Baker, R.; Proctor, C. J.*: The origins and properties of environmental tobacco smoke. *Environm. Int.* 16 (1990), S. 231-245
- [35] *Repace, J. L.; Lowrey, A. H.*: Indoor air pollution, tobacco smoke and public health. *Science* 208 (1980) Nr. 4443, S. 464-472
- [36] *Breuer, D.; Schneider, W.; Weiß, T.; Castillo, M.; Koch, H.; Brüning, T.*: Passivrauchbelastung in der Gastronomie – Messungen von Nikotin und Acrylnitril in der Luft in gastronomischen Betrieben. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 69 (2009), S. 411-416
- [37] *Hammond, S. K.*: Evaluating exposure to environmental tobacco smoke. In: *Winegar, E. D.; Keith, L. H.* (Hrsg.): *Sampling and analysis of airborne pollutants*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA 1993
- [38] Schutz der Familie vor Tabakrauch. In: *Rote Reihe Tabakprävention und Tabakkontrolle* (Bd. 14). Hrsg.: Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg 2010
- [39] *Hüner, H.; Dieker, W.; Weigl, M.; Grieshaber, R.*: Passivrauchen im Gastgewerbe – Eignung der Biomarker Nikotin und Cotinin im Urin als Indikatoren der Exposition. In: *Grieshaber, R.; Stadeler, M.; Scholle, H.-C.*; 17. Erfurter Tage, Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen, Dezember 2010, S. 81-95, Bussert & Stadeler, Jena 2011.
- [40] *Bolte, G.; Heitmann, D.; Kiranoglu, M.; Schierl, R.; Diemer, J.; Koerner, W.; Fromme, H.*: Exposure to environmental tobacco smoke in German restaurants, pubs and discotheques. *J. Expo. Sci. Environm. Epidemiol.* 18 (2007) Nr. 3, S. 262-271
- [41] Nikotin. In: *Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Luftanalysen*. Bd. 1. Hrsg.: Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der deutschen Forschungsgemeinschaft. Weinheim, Verlag Chemie
- [42] Nicotine. In: *NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM)*. 4th ed. Method No. 2544. Hrsg.: Centers for Disease Control and Prevention. Atlanta, Georgia, USA 1994
- [43] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). *BArBt.* (2006) Nr. 1, S. 41-55; zul. geänd. *GMBt.* (2010) Nr. 34, S. 746-747, berichtigt *GMBt.* (2010) Nr. 43, S. 912-913. www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-900.html
- [44] *Hammond, S. K.; Leaderer, B. P.; Roche, A. C.; Schenker, M.*: Collection and analysis of nicotine as a marker for environmental tobacco smoke. *Atmos. Environm.* 21 (1967) Nr. 2, S. 457-462

- [45] *Caka, F. M.; Eatough, D. J.; Lewis, E. A.; Tang, H.; Hammond, S. K.; Leaderer, B. P.; Koutrakis, P.; Spengler, J. D.; Fasano, A.*: An intercomparison of sampling techniques for nicotine in indoor environments. *Environ. Sci. Technol.* 24 (1990) Nr. 8, S. 1196–1203
- [46] *Tang, H.; Richards, G.; Gunther, K.; Crawford, J.; Lee, M. L.; Lewis, E. A.; Eatough, D. J.*: Determination of gas phase nicotine and 3-ethylpyridine and particulate phase nicotine in environmental tobacco smoke with a collection bed-capillary gas chromatography system. *J. High. Res. Chromatog. Chromatog. Commun.* 11 (1988), S. 775-782
- [47] Nicotine. In: NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM). 4th ed. Method No. 2551. Hrsg.: Centers for Disease Control and Prevention. Atlanta, Georgia, USA 1998
- [48] ASTM D 5075, Standard test method for nicotine and 3-ethenylpyridine in indoor air (1/2007). Hrsg.: ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2007
- [49] *Lanters, W.; Breuer, D.*: Nikotin. In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen, Kennzahl 8108. 41. Lfg. X/08. Erich Schmidt, Berlin (1989) – Losebl.-Ausg. www.ifa-arbeitsmappdigital.de/8108
- [50] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Verfahren zur Bestimmung von Nikotin im Tabakrauch in der Raumluft. In: Von den Berufsgenossenschaften anerkannte Analysenverfahren zu Feststellung der Konzentration krebserzeugender Arbeitsstoffe in der Luft in Arbeitsbereichen (BGI 505-78). Carl Heymanns, Köln 2010
- [51] *Loefroth, G.*: Phase distribution of nicotine in real environments as determined by two sampling methods. *Environ. Sci. Technol.* 29 (1995) Nr. 4, S. 975–978.
- [52] *Hüner, H.; Andrejs, B.; Dannenbaum, C.; Rietschel, P.; Schuh, C.; Weigl, M.*: BGN-Studie zur Messung der ETS-Exposition in gastronomischen Betrieben. In: *Grieshaber, R.* (Hrsg.): Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen. Dokumentation der 14. Erfurter Tage der Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten und des Kompetenzzentrums für Interdisziplinäre Prävention an der Friedrich-Schiller-Universität Jena, Dezember 2007. S. 147-157. Bussert & Stadeler, Jena 2008
- [53] *Gorini, G.; Moshammer, H.; Sbrogiò, L.; Gasparrini, A.; Nebot, M.; Neuberger, M.; Tamang, W.; Lopez, M. J.; Galeone, D.; Serrahima, E.*: Italy and Austria before and after study: second-hand smoke exposure in hospitality premises before and after 2 years from the introduction of the Italian smoking ban. *Indoor Air* 18 (2008), S. 328-334
- [54] *Lopez, M. J.; Nebot, M.; Albertini, M.; Birkui, P.; Centrich, F.; Chudzikova, M.; Georgouli, M.; Gorini, G.; Moshammer, H.; Mulcahy, M.; Pilali, M.; Serrahima, E.; Tutka, P.; Fernandez, E.*: Secondhand smoke exposure in hospitality venues in Europe. *Environm. Health Perspect.* 116 (2008) Nr. 11, S. 1469-1472
- [55] *Nebot, M.; Lopez, M. J.; Gorini, G.; Neuberger, M.; Axelsson, S.; Pilali, M.; Fonseca, C.; Abdennbi, K.; Hackshaw, A.; Moshammer, H.; Laurent, A. M.; Salles, J.; Georgouli, M.; Fondelli, M. C.; Serrahima, E.; Centrich, F.; Hammond, S. K.*: Environmental tobacco smoke exposure in public places of European cities. *Tob. Control* 14 (2005), S. 60 - 63
- [56] *Saito, I.; Seto, H.*: Measurement of nicotine in indoor air collected by alkaline-coated solid phase cartridge followed by GC-MS analysis. *J. Health Sci.* 53 (2007) Nr. 1, S. 53-59

- [57] Bundes-Gesundheitssurvey: Soziale Unterschiede im Rauchverhalten und in der Passivrauchbelastung in Deutschland. Hrsg.: Robert Koch-Institut, Berlin 2006
- [58] Finanzen und Steuern (Fachserie 14, Reihe 9.1.1). Hrsg.: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (2004) und Statista Datenbank 2009
- [59] *Lampert, T.*: Soziale Determinanten des Tabakkonsums bei Erwachsenen in Deutschland. Bundesgesundheitsbl. – Gesundheitsforsch. – Gesundheitsschutz 53 (2010) S. 108-116
- [60] *Blank, W.; Pötschke-Langer, M.*: Schadstoffe in der Innenraumlufte von Gastronomiebetrieben in Deutschland. In: Deutsches Krebsforschungszentrum (Hrsg.): Erhöhtes Gesundheitsrisiko für Beschäftigte in der Gastronomie durch Passivrauchen am Arbeitsplatz. S. 11-18. Heidelberg (2007)
- [61] Die BIBB /BAuA – Erwerbstätigenbefragung 2006. Hrsg.: Bundesinstitut für Berufsbildung. www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/publication/show/id/2274
- [62] Betriebsarten des Gastgewerbes (Gastronomie). Hrsg.: Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten, Mannheim 2005 (unveröffentlicht)
- [63] Klassifikation der Wirtschaftszweige. Hrsg.: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2003
- [64] Definition der Betriebsarten. Gastronomiegewerbe. Hrsg.: DEHOGA Bundesverband Berlin 2011. www.dehoga-bundesverband.de/daten-fakten-trends/betriebsarten/
- [65] Gesetz zur Verbesserung des Nichtrauchererschutzes in Nordrhein-Westfalen. GVBl. NRW (2007) Nr. 34, S. 742. www.recht.nrw.de
- [66] Gesetz zum Schutz der Gesundheit (Gesundheitsschutzgesetz – GSG). Bay. GVBl. (2007) Nr. 29, S. 919-921; geänd. Bay. GVBl. (2009) Nr. 14, S. 384 (inzwischen weitere Änderungen)
- [67] Finanzen und Steuern: Umsatzsteuer 2007 (Fachserie 14, Reihe 8). Hrsg.: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2009
- [68] Binnenhandel, Gastgewerbe, Tourismus (Fachserie 6, Reihe 7.3). Hrsg.: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2009
- [69] Gaststättengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 20. November 1998. BGBl. I (1998), S. 3418; zul. geänd. BGBl. I (2007), S. 2256. www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/gastg/gesamt.pdf
- [70] Brandenburgisches Gaststättengesetz (BbgGastG) vom 02. Oktober 2008. Bbg. GVBl. I/08 Nr. 13, S. 218; geänd. Bbg. GVBl. I/09 Nr. 12, S. 262-268.
- [71] Thüringer Gaststättengesetz (ThürGastG) vom 9. Oktober 2008. Thür. GVBl. (2008), S. 367-369; zul. geänd. Thür. GVBl. (2009), S. 592
- [72] Verordnung über den Bau und Betrieb von Gaststätten (Gaststättenbauverordnung – GastBauVO). GVBl. NW 38 (1984) Nr. 2, S. 4-13
- [73] Verordnung über den Bau von Gast- und Beherbergungsstätten (Gaststättenbauverordnung – GastBauV). Bay. GVBl. (1986) Nr. 18, S. 204; zul. geänd. Bay. GVBl. (2004), S. 564; außer Kraft getreten zum 21.12.2005. www.schornsteinfeger-liv-bayern.de/bilder_by/files/gastbauv200601.pdf
- [74] MBO – Musterbauordnung 1997. www.umwelt-online.de/regelwerk/bau/laender/bo_ges.htm

-
- [75] Musterversammlungsstättenverordnung von 2005. www.is-argebau.de, Rubrik: Mustervorschriften/Mustererlasse – Bauaufsicht/Bautechnik
- [76] Musterversammlungsstättenverordnung von 2005. Begründung in: www.is-argebau.de, Rubrik: Mustervorschriften/Mustererlasse – Bauaufsicht/Bautechnik
- [77] Arbeitsstättenrichtlinien: Lüftung (ASR 5) in der bis August 2010 gültigen Fassung
- [78] DIN 1946-2: 1994-01: Raumlüftungstechnik – Gesundheitliche Anforderungen (Ausg. 01/1994). Beuth, Berlin; seit 2005 ersetzt durch DIN EN 13779
- [79] *Keil, C. B.*: A tiered approach to deterministic models for indoor air exposures. *Appl. Occup. Environm. Hyg.* 15 (2000) Nr. 1, S. 145-151
- [80] *Eickmann, U.; Böckler, M.; Dahmann, D.; Fehlauer, M.; Fries, H.-G.; Goergens, U. et al.*: Berechnungsverfahren und Modellbildung für die praktische Arbeitsbereichsanalyse (BIA-Report 3/2001). Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin 2001
- [81] *Eickmann, U.*: Methoden der Ermittlung und Bewertung chemischer Expositionen an Arbeitsplätzen. Hüthig Jehle Rehm, Landsberg/Lech 2008
- [82] *Heinemeyer, G.*: Probabilistische Schätzung der inhalativen Exposition vs. Punktschätzung, dargestellt am Beispiel der Freisetzung von Xylol aus Farben. *UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox.* 12 (2000) Nr. 2, S. 106-112
- [83] *Repace, J. L.; Jinot, J.; Bayard, S.; Emons, K.; Hammond, S. K.*: Air nicotine and saliva cotinine as indicators of workplace passive smoking exposure and risk. *Risk Anal.* 18 (1998) Nr. 1, S. 71-83
- [84] *Repace, J. L.; Lowrey, A. H.*: A quantitative estimate of nonsmoker's lung cancer risk from passive smoking. *Environm. Int.* 11 (1985) S. 3-22
- [85] *Repace, J. L.; Lowrey, A. H.*: An enforceable indoor air quality standard for environmental tobacco smoke in the workplace. *Risk Anal.* 13. (1993) Nr. 4, S. 463-475

Anhang 1: Rauchquoten nach Berufsgruppen

Tabelle A1:
Rauchquoten nach verschiedenen Berufsgruppen – Männer;
KldB = Klassifizierung der Berufe (des Statistischen Bundesamtes)

Beruf nach KldB-1992 (3-Steller) – Männer	Rauchquote
Zahnärzte	13,3
Apotheker	14,8
Elektroingenieure	15,2
Verwaltungsfachleute (höherer Dienst), a. n. g.	15,6
Gymnasiallehrer	15,7
Hochschullehrer und verwandte Berufe	16,1
Ingenieure des Maschinen-, Apparate- und Fahrzeugbaues	16,4
Ausbilder(für gewerblich-technische Ausbildungs-	16,7
Wirtschaftsprüfer, Steuerberater und verwandte	17,0
Ingenieure ohne nähere Fachrichtungsangabe	17,6
Physiker, Physikingenieure,	17,8
Wirtschafts-, REFA-Ingenieure	18,1
Lehrer ohne nähere Angabe	18,9
Ärzte	19,1
Wirtschaftswissenschaftler, a. n. g.	19,4
Lehrer an berufsbildenden Schulen	19,6
Landwirte, Pflanzenschützer	19,7
Wissenschaftler o. n. A.	19,7
Sonstige Lehrer	20,3
Grund-, Haupt-, Real-, Sonderschullehrer	20,4
Geistliche	20,8
Radio- und Fernstechniker	21,0
Sonstige Ingenieure	21,2
Verwaltungsfachleute (gehobener Dienst), a. n. g.	21,6
Bankfachleute	21,8
Bauingenieure	22,0
Sonstige Datenverarbeitungsfachleute, Informatiker	22,0
Architekten, Raumplaner, a. n. g.	22,2
Beratungs-, Planungsfachleute ohne nähere Tätigkeitsangabe	22,5
Naturwissenschaftler, a. n. g.	22,5
Vermessungstechniker	22,6
DV-Beratungs- und Vertriebsfachleute	22,7
Datenverarbeitungsfachleute, Informatiker o. n. A.	22,9

Tabelle A1: Fortsetzung

Beruf nach KldB-1992 (3-Steller) – Männer	Rauchquote
Softwareentwickler	23,3
Chemiker, Chemie-, Verfahreningenieure	23,5
Unternehmensberater und verwandte Berufe	24,0
DV-Organisatoren und verwandte Berufe	24,1
Luftverkehrsberufe	24,8
Buchhalter	24,8
Rechtsvertreter, Rechtsberater	25,6
Publizisten	26,3
Verwaltungsfachleute (mittlerer Dienst), a. n. g.	27,7
Marketing-, Absatzfachleute	27,8
Übrige Fertigungstechniker	27,9
Technische Zeichner	28,0
Unternehmer, Geschäftsführer, a. n. g.	28,1
Geschäftsbereichsleiter, Direktionsassistenten	28,1
Techniker des Maschinen-, Apparate- und Fahrzeugbaues	28,4
Chemo-, Physikotechniker	28,4
Elektrotechniker	28,5
Sportlehrer	28,7
Industriekaufleute, Technische Kaufleute, Betriebswirte (ohne Diplom), Sozialarbeiter, Sozialpädagogen	29,7
Kraftfahrzeugelektriker	30,0
Verkehrsfachleute (Personen-, Fremdenverkehr)	30,2
Handelsvertreter, Vertriebsbeauftragte	30,4
Techniker ohne nähere Fachrichtungsangabe	30,5
Einkäufer, Einkaufsleiter	30,6
Landmaschinenmechaniker, Metallbauer (Landtechnik)	30,7
Werkzeugmechaniker (Formentechnik),	31,2
Finanz-, Rechnungswesenfachleute, Kalkulatoren	31,6
Fachgehilfen in steuer- und wirtschaftsberatenden Berufen, Steuerfachleute,	31,6
Fernmeldeanlagen-, Telekommunikationselektroniker	31,8
Musiker	31,8
Masseure, Medizinische Bademeister und Krankengymnasten	32,2
Elektromechaniker, Industrieelektroniker	32,2
Techniker für Betriebswissenschaft und Arbeitsstudien (REFA) und verwandte Berufe	32,5
Bürofachkräfte, Kaufmännische Angestellte o. n. A.	32,7
Kommunikations-, Büroinformationselektroniker	33,0
Bürohilfskräfte	33,1

Tabelle A1: Fortsetzung

Beruf nach KldB-1992 (3-Steller) – Männer	Rauchquote
Energieelektroniker (Anlagen-, Betriebstechnik)	33,4
Rechenzentrums- und DV-Benutzerservice-Fachleute	33,7
Kaufleute o. n. A., Händler, a. n. g.	33,8
Versicherungsfachleute (nicht gesetzliche Sozialversicherung)	34,0
Bautechniker	34,1
Straßenwärter	34,1
Industrie-, Werkmeister	34,1
Industriemechaniker (Geräte- und Feinwerktechnik)	34,1
Berufsfeuerwehr-, Brandschutzfachleute	34,2
Werkzeugmechaniker, Werkzeugmacher o. n. F.	34,3
Andere Vertreter, Handlungsreisende	34,5
Organisatoren, Controller und verwandte Berufe, a. n. g.	34,6
Vollstreckungs-, Vollzugsbedienstete	35,1
Industriemechaniker o. n. F.	35,7
Büro- und kaufmännische Sachbearbeiter, a. n. g.	35,7
Sonstige Arbeitskräfte ohne nähere Tätigkeitsangabe	35,8
Tier-, Pferde-, Fischwirte	35,9
Einzelhandelskaufleute mit Fachbereichsangabe, a. n. g.	35,9
Verkaufs-, Vertriebsfachbearbeiter	36,0
Groß- und Außenhandelskaufleute	36,1
Handelsmakler, Immobilienkaufleute	36,4
Zivildienstleistende ohne nähere Tätigkeitsangabe	36,5
Zahntechniker	36,8
Darstellende Künstler, Sänger	36,9
Verkaufs-, Filialleiter im Handel	37,0
629/625: Sonstige Techniker(629); Bergbau-, Hütten-, Gießereitechniker (625)	37,1
Chemielaboranten	37,3
Fräser	37,4
Tischler	37,4
Industriemechaniker (Maschinen- und Systemtechnik)	37,6
Elektriker o. n. A., Elektroinstallateure	37,8
Eisenbahnbetriebspersonal	38,1
Zentralheizungs-, Lüftungsbauer	38,2
Bildende Künstler (angewandte Kunst)	38,3
Vermittler, a. n. g., Vermieter, Versteigerer	38,3
Bergleute (Maschinen-, Elektrotechnik)	38,4
Klempner	38,6

Tabelle A1: Fortsetzung

Beruf nach KldB-1992 (3-Steller) – Männer	Rauchquote
Waren-, Fertigungsprüfer, a. n. g.	38,7
Werbefachleute	39,5
Einzelhandelskaufleute ohne Fachbereichsangabe, ambulante Händler	39,6
Soldaten, Grenzschutz-, Polizeibedienstete	39,8
Vorarbeiter, Gruppenleiter ohne nähere Tätigkeitsangabe	39,8
Landarbeitskräfte	39,9
Baumaschinenführer, a. n. g.	39,9
Sonstige Montierer	40,0
Industriemechaniker (Betriebstechnik),	40,1
Schienenfahrzeugführer	40,1
Sonstige soziale Berufe	40,3
Metallbauer (Metallgestaltung) und Schmiede (Handwerk)	40,4
Konstruktionsmechaniker (Ausrüstungstechnik)	40,4
Industriemechaniker (Produktionstechnik)	40,5
Drucker (Hoch-, Flach-, Tiefdruck)	40,6
Sonstige Metallbau- und verwandte Berufe	41,1
Verfahrensmechaniker (Metallerzeugung)	41,4
Zimmerer	41,6
Sonstige Fachverkäufer	41,6
Selbstständige ohne nähere Tätigkeitsangabe	41,7
Installations- und Montageberufe, a. n. g.	41,7
Stein-, Edelsteinbearbeiter	41,9
Forstwirte (Waldarbeiter)	41,9
Dreher	42,0
Karosserie-, Fahrzeugbauer	42,0
Hausmeister, Hauswarte	42,0
Fahr-, Verkehrslehrer	42,1
Kraftfahrzeug-, Zweiradmechaniker	42,4
Holzbearbeitungsmechaniker	42,7
Zerspanungsmechaniker o. n. F.	42,9
Krankenschwestern, Hebammen	42,9
Helferin der Krankenpflege	42,9
Sonstige Maschinen-, Anlagenführer, Maschinistenhelfer	42,9
731/732: Posthalter (731); Dienstleistungsfachkräfte im Postbetrieb (732)	42,9
Fuhr-, Taxiunternehmer	43,0
Chemiebetriebswerker	43,1
Erzieher	43,7
Verkäufer o. n. A.	43,8

Tabelle A1: Fortsetzung

Beruf nach KldB-1992 (3-Steller) – Männer	Rauchquote
Künstlerische und zugeordnete Berufe der Bühnen-, Bild- und Tontechnik	43,9
Sonstige Fahrbetriebsregler	44,3
Verkehrskaufleute (Güterverkehr)	44,4
Hotel-, Gaststättenkaufleute, a. n. g.	44,4
Metallarbeiter o. n. A.	44,4
Auszubildende mit (noch) nicht feststehendem Ausbildungsberuf	44,8
Gas-, Wasserinstallateure	45,2
Hoteliers, Gastwirte, Hotel-, Gaststättengeschäftsführer	45,2
Hilfsarbeiter ohne nähere Tätigkeitsangabe	45,2
Fliesen-, Platten-, Mosaikleger	45,3
Tiefbauberufe o. n. T., Sprengberechtigte (nicht Bergbau)	45,4
Raumausstatter, Parkettleger	45,6
Glaser	45,7
Gärtner Gartenarbeiter	45,7
Anlagen-, Konstruktionsmechaniker o. n. F.	46,0
Metallschleifer	46,3
Bäcker	46,6
Schweißer, Brennschneider	46,8
Bergleute o. n. T.	47,0
Maschineneinrichter, a. n. g.	47,4
Maschinenführer, Maschinisten, Maschinenwärter	47,5
Maurer, Feuerungs- und Schornsteinbauer	47,7
Konstruktionsmechaniker(Metall- und Schiffbautechnik)	47,7
Berufskraftfahrer, Kutscher	48,1
512/514: Warenmaler, Warenlackierer (512); Glas-, Keram-, Porzellanmaler (514)	48,1
Wächter, Aufseher	48,4
Lager-, Transportarbeiter	48,8
Lagerverwalter, Magaziner	49,0
Erdbewegungsmaschinenführer	49,4
Sonstige Tiefbauberufe	49,7
Köche	50,3
Städtereiniger, Entsorger	50,4
Altenpfleger	50,4
Fleischer	50,5
Kunststoff-Formgeber	51,1
Sonstige Berufe in der Gästebetreuung	51,3
Straßenbauer	51,7

Tabelle A1: Fortsetzung

Beruf nach KldB-1992 (3-Steller) – Männer	Rauchquote
Hochbauberufe o. n. T.	52,0
Maschinen-, Behälterreiniger und verwandte Berufe	52,1
Friseure	52,3
Werk-, Personenschutzfachkräfte, Detektive	52,3
Nahrungs-, Genussmittelverkäufer	52,4
Stukkateure	52,6
Beton- und Stahlbetonbauer	52,6
Warenaufmacher, Versandfertigmacher	52,7
Gießereimechaniker und andere Formgießerberufe	53,6
Maler und Lackierer (Ausbau)	54,5
Transportgeräteführer	54,6
Dachdecker	55,5
Maler und Lackierer o. n. A.	56,2
471/472: Erdbewegungsarbeiter (471); Sonstige Bauhilfsarbeiter, Bauhelfer, a. n. g. (472)	56,3
Isolierer, Abdichter	57,7
Gerüstbauer	58,1
Restaurantfachleute, Stewards	58,3
Gebäudereiniger, Raumpfleger	59,8

a. n. g. = anderweitig nicht genannt, o. n. A. = ohne nähere Angabe,
o. n. F. = ohne nähere Fachrichtung, o. n. T. = ohne nähere Tätigkeitsangabe

Tabelle A2:

Rauchquoten nach verschiedenen Berufsgruppen – Frauen;
KldB = Klassifizierung der Berufe (des Statistischen Bundesamtes)

Beruf nach KldB-1992 (3-Steller) – Frauen	Rauchquote
Mithelfende Familienangehörige in der Landwirtschaft, a. n. g.	7,9
Ingenieure ohne nähere Fachrichtungsangabe	8,4
Wirtschaftsprüfer, Steuerberater und verwandte	8,6
Lehrer für musische Fächer, a. n. g.	9,0
Landwirte, Pflanzenschützer	10,1
Apotheker	10,6
Hochschullehrer und verwandte Berufe	10,9
Lehrer an berufsbildenden Schulen	13,0
Naturwissenschaftler, a. n. g.	13,0
Zahnärzte	13,8
Dolmetscher, Übersetzer	13,8
Gymnasiallehrer	14,0
Verwaltungsfachleute (gehobener Dienst), a. n. g.	14,8

Tabelle A2: Fortsetzung

Beruf nach KldB-1992 (3-Steller) – Frauen	Rauchquote
Wirtschaftswissenschaftler, a. n. g.	15,0
Ärzte	15,1
Landarbeitskräfte	15,2
Wissenschaftler o. n. A.	15,5
Grund-, Haupt-, Real-, Sonderschullehrer	15,5
Lehrer ohne nähere Angabe	16,2
Heilpädagogen	18,3
Psychologen	18,7
Bibliothekare, Archivare, Museumsfachleute	18,9
Sonstige Lehrer	18,9
Bauingenieure	19,3
Therapeutische Berufe, a. n. g.	19,4
Bankfachleute	19,5
Bauzeichner, Kartographen und verwandte Berufe	20,1
Rechtsvertreter, Rechtsberater	20,5
Buch-, Musikalienhändler	21,1
Softwareentwickler	21,1
Oberbekleidungsschneider	21,6
Pharmazeutisch-technische Assistenten	21,9
Sportlehrer	22,1
Finanz-, Rechnungswesenfachleute, Kalkulatoren	22,1
Masseure, Medizinische Bademeister und Krankengymnasten	22,2
Publizisten	22,2
Marketing-, Absatzfachleute	22,4
Chemielaboranten	22,6
Verwaltungsfachleute (höherer Dienst), a. n. g.	22,7
Technische Zeichner	22,7
Apothekenhelfer	23,0
Buchhalter	23,6
Verkaufs-, Vertriebssachbearbeiter	23,7
Medizinisch-technische Assistenten und verwandte Berufe	23,8
Architekten, Raumplaner, a. n. g.	23,9
Augenoptiker	24,4
Fachhilfen in steuer- und wirtschaftsberatenden Berufen, Steuerfachleute	24,7
Verwaltungsfachleute (mittlerer Dienst), a. n. g.	24,9
Industriekaufleute, Technische Kaufleute, Betriebswirte (ohne Diplom),	25,1
Erzieher	25,5
Sekretäre	25,6

Tabelle A2: Fortsetzung

Beruf nach KldB-1992 (3-Steller) – Frauen	Rauchquote
Verlagskaufleute	25,7
Techniker ohne nähere Fachrichtungsangabe	26,0
Bildende Künstler(angewandte Kunst)	26,3
Unternehmensberater und verwandte Berufe	26,6
Kinderpfleger	26,6
Geschäftsbereichsleiter, Direktionsassistenten	26,7
Handelsvertreter, Vertriebsbeauftragte	26,7
Datenverarbeitungsfachleute, Informatiker o. n. A.	26,8
Andere Vertreter, Handlungsreisende	26,9
Floristen	26,9
Textilnäher, a. n. g.	27,0
Büro- und kaufmännische Sachbearbeiter, a. n. g.	27,1
Unternehmer, Geschäftsführer, a. n. g.	27,9
Verkehrsfachleute (Personen-, Fremdenverkehr)	28,1
Organisatoren, Controller und verwandte Berufe, a. n. g.	28,4
Handelsmakler, Immobilienkaufleute	28,7
Gärtner Gartenarbeiter	29,0
Sonstige soziale Berufe	29,0
Bürohilfskräfte	29,0
Haus- und Ernährungswirtschaftler	29,1
Sozialarbeiter, Sozialpädagogen	29,1
Textilreiniger, Textilpfleger	29,2
Versicherungsfachleute (nicht gesetzliche Sozialversicherung)	29,7
Zahntechniker	29,8
Bürofachkräfte, Kaufmännische Angestellte o. n. A.	30,0
Krankenschwestern, Hebammen	30,4
Sonstige Arbeitskräfte ohne nähere Tätigkeitsangabe	30,5
Darstellende Künstler, Sänger	30,5
Kaufleute o. n. A., Händler, a. n. g.	30,6
Sprechstundenhelfer	31,0
Einzelhandelskaufleute mit Fachbereichsangabe, a. n. g.	31,1
Schreibkräfte, Textverarbeitungsfachleute	31,1
Maschinen-, Behälterreiniger und verwandte Berufe	31,4
Hauswirtschaftliche Gehilfen und Helfer	31,6
Groß- und Außenhandelskaufleute	31,8
Waren-, Fertigungsprüfer, a. n. g.	32,1
Sonstige Fachverkäufer	32,3
Lager-, Transportarbeiter	32,4

Tabelle A2: Fortsetzung

Beruf nach KldB-1992 (3-Steller) – Frauen	Rauchquote
Gebäudereiniger, Raumpfleger	33,0
Hausmeister, Hauswarte	33,2
Maschinenführer, Maschinisten, Maschinenwärter	33,4
Sonstige Montierer	33,7
Warenaufmacher, Versandfertigmacher	34,0
Soldaten, Grenzschutz-, Polizeibedienstete	34,0
Einkäufer, Einkaufsleiter	34,3
Nahrungs-, Genussmittelverkäufer	35,4
Vermittler, a. n. g., Vermieter, Versteigerer	35,7
Köche	36,1
Rechtsanwalts- und Notargehilfen	36,7
Kosmetiker	36,8
Einzelhandelskaufleute ohne Fachbereichsangabe, ambulante Händler	36,8
Werbefachleute	37,5
Raum-, Schauwerbegestalter	37,6
Verkäufer o. n. A.	37,7
Hilfsarbeiter ohne nähere Tätigkeitsangabe	37,8
Verkehrskaufleute (Güterverkehr)	37,9
Installations- und Montageberufe, a. n. g.	38,3
731/732: Posthalter (731); Dienstleistungsfachkräfte im Postbetrieb (732)	38,6
Helferin der Krankenpflege	38,7
Lagerverwalter, Magaziner	38,9
Bäcker	40,0
Altenpfleger	40,5
Berufe im Funk- und Fernsprechverkehr	40,7
Kassenfachleute	42,3
Friseure	42,5
Hotel-, Gaststättenkaufleute, a. n. g.	42,7
Hoteliers, Gastwirte, Hotel-, Gaststättengeschäftsführer	43,5
Verkaufs-, Filialleiter im Handel	44,2
Berufskraftfahrer, Kutscher	44,3
Sonstige Berufe in der Gästebetreuung	44,6
Heilerziehungspfleger	45,2
Restaurantfachleute, Stewards	47,6
Wächter, Aufseher	54,6

a. n. g. = anderweitig nicht genannt, o. n. A. = ohne nähere Angabe,
o. n. F. = ohne nähere Fachrichtung, o. n. T. = ohne nähere Tätigkeitsangabe

Anhang 2: Abkürzungsverzeichnis

AGS	Ausschuss für Gefahrstoffe
AM	Arithmetischer Mittelwert
ASR	Arbeitsstättenrichtlinie
ASRAE	American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
BAR	Biologischer Arbeitsstoff-Referenzwert
CI	Konfidenzintervall
CPC	Kondensationskernzähler
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
EPA	Environment Protection Agency
ETS	Environmental tobacco smoke
FID	Flammenionisationsdetektor
FTC	Federal Trade Commission
GC	Gaschromatograph
GM	Geometrischer Mittelwert
HSR	Hauptstromrauch
HWZ	Halbwertszeit
IARC	International Agency for Research on Cancer
LW	Luftwechsel
MS	Massenspektrometer
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NMAM	NIOSH Manual of Analytical Methods
NNK	nicotine derived nitrosamino ketone, 4-(Methylnitrosamino)-1-(3-pyridyl)-1-butanon
NNN	N-Nitrosornikotin
NPD	Stickstoff-Phosphor-Detektor
NSR	Nebenstromrauch
RSP	Respirable suspended particles
SHS	Second hand smoke