

Deutliche sensorische Reaktionen bei Nichtrauchern auf Tabakrauch sehr geringer Konzentrationen in der Raumluft im kontrollierten Laborversuch

Martin H. Junker, Brigitta Danuser, Christian Monn, Theodor Koller

Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (Schweiz), in Zusammenarbeit mit dem Laboratorium für Festkörperphysik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Hönggerberg, Schweiz

**Deutsche Übersetzung: Gertrud Sieger
im Auftrag der Nichtraucher-Initiative Deutschland e.V.**

Ziel der vorliegenden Studie war es, eine Grundlage zu erstellen, aufgrund derer Nichtraucher vor spürbaren sensorischen Einwirkungen wirksam geschützt und eine durch Emission von Tabakrauch in Innenräumen verursachte Minderung der Luftqualität (ETS¹) verhindert werden können. In einem olfaktorischen Versuch wurden Schwellen der Geruchswahrnehmung (OT) von Nebenstrom-ETS (sETS) ermittelt und in einem Versuch der Ganzkörpereinwirkung sensorische Symptome bei sehr geringen sETS-Konzentrationen untersucht. Die OT-Konzentrationen für sETS liegen drei und mehr Zehnerpotenzen niedriger als im praktischen Umfeld gemessene ETS-Konzentrationen und entsprechen einer Frischluftmenge zur Konzentrationsreduzierung von >19.000 m³ je Zigarette; das ist über hundertmal mehr, als bis dahin als Maß für eine annehmbare Luftqualität in Innenräumen angegeben. Reizungen der Augen und der Nase wurden bei sETS-Konzentrationen beobachtet, die eine Zehnerpotenz unter den in der Literatur angegebenen Werten lagen, entsprechend einer Luftmenge zur Konzentrationsreduzierung von >3.000 m³ je Zigarette. Diese Erkenntnisse haben wesentliche praktische Bedeutung für die Aufstellung von Qualitätsnormen für die Luft in Innenräumen, in denen ETS emittiert wird. Die vorliegende Studie spricht dezidiert für die Einführung und Überwachung von Regulierungen des Rauchens, wie z.B. Trennung von Raucherzonen und Bereichen, in denen das Rauchen nicht gestattet ist, oder Rauchverbote in öffentlichen Gebäuden. Schlüsselbegriffe: environmental tobacco smoke (Tabakrauch in Innenräumen), indoor air quality (Raumluftqualität), odor threshold (Geruchsschwelle), sensory symptoms (sensorische Symptome), ventilation (Lüftung). *Environ Health Perspect* 109, 1045-1052 (2001). [Online 28. September 2001]

<http://ehpnetl.niehs.nih.gov/docs/2001/109p1045-1052junker/abstract.html>

¹ Abkürzungen am Textende

In den vergangenen Jahren sind verschiedene Studien zur Untersuchung deutlicher Einwirkungen auf die Gesundheit und sensorischer Reaktionen, verursacht durch Tabakrauch in Innenräumen (ETS), durchgeführt worden. In Kammerversuchen zur Untersuchung der Lungenfunktionen bei Asthmatikern und anderen sensiblen Probanden wurde Nebenstrom-ETS (sETS) in Konzentrationen zwischen 2 und >15 ppm Kohlenmonoxid verwendet (1-3), in Untersuchungen, die auf sensorische Symptome ausgerichtet waren, ETS geringerer Konzentrationen (4-7). Für Augenreizung wurde eine Toleranzgrenze von 1,5-2 ppm CO angegeben (5-8). Signifikante Erhöhungen der spürbaren Reizungen an Augen und Nase und auch Beschwerden wurden bei Konzentrationen von 58 µg/m³ luftgetragener Partikel in der Atemluft (RSP) beobachtet, entsprechend einer zeitbezogenen mittleren Konzentration von 0,22 ppm CO, womit im Ergebnis die Annehmbarkeit der Luftqualität deutlich verringert war (7). Nach Einschätzung der Autoren entsprach eine 80-prozentige Annehmbarkeit der Luftqualität einer RSP-Konzentration von 103,3 µg/m³. Bei einer durchschnittlichen Abgabe von 13,7 mg ETS-RSP pro Zigarette (9) entspricht diese Konzentration dem Ausstoß einer einzigen Zigarette, verdünnt in einem normalen westeuropäischen Wohnzimmer. Cain et al. (4) berichten von gleichen Beobachtungen.

Als typische Belastungskonzentrationen im praktischen Umfeld werden RSP-Konzentrationen von 120 µg/m³ angegeben, wenn dort geraucht wird (10). Neuere, in den USA und Europa durchgeführte Untersuchungen der Belastung von Personen zeigten deutlich geringere mittlere RSP-Konzentrationen (11-14). Diese Daten basieren jedoch auf Probenintervallen von durchschnittlich mehr als 8 Stunden. Angaben über kurzzeitige RSP-Konzentrationen liegen weit höher (10, 15). Übrigens wurde eine Besorgnis erregende Zunahme des aktiven Rauchverhaltens in einigen Ländern beobachtet. In der Schweiz war eine Steigerung von über 40 % in der Gruppe der 14- bis 24-Jährigen festzustellen (16).

Dem zunehmenden Bewusstsein für Aspekte der Wahrnehmung und Annehmlichkeit als wichtige Komponenten in einem gesundheitsgerechten Gebäude wird von den Richtlinien für die Luftqualität in Innenräumen immer stärker Rechnung getragen (17). ETS kann, als Mitverursacher des "Gebäudesyndroms" (18), dort, wo sich Raucher und Nichtraucher zusammen aufhalten, sensorische Wirkung und Unannehmlichkeit verbreiten. Diese These wird gestützt durch die Beobachtung, dass von Atopien oder Atemwegkrankungen betroffene Menschen empfindlicher auf die deutliche, irritierende Wirkung von ETS reagieren als Menschen ohne eine solche Krankengeschichte (19). Geruchsschwellen und die Schwellen spürbarer Reizungen durch ETS wurden jedoch bisher noch nicht schlüssig ermittelt. Laut Empfehlung der Weltgesundheitsorganisation sollten ungewollte Geruchsstoffe nicht in Konzentrationen über der Wahrnehmungsschwelle von ED₅₀ (effektive Dosis, bei der 50 % der ihr ausgesetzten Personen reagieren) vorhanden sein, sensorische Reizstoffe nicht über der Wahrnehmungsschwelle von ED₁₀ (effektive Dosis, bei der 10 % der ihr ausgesetzten Personen reagieren) (20). Die Tatsache, dass in vielen Teilen der Welt in öffentlichen Gebäuden, Schulen und Restaurants heute noch keine Regulierung des Rauchens besteht, bedeutet, dass ETS dort potentiell vorhanden ist und jetzt und in Zukunft ein gesellschaftliches Problem darstellt.

Ziel der vorliegenden Studie war es, Schwellen der Geruchswahrnehmung von sETS im Laborversuch zu ermitteln. Deutliche sensorische Symptome, Atmungsverlauf, Beschwerden und die Annehmbarkeit der Raumluftqualität wurden bei sehr geringen sETS-Konzentrationen in einer Einwirkkabine bestimmt. Auf Basis der sETS-Emissionsraten ermittelten wir die Frischluftmengen, die bei einer einzigen Zigarette zur Reduzierung auf Schwellenkonzentrationen erforderlich sind. Außerdem arbeiteten wir mit Schockreflexen, die durch Elektromyogrammaufzeichnungen des M. orbicularis oculi erfasst und durch ein akustisches Signal als objektiver Indikator für Irritationen ausgelöst wurden.

In der vorliegenden Studie sollten Standardwerte für Luftqualität ermittelt werden zum Schutz von Nichtrauchern vor gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch die Einwirkung von ETS auf das sensorische System des Menschen, sowie Maßnahmen zur Erreichung einer annehmbaren Luftqualität in Innenräumen aufgezeigt werden. Wir zeigen, dass ETS-Geruchsschwellen etwa hundertmal und Nasen- und Augenreizungen zehnmals niedriger liegen, als in früheren Studien berichtet (4, 7). In die Praxis übertragen heißt das, nur getrennt zu lüftende Raucher- und Nichtraucherbereiche oder vollständige Rauchverbote können Nichtraucher wirksam vor sensorischen Einwirkungen und möglichen Belästigungen durch ETS schützen.

Die Methoden

Versuchsplan. Zum Zwecke der vorliegenden Studie führten wir drei Versuchsreihen durch. Bei einer Versuchsreihe handelte es sich um einen olfaktorischen Test zur Ermittlung von Schwellen der sETS-Geruchserkennung. Die gewonnenen Daten dienen als Grundlage eines Laboreinwirkversuches zur Untersuchung sensorischer Symptome bei Nichtrauchern in Gegenwart von sETS sehr geringer Konzentrationen. Abbildung 1 zeigt das Schema der Versuchsanordnung für diese beiden Experimente. Darüber hinaus führten wir in der unbesetzten Einwirkkabine einen Zigarettenemissionstest durch, um dadurch Werte zu erhalten, welche die Zigarette selbst betreffen. So konnten wir den für das Belastungs- und das Geruchsexperiment erzeugten sETS mit nicht durch die Versuchsanordnung beeinflusstem sETS vergleichen.

Wir erzeugten sETS in einem Handschuhkasten von 0,6 m³ Inhalt mit Hilfe eines Borgwaldt-Raucherzeugers (Borgwaldt, Hamburg). Auf Basis der Umsatzstatistik der Vereinigung der Schweizerischen Zigarettenindustrie wählten wir sechs Zigarettenmarken aus und verteilten sie gleichmäßig auf dem Raucherzeuger (21). Während eines ganzen Versuchslaufs waren ständig zwei beliebig gewählte Zigaretten angezündet, bis sie nach 5 – 6 min von selbst erloschen. Sodann wurden zwei weitere Zigaretten angezündet. Der Hauptstromanteil des Tabakrauch-Aerosols wurde aus dem Handschuhkasten abgezogen und in eine Entlüftungshaube geführt. Von einem Frischluftaggregat, das mit zwei Radialventilatoren ausgestattet war, die einen Frischluftstrom von 1,5 m³/min lieferten, wurde Frischluft in das Olfaktometer bzw. in die Ganzkörper-Einwirkkabine geleitet. Die Luft wurde in einem Glasfaserfilter (Camfil 1 E-110; Camfil AB, Trosa, Schweden) und einem Aktivkohlegranulat (CN-50 6 x 12 1,7-3,4 mm; Siegfried AG, Zofingen, Schweiz) gefiltert

Zigarettenemissionsversuch. Um die von einer einzelnen Zigarette emittierte sETS-Menge zu ermitteln, multiplizierten wir die mittleren, basisbereinigten Werte der ETS-Konzentrationen während der Brenndauer der Zigarette (570 sec) mit der in der gleichen Zeit in die unbesetzte Einwirkkabine eingeleitete Frischluftmenge (25,7 l/sec). Während des Emissionsversuchs wurde eine Zigarette der in der Schweiz am meisten gerauchten Marke angezündet und mittels eines PVC-Rohres durch die Decke in die leere Einwirkkabine von 2 m³ Rauminhalt eingeführt. Der Versuch wurde sechsmal wiederholt. Die Zigaretten glommen – passiv – 9,5 min lang. Während dieser Zeit wurde kein Hauptstromrauch erzeugt (das heißt, es wurden keine Züge an der Zigarette gemacht). Wegen der ziemlich hohen Luftaustauschraten (45/h) konnte eine homogene Verteilung des sETS angenommen werden. Die Zigaretten blieben entzündet, bis sie von selbst erloschen.

Versuchspersonen. 24 Nichtraucherinnen waren zur Teilnahme zu dem olfaktorischen und dem Ganzkörperbelastungsversuch eingeladen. Vor dem Versuch erklärten sich die Probandinnen schriftlich mit den Experimenten einverstanden. Die Ethik-Kommission des Bundesinstituts für Technologie (Zürich) gab ihr Einverständnis zu der Studie.

Voraussetzung war, dass die Versuchspersonen gesund waren, bislang frei von Pollen- oder Stauballergie sowie von Anosmie, und sie sollten in den letzten fünf Jahren nicht geraucht haben. Außerdem sollten die Probandinnen weder eine Brille noch Kontaktlinsen tragen und sich am Versuchstag keinerlei ETS-Einwirkung aussetzen. Das Alter der Personen lag zwischen von 18 und 35 Jahren. Für ihre Teilnahme erhielten sie ein Entgelt. Von den 24 Teilnehmerinnen an dem Ganzkörper-Belastungsversuch nahmen 18 auch an dem olfaktorischen Experiment teil. In einem zuvor ausgehändigten Fragebogen wurden die Teilnehmerinnen um Angaben gebeten, wie stark sie sich belästigt fühlen von ETS, Autoabgasen, Lösungsmitteln und Parfum.

Olfaktorisches Experiment. Zur Ermittlung von Geruchsschwellen für sETS führten wir zwei verschiedene Versuche nach der Grenzdatenmethode (? : method of limits) durch (22). In einem Versuch waren die Personen aufgefordert, die Luft zu beurteilen, indem sie die Nase erst nach der Impulsgabe in den Stutzen des Olfaktometers hielten (Typ A); bei dem anderen verblieb die Versuchsperson während der gesamten Versuchsdauer mit der Nase in dem Stutzen (Typ B). In vier bis acht Wiederholungen wurden für beide Versuche Impulse in steigenden Konzentrationen gegeben. Ein potentieller Geruchsschwellenwert während eines Versuchsganges ergab sich, wenn die Versuchsperson die steigende Konzentration der Impulse erstmals wahrnahm. Einen gültigen Geruchsschwellenwert lieferte die Angabe der Person, wenn sie während zwei konsekutiv steigender Konzentrationen Geruch

wahrnahm. Die Geruchsschwellen wurden errechnet durch Subtraktion der vor der Impulsgabe bestehenden Grundkonzentration von der maximalen Konzentration des sETS-Indikators während der Impulsgabe. Die ermittelten Werte stammen von 18 weiblichen nicht rauchenden Personen, eingeteilt in sechs Gruppen à drei Teilnehmerinnen.

Eingesetzt wurde ein am Institut für Hygiene und Angewandte Physiologie (Zürich) entwickeltes Olfaktometer (23). Über einen teflonbeschichteten Ventilator wird Luft aus dem Umgebungsbereich gezogen und durch ein System von Glasröhren zu vier teflonbeschichteten Atemöffnungen für die Nase geleitet. Frischluft wird ständig mit einer Geschwindigkeit von 147 l/min durch das System gespült und erreicht die Stutzen, von denen aus die sensorischen Messungen ausgeführt werden, mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,85 m/sec. Einer der vier Stutzen für die Nase wurde zur Überwachung des ETS-Indikators verwendet. sETS wurde manuell mittels Rotametern in den Frischluftstrom eingegeben. Der maximale Verdünnungsfaktor des Olfaktometers beträgt 39.400. Dieser wurde durch weitere Verdünnung vor Eintritt in das Olfaktometer verdoppelt.

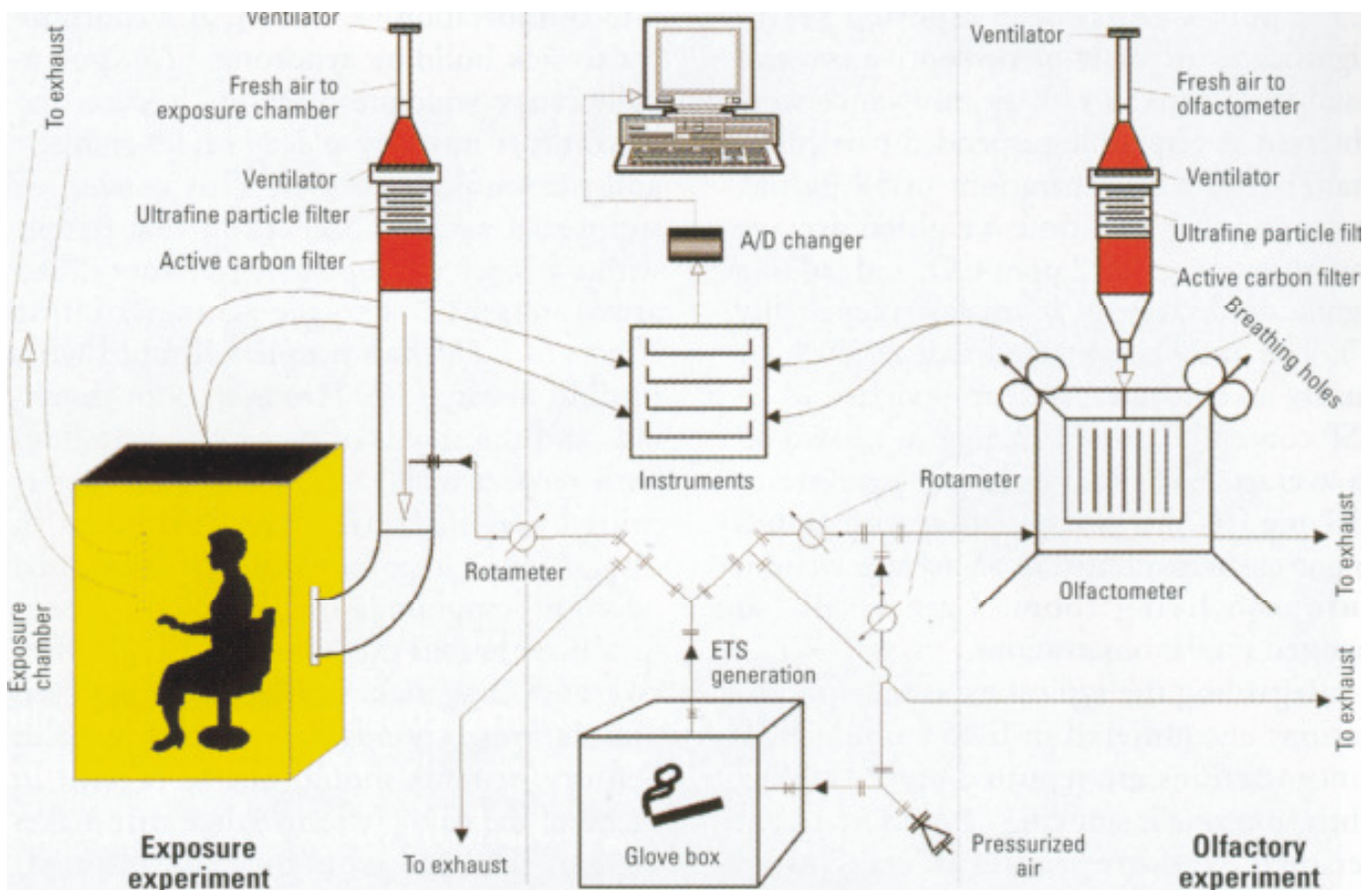


Abbildung 1: Schema des Versuchsaufbaus für die Studie zur Ermittlung von Geruchsschwellen und Ganzkörpereinwirkung. Die Geräte im Mittelteil der Abbildung wurden für beide Versuche eingesetzt. Im Handschuhkasten erzeugter und durch Frischluftzufuhr verdünnter sETS wurde dem Olfaktometer zur Bestimmung von Schwellen der Geruchswahrnehmung zugeführt bzw. in die Einwirkkabine zur Erfassung sensorischer Symptome geleitet.

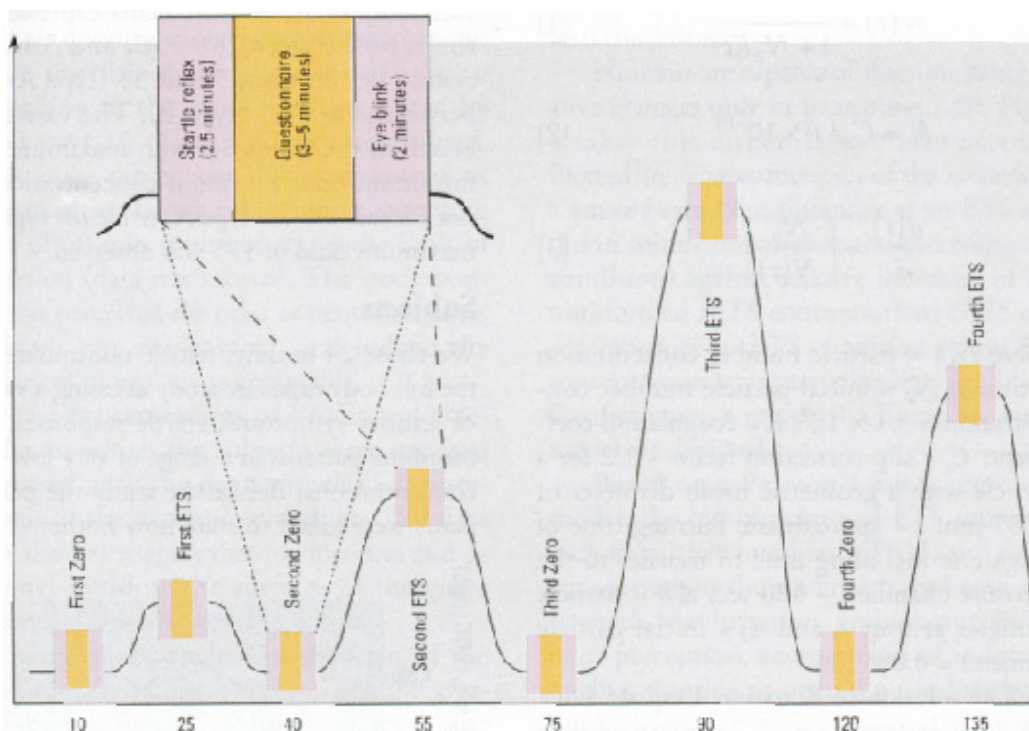
Ganzkörpereinwirkungsversuch. Der mit allen Teilnehmerinnen durchgeführte Versuchsablauf in der Einwirkkabine ist in Abbildung 2 qualitativ dargestellt.

In jedem Versuchslauf waren acht Zustände von Interesse. In vier der acht Phasen wurden unterschiedliche Mengen sETS, und zwar unterschieden nach Luftströmungsgeschwindigkeiten von 200 ml/min, 500 ml/min, 1.200 ml/min oder 3.600 ml/min, aus dem Handschuhkasten in den durch die Einwirkkabine fließenden Frischluftstrom geleitet (sETS-Konzentration). Die niedrigste Strömungsrate wurde danach bemessen, dass sie sETS-Konzentrationen erzeugte, die etwa den im 95. Perzentil der

Geruchsschwelle beobachteten Konzentrationen entsprachen. Vor jedem dieser sETS-Zustände wurde sETS-freie Luft (Nullzustand) eingegeben. Die Abfolge der sETS-Zustände wurde beliebig auf die 24 Versuchspersonen verteilt. Für jede Person wurde die angewendete Sequenz der ETS-Phasen aus einem Pool von 24 möglichen Sequenzen beliebig gewählt. Der Versuchslauf begann mit einem Nullzustand, dem ein beliebig gewählter sETS-Zustand folgte. Danach folgten Nullzustände, die jeweils mit sETS-Zuständen abwechselten. Jede Phase begann mit Schockreizungen über eine Zeitspanne von 2 min, gefolgt von einem Fragebogen und fortgeführt mit einer Lidschlagzählung. Während des ganzen Versuchslaufes wurde das Atemverhalten überwacht. Um Ablenkungen möglichst gering zu halten, war die Einwirkkabine mit einem beigefarbenen Baumwollvorhang verhängen. Der Versuchsleiter hatte keinen Blickkontakt mit den Versuchspersonen.

Für den Empfindungs-Fragebogen war jedes sensorische Symptom auf einer vertikalen Achse mit einer Bewertungsskala aufgeführt und die Versuchspersonen waren aufgefordert, an der entsprechenden Stelle der Skala zu markieren, wie sie das betreffende Symptom empfunden haben (Tabelle 1).

Die Einwirkkabine war eine Plexiglas konstruktion von 1,60 m Höhe, 1,40 m Länge und 0,90 m Breite. Darin konnte eine Versuchsperson bequem vor einem kleinen Pult sitzen. Das Frischluftaggregat lieferte partikelfreie Luft in konstanter Basiskonzentration flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) mit einer konstanten Strömungsgeschwindigkeit von 1,5 m³/min. Die Luft wurde über ein Lüftungsrohr von 0,25 m Durchmesser in Kniehöhe an der äußersten rechten Ecke gegenüber der Versuchsperson in die Kabine geleitet. Die Abluft wurde durch ein Rohr von 0,25 m Durchmesser in Kopfhöhe hinter der Person aus der Kabine abgeführt. Somit strömte die Luft zwangsläufig am Gesicht der Versuchsperson vorbei. Obgleich die Luftaustauschrate der Lüftungsanlage 45/h betrug, blieben die Luftgeschwindigkeiten in Gesichtsnähe unter 0,1 m/sec. Rohre zur Entnahme von Luftproben waren durch Bohrungen geführt, die sich im Mittelteil der Decke etwa in Kopfhöhe befanden.



Ordinate: ETS-Konzentration - Abszisse: Zeit (min)

Kasten in der Abb. oben: Schockreflex (2,5 min) , Fragebogen (3-5 min), Lidschlagzählung

Kurve: abwechselnd Wellental - Wellenberg (4 Wellentäler mit Null, 4 Wellenberge mit x ETS-Konzentrationen)

Abbildung 2: Verlauf eines Einwirkversuchs. Die Folge der sETS-Konzentrationen war willkürlich auf 24 Versuchspersonen verteilt. Jede Versuchsphase begann mit einer Schockreaktionsmessung, gefolgt von einem Fragebogen und einer Lidschlagzählung. Das Atemverhalten wurde während des ganzen Versuchslaufes registriert.

Tabelle 1: Vereinfachte Fragebogenfassung über die sensorischen Symptome

Beurteilung	Gradskala
Lufttemperatur	3: zu hoch, 0: angenehm, -3: zu niedrig
Relative Luftfeuchte	
Geruchsintensität	6: extrem, 5: sehr stark, 4: stark, 3: mäßig, 2: gering, 1: sehr schwach, 0: nicht spürbar
Augenreizung	
Nasenreizung	
Halsreizung	
Schock	6: extrem, 5: sehr stark, 4: stark, 3: mäßig, 2: gering, 1: sehr gering, 0: keine
Belästigung	
Geruchswahrnehmung	1: sehr angenehm, 0,67: angenehm, 0,33: leidlich angenehm, 0: neutral, -0,33: etwas unangenehm, -0,67: unangenehm, -1: höchst unangenehm
Geruchswahrnehmung	1: annehmbar, -1: unannehmbar; ein Wert >1 ist annehmbar, ein Wert <0 ist unannehmbar
Luftqualität	

Verwendetes Gerät. Mehrere sETS-Komponenten wurden während der gesamten Versuchsdauer überwacht: partikelgebundene polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (pPAH), die Gesamtmenge flüchtiger organischer Verbindungen (tVOC) und Konzentrationen der Partikelzahl. In dem Zigarettenemissions- und dem Ganzkörpereinwirkversuch wurden zusätzlich CO überwacht und eine Reihe getrennter Partikelzahl- und Partikelmasseverteilungen vorgenommen. CO₂, Parameter des Wärmeempfindens und VOCs wurden ebenfalls in dem Ganzkörperversuch ermittelt.

pPAH wurden mit einem photoelektrischen Aerosol-Sensor gemessen (PAS Typ LQ1-TV, Matter Engineering Inc., Wohlen, Schweiz) (24,25). Für die gesamten flüchtigen organischen Verbindungen wurde ein Flammionisationsdetektor (Modell VE7; J.U.M. Engineering, Karlsfeld, Deutschland) verwendet. Zur CO-Messung setzten wir einen CO-Monitor APMA-300E (Horiba Ltd., Japan) ein. Zur Ermittlung der Konzentrationen der gesamten Partikelzahl verwendeten wir einen condensation nucleus counter - Kondensationskernzähler (Ausführung 3025; TSI, St. Paul, MN, USA). Für die Verteilung der Partikelzahl gegenüber Partikelgröße benutzten wir einen scanning mobility particle sizer (die Mobilität abtastenden Kerngrößensortierer) (Ausführung 2.3; TSI Inc.) im Größenbereich 0,015 – 0,673 µm Mobilitätswindmesser mit einer Auflösung von 64 Kanälen pro Dekade auf einer logarithmischen Durchmesserachse. Ein 10-stufiges Quartz Crystal Microbalance Cascade Impactor System ermöglichte die Erfassung größenspezifischer Partikelmassen (Modell PC-2; California Measurements Inc., Sierra Madre, Kal., USA) mit aerodynamischer Mittelpunkt-Abschaltung im Bereich 0,07 – 35 µm.

Für die chemische Analyse der VOC-Proben wurde eine gegebene Luftmenge durch ein mit einem Adsorptionsmittel gefüllten Edelstahlrohr (Tenax TA; Tenax GmbH, Düsseldorf) gepumpt. Der Transport der Probe zur Kapillargaschromatographie (Säule: DB-5ms, 30 m; J&W Scientific, Agilent Technologies, Palo Alto, Kal., USA) erfolgte durch Thermodesorption (Perkin Elmer ATD 400; Perkin Elmer Instruments, Wellesley, MA, USA). Der Gaschromatograph (Fisons 6000; Fisons Instruments, Beverly, MA, USA) war mit einem Flammionisationsdetektor zur Quantifizierung und einem Massenspektrometer (Fisons MD800) zur Bestimmung der nachgewiesenen VOCs ausgestattet. Die Sorptionsmittelleitungen wurden zum Zwecke der Versuche als interner Standard mit Toluol-d8 gefüllt. Die Konzentrationen wurden in Toluoläquivalenten angegeben. Die Tenax-Rohre wurden 60 min lang bei einem Probenakt von 100 ml/min der Einwirkung ausgesetzt. Die Probenentnahme und –untersuchung dieser VOCs wurde vom Staatssekretariat für Wirtschaft, Arbeit und Gesundheit (Zürich, Schweiz) durchgeführt. Zum Zwecke der Aldehyduntersuchung wurden mit einem Edelstahlrohr Proben gezogen in einem Entnahmetakt von 1,3 l/min und mit Dinitrophenylhydrazin-2,4 als Adsorptionsmittel. Die Aldehyde werden desorbiert und die einzelnen Arten mit Hilfe von Hochdruckflüssigkeit-Chromatographie bestimmt. Die Aldehyd-Analyse wurde vom Institut für Gefahrstoff-Forschung der Bergbau-Berufsgenossenschaft (Bochum) durchgeführt. Die Werte für VOCs und Aldehyde sind nicht angegeben.

Lufttemperatur und relative Luftfeuchte wurden mit einem Gerät der Firma ROTRONIC AG (Bassersdorf, Schweiz) gemessen, die Windgeschwindigkeiten mit einem Analysator für niedrige Strömungsgeschwin-

digkeiten der Firma Dantec, Typ 54N50 (Dantec Incl., Kopenhagen, Dänemark) ermittelt. Kohlendioxidmessungen erfolgten mit dem Messgerät EGQ-10 (Sauter AG, Basel, Schweiz). Atmungsparameter zeichneten wir mit Hilfe der kardio-respiratorischen Diagnostik Respirace (SensorMedics Technology, Yorba Linda, Kal., USA) auf, die auf induktiver Plethysmographie basiert. Die Datenanalyse führten wir mit der Software RespiEvents (Version 4.2c, von Nims, Miami Beach, Fl., USA) durch. Den Versuchspersonen wurden zur Ermittlung der Atemverläufe Atembänder auf Brust und Bauch befestigt. Wir eichten die Bänder vor und nach dem Versuch mit Hilfe eines Spirometers (Spiro-Junio von Erich Jaeger, Würzburg).

Zur Erfassung des Schockreaktionsimpulses verwendeten wir ein SR-EMG-System (San Diego Instruments Inc., San Diego, Kal., USA). Bei der Anordnung handelt es sich um ein elektromyographisches Modulsystem, das aus zwei Geräten besteht, einem Verstärkermodifikator und einem Impulserzeuger. Zur Messung der Schockreaktion brachten wir zwei Elektroden auf dem M. orbicularis oculi am linken Auge der Versuchsperson an. Für einen Zeitraum von 2 min ließen wir die Probanden über Kopfhörer ein breitbandiges Weißrauschen (100-1.000 Hz) von 65 dB_A als Hintergrund hören. In dieser Zeit wurde eine Reihe von 10 akustischen Impulsen von 100 dB_A und 40 msec Dauer erzeugt.

Die Ergebnisse

Zigarettenemissionsversuch

Die Emissionsraten pro Zigarette sind für pPAH, PM_{2,25}, Partikelzahl, CO und tVOC in Tabelle 2 dargestellt.

Um zu ermitteln, in welchem Maße Koagulations- und Adsorptionsprozesse die physikalischen Eigenschaften des sETS-Aerosols verändern können, verglichen wir die Messungen der Verteilung von Partikelzahl und Partikelmasse aus direkt emittiertem sETS mit mechanisch erzeugtem, aus dem Handschuhkasten zu der Einwirkkabine geleitetem sETS. Die Verteilung der Partikelzahl einer brennenden Zigarette in der Einwirkkabine verschob sich von einem geometrischen mittleren Durchmesser von 0,085 µm (geometrische Standardabweichung = 0,002 µm) zu einem durchschnittlichen geometrischen mittleren Durchmesser von 0,172 µm (geometrische Standardabweichung = 0,002 µm) nach Erzeugung im Handschuhkasten (Durchschnitt aus 3 Messungen).

Tabelle 2: Durchschnittliche sETS-Emissionsraten je Zigarette

Indikatoren	Mittlere Konzentration während der Glimmzeit ∇ SD	Luftmenge während der Glimmzeit einer Zigarette (m ³)	sETS-Erzeugung je Zigarette ∇ SD
pPAH	1,661 ∇ 117 ng/m ³	14.65	24.3 ∇ 1.7 µg
PM _{2,25} ^a	387 ∇ 78 µg/m ³	14.65	5.7 ∇ 1.1 mg
Partikelzahl ^b	(6.3 ∇ 0.5) × 10 ⁵ /cm ³	14.65	(9.3 ∇ 0.7) × 10 ¹²
CO	4.88 ∇ 0.47 ppm	14.65	89 ∇ 9 mg
tVOC ^c	3,722 ∇ 414 ppb	14.65	113 ∇ 13 mg

Das Experiment wurde sechsmal wiederholt.

^a Es wurde *ein* Profil erstellt. ^b Partikelzahlen = Durchschnitt aus drei Wiederholungen. ^c tVOC-Mengen wurden auf Basis von Propanäquivalenten errechnet.

Parallel zur Zunahme des mittleren Durchmessers müsste sich die Konzentration der Partikelzahl mit der Zeit verringern. Bei der Partikelemissionsrate von 9,3 × 10¹² Partikeln je Zigarette (Tabelle 2) betrug die ermittelte Partikelkonzentration im Handschuhkasten (0,6 m³), nachdem zwei Zigaretten ausgebrannt waren, 3,1 × 10⁷ Partikel/cm³. Folgende Berechnungen wurden ausgeführt zur Ermittlung der tatsächlichen Konzentrationen der Partikelzahl, wenn im Handschuhkasten keine Koagulationsprozesse stattgefunden hätten (26):

$$N(t) = \frac{N_0}{1 + N_0 K t} \quad [1]$$

$$K = C_t 3,0 \times 10^{-10} \quad [2]$$

$$\frac{d(t)}{d_0} = \left(\frac{N_0}{N(t)} \right)^{1/3} \quad [3]$$

wobei $N(t)$ = Konzentration der Partikelanzahl in einer Zeit t , N_0 = anfängliche Konzentration der Partikelanzahl = $3,1 \times 10^7$, K = Koagulationskoeffizient, C_t = Faktor für Verschiebungsbereinigung $\sim 1,2$ für eine Partikel mit einem geometrischen mittleren Durchmesser von $0,085 \mu\text{m}$, t = ungefähre Glimmzeit einer Zigarette einschließlich der Transportzeit zur Einwirkkammer $\sim 420 \text{ sec}$, $d(t)$ = Partikeldurchmesser zu der Zeit t , und d_0 = anfänglicher Partikeldurchmesser = $0,085 \mu\text{m}$.

Die Lösung der Gleichung 1 ist gleich $5,5 \times 10^6$ Partikel/ cm^3 (i.e., 5,7 mal höhere Partikelzahlen, wenn keine Koagulation stattgefunden hätte) bei einer Zunahme des geometrischen mittleren Durchmessers um das 1,78-Fache (Gleichung 3). Gegenüber der anfänglichen Konzentration der Partikelzahl entspricht dies einer theoretischen Verringerung um den Faktor 5,7, nachdem Koagulation im Handschuhkasten und Adsorption der kleineren Partikel auf den PVC-Rohren stattgefunden haben. Die beobachtete Zunahme des geometrischen mittleren Durchmessers um den Faktor 2,02 entspricht ungefähr der errechneten Zunahme von 1,78. Darüber hinaus zeigte die Verteilung der Partikelmasse eine Verschiebung zu größeren Durchmessern innerhalb des Akkumulationsmodus ($0,1 - 2 \mu\text{m}$), nachdem sETS im Handschuhkasten erzeugt und zur Einwirkkabine transportiert worden war (keine Zahlenangaben). Diese Ergebnisse zeigen, dass in der Zeitspanne zwischen der Erzeugung des Aerosols im Handschuhkasten und seiner Analyse in der Einwirkkabine starke Koagulation und ein Verlust von Partikeln stattgefunden haben.

Geruchsversuch:

Die erhaltenen Geruchsschwellenwerte für sETS, in gemessenen Partikelzahlen, pPAH- und tVOC-Konzentration ausgedrückt, sind in Abbildung 3 dargestellt.

Der Vergleich der beiden Versuchstypen lässt eine um das 2- bis 4-Fache verstärkte Empfindsamkeit für die Geruchsschwelle bei Medianwerten für sETS-Konzentrationen erkennen, wenn die Versuchspersonen die Nase beständig in den Stutzen hielten. Die Streuung aller Messungen, ausgedrückt durch das Verhältnis zwischen dem 95. und dem 5. Perzentil, liegt zwischen 9 und 35 (Typ A) und zwischen 6 und 21 (Typ B). Die Ungleichheiten auf der Basis der Verhältnisse zwischen höchster und niedrigster Geruchsschwellen-Konzentration liegen nicht über 300 bei Typ A, während bei Typ B ein Maximalverhältnis von 175 beobachtet wurde.

Die Versuchspersonen:

Für den Versuch der Ganzkörpereinwirkung wurden 24 gesunde, weibliche nichtrauchende Personen ausgewählt, an denen verschiedene sensorische Symptome, Schockreaktionen und Atemverhalten im Bereich sehr geringer ETS-Konzentrationen erfasst werden sollten. Im Vorfeld des Versuchs wurden die Personen befragt, wie stark sie sich im allgemeinen durch ETS, Autoabgase, Parfüms und Lösungsmittel belästigt fühlten. Nach einer Wertungsskala von 1 bis 5 (1 = überhaupt nicht belästigt, 5 = stark belästigt) war die Belästigung der Versuchspersonen durch ETS (4,3) und Autoabgase (3,9) im Durchschnitt stärker als durch Parfüms (2,2) und Lösungsmittel (2,6). Keine der Versuchspersonen fühlte sich durch alle diese Substanzen stark belästigt.

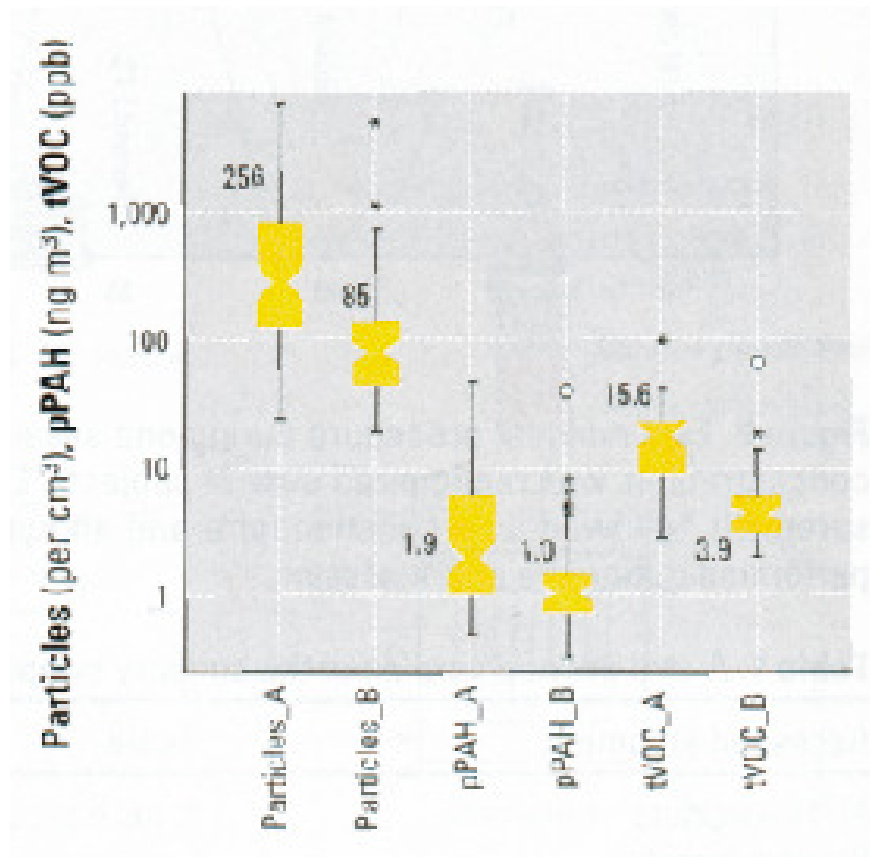


Abbildung 3: Schwellen der Geruchswahrnehmung von sETS, ausgedrückt in Partikel pro Kubikzentimeter (Anzahl der Werte: 98 für Typ A, 60 für Typ B), pPAH in Nanogramm pro Kubikmeter (Anzahl der Werte: 98 für Typ A, 74 für Typ B) und tVOC in Teilen pro Milliarde (Anzahl der Werte: 51 für Typ A, 75 für Typ B). Zwei verschiedene Versuche wurden durchgeführt: Typ A: Nase der Versuchsperson im Stutzen (5 sec), Nase aus dem Stutzen (30 sec); Typ B: Nase verbleibt im Stutzen. Die Kastengraphik wurde mit Systat 8.0 erstellt. Die in den Kästen eingetragenen Zahlen geben die Medianwerte der Konzentrationen an.

Experiment mit Ganzkörpereinwirkung:

Im Folgenden werden die Umgebungsverhältnisse dargestellt und die chemischen Substanzen angegeben, denen die Versuchspersonen ausgesetzt wurden. Die Ergebnisse des Fragebogens über die sensorischen Symptome, Atemverhalten, Lidschlagfrequenzen und Schockreflexmessungen sind dargestellt.

Umgebungsverhältnisse: Tabelle 3 fasst die jeweiligen durchschnittlichen ETS-Konzentrationen der vier ETS-Zustände zusammen, denen die Probanden ausgesetzt waren. Die ETS-Konditionen wurden nach dem Zufallsprinzip und in unsystematischer Folge eingesetzt. Ebenfalls dargestellt sind vier alternierende Null-Zustände.

Die tVOC-Konzentrationen im unbeaufschlagten Zustand der Luft stellen Werte dar, die nach den von Mølhavé angenommenen Richtlinien (27) Unannehmlichkeiten und Irritationen verursachen können. Dieser Umstand bleibt ungeklärt, denn die nachfolgenden VOC-Konzentrationen, die mit Hilfe von Tenax-Rohren in einem Probenakt von 60 min gemessen wurden, lagen nicht über der Wahrnehmungsgrenze (keine Datenangabe). Die Gruppe der Versuchspersonen nahm den Geruch als neutral wahr (weder angenehm noch unangenehm) und beurteilte die Innenraumluft als annehmbar.

Die Konzentrationen von VOCs und Aldehyden, denen die Probanden ausgesetzt waren, erhöhten sich mit dem Einsickern von sETS in die Einwirkkabine. Die Daten (nicht angegeben) lassen vermuten, dass für Nikotin und 3-Ethenylpyridin die Flächen des Handschuhkastens und die Rohrleitungen als Abzug fungierten.

Sensorische Reaktionen. Aufgrund der Ergebnisse des Fragebogens verglichen wir die durchschnittlichen absoluten Werte der sensorischen Symptome während der vier ETS-Zustände mit den Werten des unmittelbar vorausgegangenen Zustands reiner Luft (Tabelle 4; nur die niedrigste sETS-Kondition ist angegeben). Die Unterschiede zwischen der Intensität eines sensorischen Symptoms in einem ETS-Zustand und der Symptomstärke bei der vorausgegangenen Null-Kondition waren statistisch signifikant für sämtliche wahrgenommenen sensorischen Symptome außer der wahrgenommenen Lufttemperatur und der relativen Feuchte. Die durchschnittlichen Konzentrationen in der Phase niedrigster sETS-Konzentration betragen 468 Partikel pro cm^3 , $7,3 \text{ ng/m}^3$ pPAH und 19 ppb tVOC. Das entspricht einer geschätzten ETS- $\text{PM}_{2,25}$ -Konzentration (Partikelsubstanz bis maximal $2,25 \text{ }\mu\text{m}$ Durchmesser) von etwa $4,4 \text{ }\mu\text{g/m}^3$. Bei diesen Konzentrationen hielten 33 % der Probanden die Luftqualität für akzeptabel.

Die Ergebnisse für die sensorischen Symptome zeigen, dass die Versuchspersonen selbst bei sehr niedrigen ETS-Konzentrationen eine signifikante Zunahme der sensorischen Wirkung spürten (Irritationen an Augen, Nase und im Hals-Rachen-Raum). Außerdem fühlten sie sich bedeutend stärker belästigt und gaben an, dass die Luftqualität weniger akzeptabel sei als Luft ohne sETS.

Tabelle 3: Durchschnittliche Konzentrationen der kontinuierlich überwachten Umgebungsparameter während vier Einwirkphasen, dargestellt in sETS-Strömungsraten

Umgebungsparameter	1. Null	200 ml/min	2. Null	400 ml/min	3. Zero	1.200 ml/min	4. Null	3.600 ml/min
Partikelanzahl (cm^3)	0,02 (0,03) ^a	468 (110)	0,03 (0,03)	1,456 (266)	0,04 (0,04)	3,860 (795)	0,05 (0,04)	17.343 (1,891)
PPAH (ng/m^3)	1,6 (0,9)	9,3 (2,4)	1,8 (1,0)	22,8 (4,2)	2,1 (0,9)	58,5 (9,9)	2,2 (0,9)	218,8 (32,0)
CO (ppm)	0,16 (0,08)	0,21 (0,10)	0,16 (0,08)	0,27 (0,10)	0,15 (0,07)	0,39 (0,10)	0,15 (85)	1,07 (370)
tVOC (ppb)	1,244 (58)	1,256 (56)	1,238 (56)	1,282 (52)	1,232 (59)	1,340 (54)	1,231 (64)	1.702 (137)
CO ₂ (ppm)	636 (79)	628 (44)	630 (62)	632 (83)	636 (93)	648 (61)	622 (74)	639 (46)
Temperatur (°C)	23,8 (3,4)	24,0 (3,0)	23,8 (2,9)	23,8 (2,8)	23,9 (2,7)	23,9 (2,8)	23,9 (2,8)	23,7 (2,9)
Relative Feuchte (%)	27,9 (3,8)	27,2 (3,3)	27,4 (3,6)	27,3 (3,4)	27,1 (3,4)	27,3 (3,5)	27,0 (3,2)	27,1 (3,5)
ETS- $\text{PM}_{2,25}$ ^b ($\mu\text{g/m}^3$)	0,7 (0,0)	5,1 (1,4)		34,0 (5,4)		115,5 (31,6)		430,7 (96,4)

Die Null-Zustände 1, 2, 3 und 4 entsprechen Konditionen ohne sETS-Einwirkung (vgl. Abb. 2).

^aSDs in Klammern. ^b $\text{PM}_{2,25}$ -Messungen wurden getrennt durchgeführt mit einem quartz crystal cascade impactor in der unbesetzten Einwirkkabine.

Menschen können relative Veränderungen nur in der Wahrnehmung erkennen (28). In Abbildung 4 ist diesem Umstand Rechnung getragen. Dargestellt sind relative Zunahmen eines sensorischen Symptoms (Stärke bei einem ETS-Zustand minus Stärke bei dem vorausgegangenen Null-Zustand) gegenüber relativen Zunahmen logarithmisch transformierter sETS-Konzentrationen (ETS-Konzentration in einem ETS-Zustand minus ETS-Konzentration in dem ihr vorausgegangenen Null-Zustand). Außerdem sind p-Werte eines linearen Regressionsmodells aufgezeichnet.

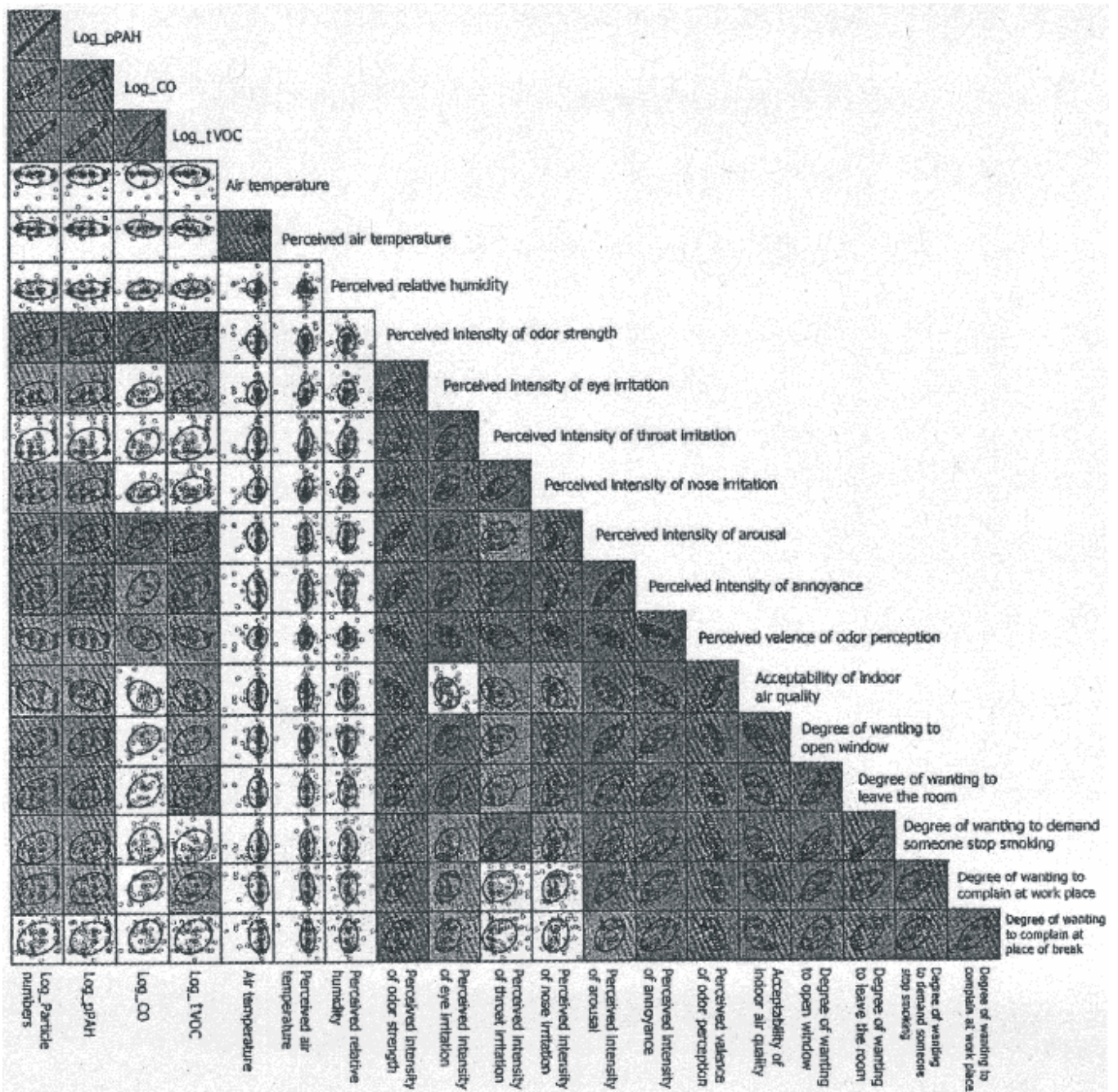


Abbildung 4: Streuungswerte hintergrundberichtigter sensorischer Reaktionen (Reaktion in einer Phase der ETS-Konzentration minus der Reaktion während der vorausgegangenen Null-Phase) und logarithmisch transformierte ETS-Konzentrationen 24 exponierter Versuchspersonen. Die Werte in den weißen Kästchen korrelieren nicht signifikant mit einem Pearson'schen linearen Regressionsmodell ($p > 0,01$). Die Werte in den hellgrauen Kästchen korrelieren stark mit dem linearen Trend ($p < 0,01$), und für die Werte in den dunkelgrauen Kästchen besteht eine sehr starke Korrelation ($p < 0,001$).

Auf Grundlage eines linearen Regressionsmodells von Pearson zeigen die logarithmisch transformierten ETS-Indikatoren, wie z.B. Partikelzahl, pPAH und tVOC-Konzentrationen, einen linearen Trend, so bei Geruchsintensität, Augenreizung, Schockreflex, Beschwerden, Geruchswahrnehmung, Annehmbarkeit der Raumluftqualität, dem Wunsch, das Fenster zu öffnen, dem Wunsch, den Raum zu verlassen und Klagen am Arbeitsplatz. Nasenreizungen dagegen zeigen nur bei den Partikelindikatoren einen linearen Trend.

Um zu ermitteln, über welchen sensorischen Zugangsweg (Geruch, Nase, Augen, Hals-Rachen, Schock) am meisten zu der beobachteten Minderung der Innenluftqualität beigetragen wird, führten wir ein gestuftes mehrfach-lineares Regressionsbeispiel durch. Nur bei der linearen Kombination der Variablen Geruchsintensität ($F = 12,1$, $p = 0,001$) und Schockreaktion ($F = 7,39$, $p = 0,008$) bestand eine graduelle Entsprechung zum Grad der Annehmbarkeit der Raumluftqualität ($\gamma^2 = 0,5$, $p < 0,001$). Die Komponenten Augen-, Nasen- und Hals-Rachenirritationen zeigten jedoch keine signifikante Relation ($p > 0,4$).

Schockreflexmessungen. In der Vergangenheit wurde der Schockreflex als Instrument zur Auswertung emotionaler Qualitäten einer vordergründigen Reizung eingesetzt (29,30). Da der Schockreflex nicht durch bewussten Muskeleinsatz verfremdet wird, eignet er sich gut zur Erfassung eines durch einen vordergründigen Reiz ausgelösten motorischen Verhaltens. Die Amplitude des Schockreflexes hängt davon ab, wie stark die Aufmerksamkeit durch den vordergründigen Stimulus herausgefordert wird (31), besonders dann, wenn Vordergrundstimuli und Schockstimuli von unterschiedlicher Art sind (32). Die Schockreaktion wird verstärkt, wenn die Aufmerksamkeit auf einen akustischen Schockimpuls gelenkt ist, dagegen wird die Reaktion abgeschwächt, wenn die Aufmerksamkeit von dem Impuls abgelenkt ist (33). Diese Erkenntnisse lassen darauf schließen, dass die Zurückwendung der Aufmerksamkeit auf einen Störimpuls mit Hilfe des Schockreflexes messbar ist.

Tabelle 4: Durchschnittliche wahrgenommene sensorische Reaktionen des sETS-Zustands bei einer Strömungsrate von 200 ml/min und in der vorausgegangenen Null-Situation.

Reaktion	Symptom Null-Zustand	Symptom bei 200 ml/min
Temperatur (-3, 3)	-0,56	-0,53
Relative Feuchte (-3, 3)	0,61	0,79
Geruchsintensität (0, 6)	0,65	2,09 [#]
Augenreizung (0, 6)	0,61	0,97 [*]
Halsreizung (0, 6)	0,82	1,49 ^{**}
Nasenreizung (0, 6)	0,55	0,94 ^{**}
Schock (0, 6)	0,41	1,79 [#]
Beschwerden (0, 6)	0,44	1,94 [#]
Geruchswahrnehmung (-1, 1)	0,06	-0,22 [#]
Annehmbarkeit der Luft (-1, 1)	0,58	-0,03 [#]
Annehmbar (Prozent)	92	33 [#]

Die Zahlen in Klammern entsprechen den Höchst- und Mindestwerten der Bewertungsskala (Tabelle 1). * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ und [#] $p < 0,001$ aufgrund eines paarweisen t -tests. Die Werte für p bei höheren Strömungsraten (nicht dargestellt) liegen noch niedriger.

Abbildung 5 zeigt die Unterschiede zwischen den elektromyographisch erfassten Schockamplituden während der vier ETS-Phasen und des jeweils unmittelbar vorausgehenden Null-Zustands. Alle EMG-Signale waren normiert nach der Schockamplitude der ersten Nullphase. Log-pPAH-Konzentrationen korrelierten nahezu signifikant mit den EMG-Amplituden (negativ r), wenn die Rangordnungen ($p = 0,058$) unberücksichtigt blieben. Obgleich mit zunehmenden sETS-Konzentrationen ein negativer Trend zu beobachten war, bestand ein signifikanter Unterschied lediglich zwischen der Phase höchster sETS-Konzentration und dem ihr vorausgehenden Null-Zustand (paarweiser t -Test, $p < 0,05$).

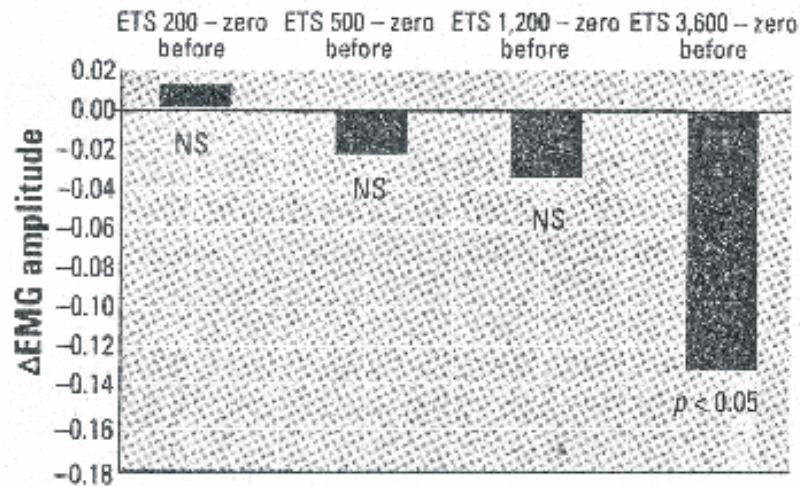


Abbildung 5: Unterschiede zwischen Schock-EMG-Amplituden, gemessen in den ETS-Zuständen (200 ml/min, 500 ml/min, 1.200 ml/min und 3.600 ml/min) und der jeweils unmittelbar vorausgegangenen Nullphase bei 22 Probanden. Die Werte von 22 der 24 Personen wurden ausgewertet. Zwei Datensätze wurden verworfen, da sie aus unvollständigen Schockreaktionen bestanden (möglicherweise bedingt durch falsche Anbringung der Elektroden an der Versuchsperson). Die Daten wurden normiert durch EMG-Amplituden, die während der ersten Nullphase für jede Person gemessen wurden. NS, nicht signifikante Differenz; signifikante Differenz bestimmt durch einen paarweisen t-Test ($p < 0,05$).

IAQ-Annehmbarkeit und Lüftungsbedarf. Da die Geruchswahrnehmung von sETS das wichtigste Kriterium für die Annehmbarkeit der Raumluftqualität sein kann, erhebt sich die Frage, wie viel Frischluft erforderlich ist, um die sETS-Emissionen einer Zigarette auf Konzentrationen zu verdünnen, bei denen kein Geruch wahrnehmbar ist. Wir dividierten die in Tabelle 2 dargestellten sETS-Emissionen pro Zigarette durch mittlere Geruchsschwellen-Konzentrationen (Abb. 3 – die Nase verblieb im Stutzen). Damit erhielten wir Verdünnungsmengen pro sETS-Indikator. Dann berechneten wir die durchschnittlichen Verdünnungsmengen auf Basis der Mengen, die sich aus Partikelzahl, pPAH- und tVOC-Konzentrationen ergaben. Zum Ausgleich von Koagulation und Adsorption multiplizierten wir die Partikelzahlen mit 5,7 (siehe „Versuch Zigarettenemission“). Wir gingen von der Annahme aus, dass sich die Masse der sETS-Emissionen pro Zigarette innerhalb einer Kammer gleichmäßig verteilt und dass kein Abzug stattfinden kann. Hierdurch ergab sich eine durchschnittliche Frischluftmenge von $>19.000 \text{ m}^3$ pro Zigarette zur Verdünnung auf sETS-Konzentrationen, bei denen kein Geruch wahrnehmbar ist. Mit derselben Methode beobachteten wir Augen- und Nasenreizungen bei Verdünnungsmengen, die 3.000 m^3 pro Zigarette entsprachen (Phase geringster sETS-Konzentration). Bei diesen sETS-Konzentrationen hielten 67 % der Versuchspersonen die Luft für nicht akzeptabel.

Atemverhalten und Lidschlagzählung. Die Parameter für das Atemverhalten (Inhalationsmenge und -strömungsgeschwindigkeit), die als Marker für olfaktorische oder trigeminale Aktivierung (34,35) verwendet werden, zeigten während der ETS-Einwirkung keine signifikante Abnahme. Es bestand eine positive, jedoch nicht signifikante Korrelation zwischen Lidschlagzahl und logarithmisch transformierten ETS-Partikelkonzentrationen.

Diskussion der Versuche

Zigarettenemissionen:

Im Vergleich zu anderen Untersuchungen waren die beobachteten Emissionen von Partikelmengen in der vorliegenden Studie ungefähr halb so hoch, wie in der Literatur angegeben (8,10). Dieses Ergebnis ist zum Teil darauf zurückzuführen, dass in unserer Studie nicht RSP (aerodynamischer Durchmesser von $3,5 \mu\text{m}$), sondern $\text{PM}_{2,25}$ gemessen wurde. Außerdem wurden die Zigaretten nicht aktiv geraucht, sondern sie glommen passiv. Das Fehlen ausgeatmeten Hauptstromrauchs kann den Partikelanteil im ETS um 15 bis 43 % reduzieren (36). Was CO betrifft, so liegen die Konzentrationen ca. 50 % über denen, die von Martin und Kollegen (9) beobachtet wurden, während tVOC_{FID} -Konzentrationen

annähernd viermal höher liegen, als von denselben Autoren berichtet, was möglicherweise auf die längere Glimmzeit und das passive Erlöschen der Zigaretten in unserem Versuch zurückzuführen ist. Der größere relative Anteil an tVOC, gemessen in Propanäquivalenten, kann von organischen Verbindungen herrühren, die von dem glimmenden Filtermaterial emittiert wurden.

Geruchstest:

Wir gehen von der Hypothese aus, dass die beobachtete erhöhte Empfindsamkeit für die Geruchsschwelle, wenn die Versuchspersonen die Nase in den Olfaktometer-Stutzen beließen, gegenüber dem Einführen der Nase nur nach Impulsgabe, auf eine höhere Aufmerksamkeit der Probanden zurückzuführen ist. Im Vergleich zu einer Streuung der Geruchsschwellenwerte um mehrere Zehnerpotenzen für einzelne chemische Substanzen in der Literatur (37) sind die beobachteten Ungleichheiten der sETS-Geruchsschwellen mit einem Maximalwert von 300 gering.

Die in den olfaktorischen Versuchen gefundenen Geruchsschwellen für sETS zeigten, dass eine mittlere Geruchsempfindung bei sehr geringen Konzentrationen, entsprechend einer ETS-PM_{2,25}-Konzentration von ca. 0,6-1,4 µg/m³, wahrgenommen wurde. Da die olfaktorischen Impulse in ansteigender Folge gegeben wurden, können die in der vorliegenden Versuchsanordnung erhaltenen Geruchsschwellenwerte als die niedrigsten erreichbaren Werte angesehen werden. Die absoluten Werte dieser Schwellen betreffend Partikelzahlen, tVOC- und pPAH-Konzentrationen weisen darauf hin, dass sich unter Praxisbedingungen eine Geruchsempfindung im Rauschbereich der Grundkonzentrationen bewegen würde. Typische langfristige Durchschnittskonzentrationen in Innenräumen mit Rauchaufkommen (10,11) werden in der Literatur zwei Zehnerpotenzen über diesen Schwellenwerten angegeben. Verglichen mit Kurzzeit-Konzentrationen jedoch liegen die ermittelten Geruchsschwellen-Konzentrationen bis zu drei oder mehr Zehnerpotenzen niedriger, als in der Literatur für das praktische Umfeld angegeben (10,15,38). Der Grund für die im vorliegenden Versuch gefundenen niedrigen Schwellenwerte liegt höchstwahrscheinlich darin, dass unsere Standard-Frischlufte durch ein hochfeines Partikelfilter und ein Aktivkohlefilter gereinigt wurde (s. Abb. 1).

Was die VOCs betrifft, die eine Geruchsempfindung bei Konzentrationen im Bereich der ermittelten Geruchsschwellenwerte hervorrufen können, so lässt sich nach Veröffentlichungen über die Geruchsschwellen einzelner chemischer Substanzen annehmen, dass nicht viele Verbindungen in der Lage wären, diese Schwellen zu erzeugen (39,42). Von diesen könnte nur Pyridin möglicherweise eine Geruchsempfindung erzeugen, vorausgesetzt, die minimalen in der Literatur angegebenen Geruchsschwellenwerte werden als Kriterium genommen. Dies führt zu dem Schluss, dass andere, vielleicht nicht nachgewiesene Verbindungen mit einer Geruchsschwelle im Nanogramm- oder gar Picogrammbereich pro Kubikmeter für die beobachteten Geruchsempfindungen verantwortlich sein könnten. Außerdem können vielleicht Partikel eine Geruchsempfindung fördern. Cain und Kollegen (8) beobachteten eine leichte Abnahme der Geruchsintensität, wenn ETS-Partikel elektrostatisch ausgefällt wurden.

Ganzkörper-Einwirkung:

Umgebungsverhältnisse. Ausgehend von dem Zigaretten-Emissionsversuch, entspricht die Versuchsphase höchster Konzentration, der die Versuchspersonen ausgesetzt waren, einer einzigen in einem etwa 100 m³ großen Raum gerauchten Zigarette. Die Partikelzahlkonzentrationen betragen durchschnittlich $1,7 \times 10^4/\text{cm}^3$, die pPAH-Konzentrationen im Durchschnitt 218 ng/m³. Zwar werden diese Indikatoren nicht typisch in ETS-Belastungsversuchen ermittelt, die Werte entsprechen jedoch den Messergebnissen im praktischen Umfeld. Ein von Morawska et al. durchgeführter Versuch (39) ergab Partikelzahlmessungen von 5×10^4 in einem Rock-Konzert. Junker et al. (40) fanden pPAH-Konzentrationen von 336-990 ng/m³ in Sport- und Erholungszentren. Die geringste Versuchsphasen-Konzentration entspricht dem Rauch einer einzigen Zigarette in einem ca. 3.000 m³ großen Raum, gleichmäßige Verteilung der Emission vorausgesetzt. Die gemessenen durchschnittlichen Partikelzahl- und pPAH-Konzentrationen betragen 468/m³ bzw. 9,3 ng/m³.

Wie bereits ausgeführt, liegen wegen des Fehlens von Hauptstrom-ETS im vorliegenden Versuch die Partikelkonzentrationen, die auf die Versuchspersonen einwirkten, niedriger als im praktischen Umfeld (36). Die gasförmigen Bestandteile ausgeatmeten Hauptstromrauchs machen jedoch nur einen geringen

Anteil an ETS aus (36), daher können die Diskrepanzen im praktischen Umfeld als gering angenommen werden.

Gegenüber den Gegebenheiten in der Praxis sind aufgrund der beobachteten Koagulation und des Schwundes an Partikeln die geometrischen mittleren Durchmesser des sETS-Aerosols zu hoch. Berichten zufolge erhöhen sich die geometrischen mittleren Durchmesser in ETS 10 min nach dem Entstehen durch eine rauchende Person um 20-50% (39). Im vorliegenden Versuch verdoppelte sich der mittlere geometrische Durchmesser von Aerosol, wahrscheinlich aufgrund der Tatsache, dass die anfängliche Partikelzahlkonzentration innerhalb des Handschuhkastens höher ist, als in der Praxis gemessen würde. Außerdem waren die Interaktionen kleiner sETS-Partikel mit anderen Oberflächen wahrscheinlich stärker als im typischen praktischen Umfeld.

Cain et al. (8) berichten, dass Nebenstromrauch aus verschiedenen Zigarettentypen zu Unterschieden in den Konzentrationen von ETS-Komponenten führen können. Nelson et al. (43) beobachteten jedoch, dass ETS aus einer Mischung meistgerauchter Zigarettenmarken keine signifikanten Unterschiede zwischen einzelnen Ländern zeigt. Die im vorliegenden Versuch eingesetzten Zigarettenmarken wurden nach der Verkaufstatistik der Vereinigung der Schweizerischen Zigarettenindustrie ausgewählt (21) und stehen daher für den gleichen ETS, wie er in anderen Ländern erzeugt wird.

Sensorische Symptome, Schockreflexmessungen und Lidschlagtakt. Aus der Tatsache, dass signifikante wahrgenommene sensorische Symptome bei der geringsten in der vorliegenden Studie getesteten sETS-Einwirkung beobachtet wurden, schließen wir, dass die Schwellen wahrzunehmender sensorischer Symptome noch niedriger liegen. Konzentrationen, die gemäß Beobachtungen Irritationen an Augen, Nase und Hals-Rachen fördern, entsprechen einer ermittelten ETS-PM_{2,25}-Konzentration von ca. 4,4 µg/m³, was einem Verdünnungsvolumen von ca. 3.000 m³ je Zigarette entspricht. Vor dieser Studie wurde über gleiche Ergebnisse bei einer ETS-RSP-Konzentration von 58 µg/m³ berichtet (7), wobei jedoch signifikante Irritationen im Nasenbereich nicht beobachtet wurden.

Die Wirkung von Gerüchen auf den Schockreflex wurde nur in einigen Studien untersucht. Ehrlichman et al. (44) und Miltner et al. (30) untersuchten akustische Schockreflexmodulationen während kurzzeitiger Einwirkung angenehmer und unangenehmer Gerüche. Unangenehme Gerüche erhöhten die Schockamplitude, während bei angenehmen Gerüchen keine Wirkung eintrat. Spätere Arbeiten (45) boten Nachweise an, wonach ein verringerter Schockreflex nach angenehmen Gerüchen auftrat. Diese Ergebnisse stimmen überein mit der Folgerung von Lang et al. (29), dass die Amplitude des Schockreflexes durch die emotionale Valenz des Vordergrundimpulses verändert wird. Wir dagegen fanden eine dosisabhängige Abnahme der Schockreflexamplitude mit Zunahme der ETS-Konzentrationen. Die Unterschiede zwischen früheren Ergebnissen und denen der vorliegenden Studie liegen in der Dauer des gegebenen Impulses und in der Bestimmungsmethode. Ehrlichman und Miltner gaben den Vordergrund-Geruchsimpuls nur sehr kurz (einmaliges Einatmen), so wie Lang Schieber verwendete, die in der Valenz hoch oder niedrig eingestuft waren. Die Schockamplitude wurde nur zwischen den verschiedenen Versuchen bestimmt. Wir untersuchten die Unterschiede der Schockamplitude zwischen, vor und während der ETS-Stimulation, einzeln nach den ETS-Konzentrationen. Schicatano und Blumenthal (33) zeigten, dass Ablenkung durch Beschäftigung mit einer visuellen Suchaufgabe die Amplitude der akustischen Schockreaktion verringerte. Wir verstehen daher unsere Feststellung dosisabhängiger Verringerung der Schockreflexamplitude so, dass die Aufmerksamkeit auf die steigende ETS-Konzentration gerichtet war.

Über eine deutliche Erhöhung der Lidschlagfrequenz wird in der Literatur bei Konzentrationen >1,3 ppm CO (46) berichtet, die sich den Beobachtungen nach mit der Zeit noch erhöhte (5,7). In der vorliegenden Untersuchung war weder die Konzentration noch die Dauer der Versuchsphasen ausreichend, um den Lidschlag signifikant zu beschleunigen.

Annehmbarkeit der IAQ und Lüftungsbedarf. Cain et al. (8) stellten fest, dass der Grad der von ETS ausgehenden Unzufriedenheit – im genauen Verhältnis zur Stärke der Irritations- oder Geruchsempfindung – vom am stärksten betroffenen Wahrnehmungsweg (Auge, Nase, Hals-Rachen, Geruch) abhängt. Wir stellten fest, dass die Erkennung des irritierenden sETS-Geruchs allein genügte, Unzufriedenheit zu verursachen. Die Unzufriedenheit wurde jedoch nicht durch die Stärke der

empfundene Irritation gefördert, hauptsächlich weil die sETS-Konzentrationen, denen unsere Probanden ausgesetzt waren, weit unter denen in der Studie von Cain und Kollegen lagen.

Um eine annehmbare Raumluftqualität zu erreichen, müssten die sETS-Emissionen einer einzigen Zigarette mit einer Frischluftmenge von etwa 19.000 m³ verdünnt werden. Diese Menge liegt wenigstens zwei Zehnerpotenzen höher, als von Cain et al. (4) für eine ermittelte Annehmbarkeit von 75-80% und 80% Annehmbarkeit von Walker und Kollegen (7) in einem Ganzkörpereinwirkversuch vorgeschlagen. Hier zeigen sich beträchtliche Diskrepanzen. Wie schon erwähnt, liegt der Hauptgrund höchstwahrscheinlich in der extrem reinen Frischluft, die in unserem Versuch eingesetzt wurde. Ein weiterer Punkt könnte sein, dass in unserer Studie ein Ganzkörpereinwirkversuch durchgeführt worden ist, während bei den Untersuchungen von Cain et al. (4) die Versuchspersonen die Luft in einer Riechstation aufnahmen. Wenn auch diese Probanden während der gesamten Versuchsdauer nicht rauchten, fanden sich keine jedoch Angaben über ihre Rauchgewohnheiten. Die Diskrepanzen zu der Studie von Walker et al. (4) könnten an der Art der Befragung der Versuchspersonen über die Annehmbarkeit liegen. Walker et al. arbeiteten mit den Alternativen „ja“ und „nein“ als Antwort, um die generelle Annehmbarkeit zu ermitteln, wohingegen in unserer Studie eine Bewertungsstaffelung von „eindeutig annehmbar“ bis „gerade noch annehmbar“ und „schon nicht mehr annehmbar“ bis „eindeutig unannehmbar“ abgefragt wurde. Sowohl Cain et al. (4) als auch Walker et al. (7) rechneten in ihren Studien die erforderliche Frischluftmenge (oder die ETS-Konzentrationen) hoch auf ein Maß, bei dem 80% der Versuchspersonen die Luftqualität als annehmbar befanden. Geringe Veränderungen in der Neigung der logarithmisch skalierten Kurven Dosis/Reaktion (ETS gegenüber Annehmbarkeit) hat jedoch großen Einfluss auf die 80%-ige Einschätzung der Annehmbarkeitsschwelle. Die erhaltenen Einschätzungen sind daher mit großer Vorsicht zu interpretieren.

In bisher durchgeführten Einwirkversuchen im kontrollierten Laboraufbau wurden geringe sETS-Konzentrationen, die auf die wahrgenommenen sensorischen Symptome schädigend einwirken, nicht angemessen betrachtet. Außerdem haben diese Studien mit ETS-Konzentrationen gearbeitet, die deutlich über den Konzentrationen der Schwellen für annehmbare Raumluftqualität lagen. Sollen realistische Schwellenkonzentrationen nicht nur für die Wahrnehmung sensorischer Symptome, sondern auch für eine annehmbare Raumluftqualität ermittelt werden, so sind weit niedrigere Belastungskonzentrationen zu untersuchen. In der vorliegenden Studie beobachteten wir wahrgenommene sensorische Wirkungen und eine Verschlechterung der Raumluftqualität bei wesentlich geringeren sETS-Konzentrationen, als aus der Literatur bekannt. Wie Repace und Lowry (48) aus der Untersuchung über das Krebsrisiko in Verbindung mit ETS-Belastung schlossen, wäre eine Erhöhung auf die erforderlichen Lüftungsraten zur Erhaltung der Raumluftqualität in Raucherbereichen in der Praxis unmöglich und wirtschaftlich illusorisch. Wir kommen zu dem Schluss, dass für einen wirksamen Schutz von Nichtrauchern vor negativen sensorischen Symptomen und zur Erhaltung einer annehmbaren Raumluftqualität eine Trennung von Raucher- und Nichtraucherbereichen oder Rauchverbote in öffentlichen Gebäuden eingeführt werden müssen.

Schriftverkehr bitten wir an B. Danuser, Institut für Hygiene und Angewandte Physiologie am Bundesinstitut für Technologie, Clausiusstr. 25, CH-8092 Zürich, Schweiz, zu richten. Telefon: 0041 1 632 39 86. Fax: 0041 1 632 13 18. E-mail: brigitta.danuser@iha.bepr.ethz.ch.

Wir danken H.C. Siegmann und seinem Team vom Labor für Festkörperphysik für die ausgezeichnete Zusammenarbeit. Unsere hohe Anerkennung gilt hier P. Cohn für seine unschätzbare technische Unterstützung. Wir danken M. Hangartner für den Einsatz des Olfaktometers, S.I. Chol für die technische Hilfe, S. Junker für Laborunterstützung und R. Knutti und N. Achermann für die Analyse der VOCs. Ebenfalls danken wir T. Blumenthal und R. Waeber für ihr rausgezeichnetes Input.
Eingang 30. Mai 2000; Annahme 21. März 2001

Literatur und Anmerkungen

1. Jorres R, Magnussen H. Influence of short-term passive smoking on symptoms, lung mechanics and airway responsiveness in asthmatic subjects and healthy controls. *Eur Respir J* 5: 936-944 (1992).
2. Danuser B, Weber A, Hartmann AL, Krueger H. Effects of a broncho-provocation challenge test with cigarette sidestream smoke on sensitive and healthy adults. *Chest* 103(2): 353-358 (1993).
3. Nowak D, Jorres R, Schmidt A, Magnussen H. Effect of 3 hours passive smoke exposure in the evening on airway tone and responsiveness until next morning. *Int Arch Occup Environ Health* 69(2): 125-133 (1997).
4. Cain WS, Leaderer BP, Isseroff R, Berglund LG, Huey RJ, Lipsitt ED, Perlman D. Ventilation requirements in buildings. I. Control of occupancy odor and tobacco smoke odor. *Atmos Environ* 17: 1183-1197 (1983).
5. Weber A. Irritating and annoying effects of passive smoking. *Tokai J Exp Clin Med* 10 (suppl 4): 341-345 (1985).
6. Cain WS, Leaderer BP. Ventilation requirements in occupied spaces during smoking and nonsmoking occupancy. *Environ Int* 8: 505-514 (1982).
7. Walker JC, Nelson PR, Cain WS, Utell MJ, Joyce MB, Morgan WT, Steichen TJ, Pritchard WS, Stancill MW. Perceptuell and psychophysiological responses of nonsmokers to a range of environmental tobacco smoke concentrations. *Indoor Air* 7: 173-188 (1997).
8. Cain WS, Tosun T, See LC, Leaderer B. Environmental tobacco smoke: sensory reactions of occupants. *Atmos Environ* 21(2): 347-353 (1987).
9. Martin P, Heavner DL, Nelson PR, Maiolo KC, Risner CH, Simmons PS, Morgan WT, Ogden MW. Environmental tobacco smoke (ETS): a market cigarette study. *Environ Int* 23: 75-90 (1997)
10. Guerin MR, Jenkins RA, Tomkins BA. *The Chemistry of Environmental Tobacco Smoke: Composition and Measurement*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 1992.
11. Jenkins RA, Palausky MA, Counts RW, Guerin MR, Dindal AG, Bayne CK. Determination of personal exposure of non-smokers to environmental tobacco smoke in the United States. *Lung Cancer* 15 (suppl 1): 195-213 (1996).
12. Phillips K, Howard DA, Bentley MC, Alván G. Assessment of environmental tobacco smoke and respirable suspended particle exposures for nonsmokers in Basel by personal monitoring. *Atmos Environ* 33: 1889-1904 (1999).
13. Oglesby L, Künzli N, Roosli M, Braun-Fahrlander C, Mathys P, Stern W, Kousa A. Validity of ambient levels of fine particles as surrogate for personal exposure to outdoor air pollution. Results of the European EXPOLIS EAS Study (Swiss Center Basel). *J Air Waste Manag Assoc* 50 (7): 1251-1261 (2000).
14. Jenkins RA, Counts RW. Occupational exposure to environmental tobacco smoke: results of two personal exposure studies. *Environ Health Perspect* 107 (suppl 2): 341-348 (1999).
15. Junker MH, Koller, T, Monn Ch. An assessment of indoor air contaminants in buildings with recreational activity. *Sci Total Environ* 246: 139-152 (2000).
16. Federal Office for Statistics. Erste Resultate der Schweizerischen Gesundheitsbefragung 1997. Steigende Tendenz für gesundheitliche Risiken bei Jugendlichen. No 14 Gesundheit. Press Communication from 9:15, 27.11.1998.
17. Fanger PO. Discomfort caused by odorants and irritants in the air. *Indoor Air Suppl* 4: 81-86 (1998).
18. Raynal A, Burge PS, Robertson A, Jarvis M, Archibald M, Hawkin D. How much does environmental tobacco smoke contribute to the Building Symptom Index. *Indoor Air* 5: 22-28 (1995).
19. Cummings KM, Zaki A, Markello S. Variation in sensitivity to environmental tobacco smoke among adult non-smokers. *Int J Epidemiol* 20 (1): 121-125 (1991).
20. WHO. *Air Quality Guidelines for Europe*. WHO Regional Publications, European Series no. 23. Copenhagen: World Health Organization, 1987.

21. Community of the Swiss Cigarette Industry (CISC). *Der Tabak in der Schweiz*, Fribourg, Sitzerland, 1999.
22. Berglund B, Bluysen P, Clausen G, Garriaga-Trillo A, Gunnarsen L, Knöppel H, Lindvall T, MacLeod P, Molhave L, Winneke G. Sensory evaluation of indoor air quality. In: *European Collaborative Action: Indoor Air Quality and its Impact on Man*. European Commission Report No. 20 Environment and the Quality of Life. Brussels: Office for Official Publications of the European Communities, 1999; 24-25.
23. Huber G, Hangartner M, Gierer R. Sensory odor measurement. *Sozial- und Präventivmedizin* 26: 179-182 (1981).
24. Burtscher H, Siegmann HC. Monitoring PAH-emissions from combustion processes by photoelectric charging. *Combust Sci Technol* 101: 327-332 (1994).
25. Niessner R, Walendzik G. The photoelectric aerosol sensor as a fast-responding and sensitive detection system for cigarette smoke analysis. *Fresenius Z Anal Chem* 333: 129-133 (1989).
26. Hinds WC. *Aerosol Technology, Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles*. New York: John Wiley & Sons, 1982: 235-237, 407.
27. Molhave L. Volatile organic compounds, indoor air quality and health: In: *Indoor Air '90: Proceedings of the Fifth International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 29 July -3 August 1990, Toronto, Canada*. Ottawa: International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 1990.
28. Weber EH. Der Tastsinn und das Gemeinühl: In: *Handwörterbuch der Physiologie, Vol 3* (Wagner R, ed). Braunschweig, Germany: Vieweg, (1846).
29. Lang PJ, Bradley MM, Cuthbert BN. Emotion, attention, and startle reflex. *Psychol Rev* 97 (3): 377-395 (1990).
30. Miltner W, Matjak M, Braun C, Diekmann H, Brody S. Emotional qualities of odors and their influence on the startle reflex in humans. *Psychophysiology* 31: 107-110 (1994).
31. Putnam LE. Great expectations: anticipatory responses of the heart and brain. In: *Event-Related Potentials* (Rohrbaugh JW, Parasuramam R, Johnsons R, eds). Oxford, UK: Oxford University Press, 1990: 109-129.
32. Anthony BJ, Graham FK. Blink reflex modification by selective attention: evidence for the modulation of automatic processing. *Biol Psychol* 21: 43-59 (1985).
33. Schicatano EJ, Blumenthal TD. The effects of caffeine and directed attention on acoustic startle habituation. *Pharmacol Biochem Behav* 59 (1): 145-150 (1998).
34. Warren DW, Odont D, Walker JC, Drake AF, Lutz RW. Effects of odorants and irritants on respiratory behavior. *Laryngoscope* 104 (5): 623-626 (1994).
35. Kendal-Reed M, Walker JC. Human responses to odors and nasal irritants: issues of precision and biological bases. *Indoor Air* 2: 588-593 (1999).
36. Baker RR, Procter CJ. The origins and properties of environmental tobacco smoke. *Environ Int* 16: 231-245 (1990).
37. Stevens JC, Cain WS, Burke RJ. Variability of olfactory thresholds. *Chem Senses* 13 (4): 643-653 (1998).
38. Junker MH, Monn C. Environmental tobacco smoke infiltration into a designated nonsmoker compartment. *Sci Total Environ* (in press).
39. Morawska L, Jamriska M, Bofinger ND. Size characteristics and aging of the environmental tobacco smoke. *Sci Total Environ* 196: 43-55 (1997).
40. Junker MH, Koller T, Monn Ch. An assessment of indoor air contaminants in buildings with recreational activity. *Sci Total Environ* 246: 139-152 (2000).
41. Maurer PG. Systemstudie zur Erfassung und Verminderung von belästigenden Geruchsemissionen. Forschungsbericht T79-1143. Hanau, Germany: Deutsches Bundesministerium für Forschung und Technologie, 1979.

42. American Industrial Hygiene Association. Odor Thresholds for Chemicals with Established Occupational Health Standards. Fairfax, VA: American Industrial Hygiene Association, 1989.
43. Nelson PR, Conrad FW, Kelly SP, Maiolo KC. Composition of environmental tobacco smoke (ETS) from international cigarettes and determination of ETS-RSP: particulate marker ratios. *Environ Int* 23 (1): 47-52 (1997).
44. Ehrlichmann H, Brown S, Zhu J, Warrenburf S. Startle reflex modulation during exposure to pleasant and unpleasant odors. *Psychophysiology* 32: 1509-1514 (1995).
45. Ehrlichmann H, Brown S, Zhu J, Warrenburf S. Startle reflex modulation by pleasant and unpleasant odors in between-subjects design. *Psychophysiology* 34: 726-729 (1997).
46. Muramatsu T, Weber A, Muramatsu A, Akerman F. An Experimental Study of Irritation and Annoyance due to Passive Smoking. *Int Arch Occup Environ Health* 51: 305-317 (1983).
47. Winneke G. Structure and determinants of psychophysiological response to odorant/irritant air pollution. *Ann NY Acad Sci* 641: 261-276 (1992).
38. Repace JL, Lowry AH. Indoor air pollution, tobacco smoke, and public health. *Science* 208: 464-472 (1980).

Anhang der Übersetzung: Abkürzungen

ED _n	Effective dose that makes n % of the exposed population respond = effektive Dosis, bei der 50 % der ihr ausgesetzten Personen reagieren
EMG	Electromyograph
ETS	Environmental tobacco smoke = Tabakrauch in Innenräumen
IAQ	Indoor air quality = Raumluftqualität
OT	Odor detection threshold = Geruchswahrnehmungsschwelle
P	Particle = Partikel
PM	Particulate matter = Partikelsubstanz
pPAH	Particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons = partikelgebundene polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
RSP	Respirable suspended particles = Schwebepartikel in der Atemluft
SD	Standard deviation = Standardabweichung
sETS	Sidestream ETS = Nebenstromtabakrauch in Innenräumen
TVOC	Total volatile organic compounds = Gesamtmenge flüchtiger organischer Verbindungen