

Das Expositionslabor des IPA – Teil 4

Messung und Bewertung akuter Effekte mit Hilfe psychologischer Parameter, psychophysiologischer Methoden und neuropsychologischer Tests

Kirsten Sucker, Jürgen Bünger, Christian Monsé, Frank Hoffmeyer, Christoph Broding, Birger Jettkant, Hans Berresheim, Rolf Merget, Thomas Brüning

Die ersten Teile dieser Artikelserie beschrieben das Expositionslabor mit seiner modernen Überwachungs- und Messtechnik (IPA-Journal 03/12), die breite Palette des Effektmonitorings auf physiologischer Ebene (IPA-Journal 03/13) sowie die Expositionsgenerierung von Nanopartikelatmosphären (01/2014). Dieser Beitrag befasst sich nun mit den psychometrischen, psychophysiologischen und neuropsychologischen Methoden der Effektmessung, die insbesondere im Rahmen der Reizstoff-Forschung zur Anwendung kommen. Neben den klassischen Reizsymptomen wird untersucht, ob und inwieweit Irritationen und Geruchsbelästigungen Einfluss auf die Arbeitsleistung nehmen oder sogar ein erhöhtes Unfallrisiko zur Folge haben.

Lokale Reizstoffe entfalten ihre Wirkungen überwiegend an Strukturen der oberen Atemwege (Mund-, Nasen- und Rachenraum) sowie an den Augen. Die chemisch-irritative Wirkung von Reizstoffen ist nicht beschränkt auf physiologische Veränderungen im Gewebe der beschriebenen Zielorgane (Gewebeirritation), sondern beinhaltet auch die Reaktion einer Vielzahl sensorischer Nerven. Zum einen wird die Wahrnehmung eines chemischen Arbeitsstoffes durch den Geruchssinn (Nervus olfaktorius) vermittelt, mit dem der Mensch bereits sehr niedrige Konzentrationen wahrnehmen kann. Zum anderen werden somatosensorische Nerven (z.B. Nervus trigeminus) stimuliert, die Empfindungen wie Brennen oder Stechen auslösen. Diese Empfindungen werden auch als sensorische Irritation bezeichnet und gelten als adverse Wirkung. Geruchseffekte, auch wenn sie unangenehm und „belästigend“ sind, zählen bislang nicht zu den adversen Wirkungen, solange die Geruchsbelästigung nicht unangemessen (z.B. ekelerregend) ist.

Aus Studien zur Wirkung von Geruchs- und Reizstoffen ist bekannt, dass Allergiker, Asthmatiker, ältere Personen, Frauen oder Personen mit einer sensorischen Hyperreaktivität der Atemwege (Sensory Airway Hyperreactivity, SHR) stärkere Reaktionen auf Reizstoffe zeigen. Um diese Aspekte gezielt zu untersuchen, können zur Probandendifferenzierung im Rahmen von Voruntersuchungen Empfindlichkeitsmerkmale mittels Fragebögen und Capsaicin-Test erfasst werden, sowie die Riechfähigkeit oder die geistige und körperliche Leistungsfähigkeit.

Methoden zur Untersuchung von Reizstoffeffekten

Zur Untersuchung von Reizstoffeffekten wird die im Verbundprojekt mit dem Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund (IfADo) von PD Dr. Christoph van Thriel entwickelte mehrstufige Untersuchungsmethodik eingesetzt. Hierbei wird zunächst der chemosensorische Wirkungsbereich eines Arbeitsstoffes bestimmt,

indem die individuellen Geruchs- und Irritationsschwellen mittels Olfaktometer zur Darbietung der Stoffproben bestimmt werden.

Die im Verbundprojekt untersuchten fünfzehn Stoffe aus einer Prioritätenliste von fünf Stoffklassen hat beispielsweise für die organischen Säuren Ameisensäure, Essigsäure oder Propionsäure gezeigt, dass der chemosensorische Wirkungsbereich recht eng ist. Das bedeutet, dass die Geruchs- und die Irritationsschwelle nah beieinander liegen und Geruchswirkungen schnell in Reizempfindungen übergehen. Bei anderen Stoffen wie Trimethylamin, Ethylacrylat oder Ammoniak war der chemosensorische Wirkungsbereich recht breit, so dass erhebliche Konzentrationssteigerungen erforderlich sind, damit zusätzlich zum Geruch auch eine Reizwirkung spürbar wird.

Zur Erfassung von Geruchsschwellen wird die zu riechende Stoffprobe mit geruchsloser Luft verdünnt und in aufsteigender Konzentration zur Beurteilung dargeboten. Beim ersten erkennbaren Geruchseindruck wird eine Antworttaste („Ja, es riecht“) gedrückt, die Geruchsschwellenkonzentration ist erreicht.

Irritationsschwellen werden mittels Lateralisierungstest bestimmt. Die Irritationsschwelle basiert auf einer eindeutigen Stimulation von Schmerzrezeptoren in der Nase. Diese Reizwahrnehmung kann im Gegensatz zur Geruchswahrnehmung ab einer bestimmten Konzentration einem Nasenloch zugeordnet, das heißt lateralisiert werden. Dazu wird wiederholt in ein Nasenloch die Stoffprobe gegeben und in das andere Nasenloch geruchslose Luft. Die Irritationsschwelle entspricht derjenigen Konzentration, ab der die Stoffprobe dem linken beziehungsweise rechten Nasenloch richtig zugeordnet wird.

In einem weiteren Schritt werden die funktionalen Zusammenhänge zwischen Stoffkonzentration und subjektivem Empfinden im Hinblick auf die Geruchsbelästigung und die Reizwirkung geprüft. In der Regel ist dieser Zusammenhang nicht linear sondern logarithmisch, das heißt für die Halbierung der Empfindungsintensität von Stufe 4 „stark“ auf Stufe 2 „schwach“ ist eine Verminderung der Konzentration um mehr als 50 Prozent nötig. Diesen Zusammenhang beschreibt der Weber-Fechner-Koeffizient k_W , der für bisher untersuchte Stoffe zwischen 1,9 und 3,5 (VDI 3882, Blatt 1 liegt und bei jedem Stoff anders ausfallen kann (Abbildung 1).

Anschließend wird eine in der Regel vierstündige Untersuchung zur Arbeitsschichtsimulation im ExpoLab des IPA durchgeführt. Dabei wird ein Set aus subjektiven, objektiven und physiologischen Methoden eingesetzt, um gesundheitsrelevante Effekte im Hinblick auf die Geruchsbelästigung und Schleimhautreizungen an den Augen und in den oberen Atemwegen zu identifizieren.

Psychometrische Methoden

Mittels standardisierter psychologischer Fragebögen erfolgt die computergestützte Erhebung subjektiver Effektparameter. Diese dienen zum Beispiel zur Bewertung einer adversen Reizwirkung oder auch einer eventuellen nicht tolerierten Geruchsbelästigung. Hierbei werden zum einen die Intensität olfaktorischer (ekelerregend,

Lästigkeit) und trigeminaler (Brennen, Stechen) Empfindungen und zum anderen das Auftreten akuter Symptome (tränennde Augen, laufende Nase) quantifiziert. Gemessen wird jede halbe Stunde, also neunmal während einer vierstündigen Untersuchung, so dass wichtige Effekte wie „Gewöhnung“ oder „Sensibilisierung“ erfasst werden. So lässt beispielsweise abhängig von Konzentrationshöhe und Substanzart die Geruchswirkung nach einiger Zeit oft nach, so dass ein Geruch manchmal schon nach ca. 10 Minuten kaum mehr wahrgenommen wird. Die sensorisch-irritative Wirkung (Augenbrennen) kann dagegen mit der Zeit zunehmen, so dass erst zum Expositionsende deutliche Effekte erkennbar sind.

Psychophysiologische Methoden

Die mit den Fragebögen erhobenen subjektiven Angaben werden mit objektiven psychophysiologischen Methoden validiert, denn manchmal werden selbst in der Kontrollexposition mit normaler Raumluft Nase- und Augenreizungen angegeben. Daher werden Biosignale wie die Lidschlussfrequenz, Herzfrequenz, Atemtiefe und -frequenz, und weitere physiologische Messwerte telemetrisch aufgezeichnet und mittels computergestützter, automatisierter Verfahren ausgewertet. Steigt beispielsweise die Blinzelfrequenz während der vierstündigen Messung deutlich an, kann von einer adversen Augenreizung ausgegangen werden.

Zur Simulation einer arbeitsrelevanten körperlichen Belastung stehen Fahrradergometer zur Verfügung, die angepasst an das individuelle Leistungsniveau der Probanden betrieben werden können.

Neuropsychologische Tests

Arbeitsstoffe mit einem besonders unangenehmen Geruch geraten immer wieder in den Verdacht, nicht nur die Gesundheit sondern auch die Arbeitsleistung zu beeinträchtigen, indem starken Gerüche von der Arbeitsaufgabe ablenken (Distractionseffekt). Daher werden weitere Verfahren, wie die Messung von Reaktionszeiten oder Fehlerraten in Aufmerksamkeits- und Konzentrationstests eingesetzt, um Hinweise auf ein möglicherweise erhöhtes Unfallrisiko zu gewinnen.

Bei der Aufmerksamkeit handelt es sich nicht um eine Einzelfunktion, sondern um mehrere Prozesse, die für eine erfolgreiche Wahrnehmung, Informationsverarbeitung und Handlung notwendig sind. So ist beispielsweise die „selektive Aufmerksamkeit“ gefordert, wenn die Anforderungen beim Autofahren steigen, beispielsweise links abbiegen mit Gegenverkehr. Die „geteilte Aufmerksamkeit“ und das Arbeitsgedächtnis kommen ins Spiel, wenn eine Ablenkung in Form einer Unterhaltung hinzukommt. Um diese unterschiedlichen Teilleistungen zu untersuchen, werden spezifische neuropsychologische Tests verwendet.

Bei den sogenannten n-zurück Arbeitsgedächtnisaufgaben (siehe Abbildung 2) werden sehr komplexe Anforderungen an die Aufmerksamkeit und das kurzfristige Behalten von Informationen gestellt. So zum Beispiel das zeitliche Sortieren und Speichern von Informationen, das Erinnern und Vergleichen, um den richtigen

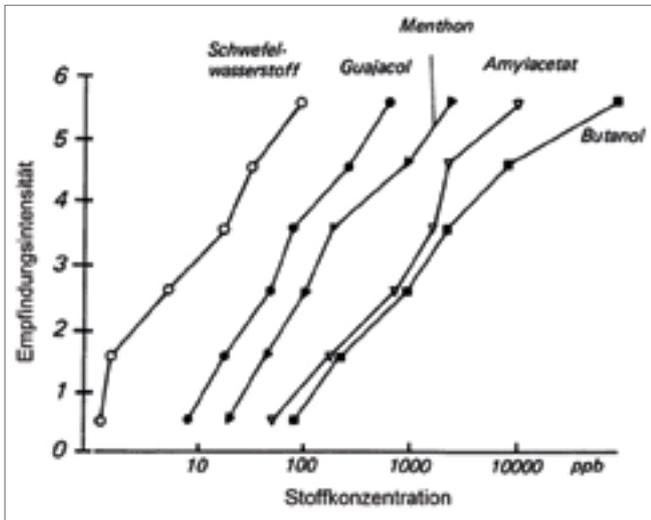


Abb. 1: Beispiel für den Intensitätsverlauf von Einzelsubstanzen (nach VDI 3882, Blatt 1 (1992), S. 14)

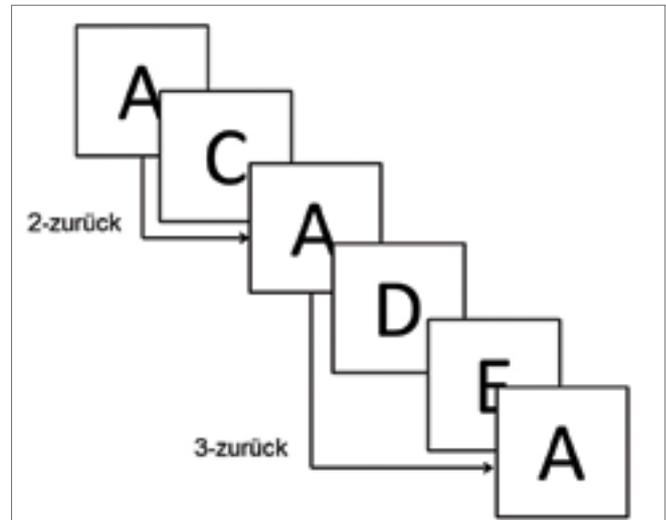


Abb. 2: Beispiel für eine n-zurück Aufgabe in unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden

Zielreiz zu identifizieren, sowie das Unterdrücken einer falschen und das Ausführen einer richtigen Antwortreaktion. Bei n-zurück Aufgaben werden hintereinander Reize, zum Beispiel Buchstaben gezeigt. Die Bearbeitung dieser Aufgaben ist in unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden möglich („0-zurück“ bis „3-zurück“ Aufgabe). Die Aufgabe besteht darin, zu entscheiden, ob der aktuelle Buchstabe mit dem Buchstaben übereinstimmt, der zwei (2-zurück) beziehungsweise drei Bilder zuvor (3-zurück) gezeigt wurde (Abbildung 3). Die 0-zurück Aufgabe wird als Kontrollbedingung verwendet. Hier wird bei Erscheinen des Buchstabens eine Taste gedrückt und die Geschwindigkeit der Reaktion gemessen. Das erfordert zwar Aufmerksamkeit, aber keine Arbeitsgedächtnisleistung.

Zusätzlich werden computergestützt Mathematik- und Rechtschreibaufgaben eingesetzt, die im Institut für Arbeit und Gesundheit der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IAG) in Dresden von Frau Dr. Paridon und ihren Kolleginnen und Kollegen entwickelt wurden und dazu dienen, eine arbeitsrelevante geistige Belastung zu simulieren.

Ausblick

In einem neuen Forschungsvorhaben soll das Methodenspektrum der Reizstoff-Forschung am IPA um die Anwendung bildgebender Verfahren wie die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) erweitert werden. Zusammen mit Prof. Boris Suchan (Fakultät für Psychologie der Ruhr-Universität Bochum) und Prof. Tobias Schmidt-Wilcke (Abteilung für Neurologie am Berufsgenossenschaftlichen Universitätsklinikum Bergmannsheil Bochum) soll der Distraktions-effekt als adverse Reizstoffwirkung, das heißt die Ablenkung durch einen chemisch-irritativen Arbeitsstoff gezielt untersucht werden. Dazu soll ein für die Anwendung im Magnetresonanztomographen geeignetes Olfaktometer entwickelt werden, mit dem Einzelstoffe und Stoffgemische in unterschiedlichen Konzentrationen dargeboten werden können. Bei ansteigenden Konzentrationen eines Arbeitsstoffes mit einer Geruchs- und Reizwirkung lösen die Proban-

den die bereits erwähnten n-zurück Arbeitsgedächtnisaufgaben. Als Effektparameter wird zum einen die Fehlerrate und Reaktionsgeschwindigkeit bei der Aufgabenbearbeitung betrachtet. Zum anderen werden die Veränderungen in der Aktivierung entsprechender Hirnareale, die für die Verarbeitung der Geruchs- und Reizwirkung und für die Bearbeitung der Aufgaben zuständig sind, gemessen.

Die Forschungshypothese ist, dass die ablenkende Wirkung eines Reizstoffes auf die Arbeitsleistung bis zu einer bestimmten, individuell unterschiedlichen Expositionshöhe durch vermehrte Anstrengung kompensierbar ist. Bei einer Stoffkonzentration, die als „extrem“ unangenehm beziehungsweise „erheblich“ belastend eingestuft wird, ist die Ablenkung nicht mehr kompensierbar und es kommt zu einer deutlichen Verminderung der Leistung. Wird die Aufgabenschwierigkeit im Sinne einer Überforderung weiter erhöht, ist der Ablenkungseffekt schon bei einer niedrigeren Expositionshöhe nicht mehr kompensierbar.

Eine weitere Forschungshypothese ist, dass suszeptible Personen wie Personen mit einer Sensory Airway Hyperreaktivität im Vergleich zu Kontrollpersonen bei Exposition gegenüber Arbeitsstoffen mit einer Geruchs- und Reizwirkung eher ablenkbar sind und schon bei einer niedrigeren Expositionshöhe eine deutlich verminderte Arbeitsleistung zeigen.

Die Autoren
 Hans Berresheim, PD Dr. Christoph Broding, Prof. Dr. Thomas Brüning, Prof. Dr. Jürgen Bünger, Dr. Frank Hoffmeyer, Dr. Birger Jettkant, Prof. Dr. Rolf Merget, Dr. Christian Monsé, Dr. Kirsten Sucker
 IPA

Beitrag als PDF

