

## Teil 1: Rechtlicher Rahmen und Ausgangssituation

# Neues Konzept zur rechnerischen Beurteilung betrieblicher Gefahrstoffexpositionen unter Einbeziehung ausgewählter Brandschutzingenieurmethoden

M.Sc. Florian Pillar, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Anke Kahl



Foto: istockphoto

Die Beurteilung von Gefährdungen am Arbeitsplatz ist eine der Kernforderungen des dualen Arbeitsschutzrechts und damit eine Grundpflicht des Arbeitgebers. Ziel ist die Ausweisung des erforderlichen Schutzniveaus für die bewerteten Tätigkeiten durch konkrete betriebliche Gestaltungsmaßnahmen. Dabei können für stoffbezogene Gefährdungsbeurteilungen nach § 5 ArbSchG bzw. § 6 GefStoffV auch rechnerische Betrachtungen in die Beurteilung eingebunden werden, welche die Ermittlung der Stofffreisetzung und -ausbreitung berücksichtigen. Diese Modelle müssen gem. GefStoffV dem Stand der Technik entsprechen. In der Disziplin des Brandschutzingenieurwesens kommen Modelle zum Einsatz, die sich auf die Stoffausbreitung in Räumen und Konzentrationsbedingungen von Brandrauch bei Brandereignissen in Gebäuden beziehen und entsprechend validiert sind.

Ein neuer konzeptioneller Ansatz zur stoffbezogenen Bewertung am Arbeitsplatz stellt die Verknüpfung ausgewählter Brandschutzingenieurmodelle mit bekannten Arbeitsschutzmodellen zur Stoffemission bzw. -immission dar. Dieses neu entwickelte Verfahren dient dem Ziel, für ausgewählte Branchen realitätsnahe Prognosen zur Stoffausbreitung in Räumen geben zu können, um darauf aufbauend praktische Handlungshilfen und -empfehlungen abzuleiten. Neben der Entwicklung dieses neuen konzeptionellen Ansatzes beinhaltet das Forschungsvorhaben an der Bergischen Universität Wuppertal dessen Validierung, um nachfolgend Aussagen zur Ergebnisgenauigkeit und zu praktischen Verwendungsmöglichkeiten treffen zu können.

## 1 Einleitung

In einer Vielzahl von Tätigkeiten der modernen Arbeitswelt werden gefährliche Stoffe eingesetzt, deren Verwendung zur Erfüllung der Arbeitsaufgaben bzw. innerhalb von Prozessen erforderlich ist. Gemäß § 5 Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) [1] in Verbindung mit § 6 Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [2] hat der Arbeitgeber für diese Tätigkeiten eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen, die insbesondere mögliche Gefährdungen der Beschäftigten unter Berücksichtigung der jeweiligen Gefährdungspotentiale der beteiligten Stoffe und den konkreten Rahmenbedingungen der Tätigkeit sowie der Umgebung (Exposition) einbezieht. Ziel ist es, für den Stoff und die Arbeitsbedingungen angepasste Schutzmaßnahmen festzulegen. Zur praxisnahen Betrachtung des Stoffverhaltens in Arbeitsräumen und deren Auswirkungen auf Beschäftigte ist die Untersuchung verschiedener Teilaspekte erforderlich (vgl. Abb. 1). Im Anschluss an die Freisetzung des Gefahrstoffes, der über inhärente Gefährdungspotentiale („Hazard“) verfügt, die potentiell wirksam werden können, erfolgt eine Stoffausbreitung im Raum. Diese kann bereits durch unterschiedliche Parameter der Emission (z.B. Stofftemperatur und -druck) beeinflusst werden. Die Ausbreitung, die weiterhin von den konkreten Rahmenbedingungen der Tätigkeit – bspw. von der Umgebungstemperatur oder den Lüftungsverhältnissen des Raumes – beeinflusst wird, führt zu orts- und zeitabhängigen Stoffkonzentrationen in der Luft. Das räumlich-zeitliche Aufeinandertreffen der Stoffkonzentration mit den anwesenden Beschäftigten generiert eine Stoffexposition, aus der vor dem Hintergrund der Stoffimmission die stoff- und tätigkeitsspezifische Gefährdung Beschäftigter mit entsprechenden negativen Wirkungen resultieren kann.

In der Disziplin des Brandschutzingenieurwesens, das maßgeblich auf die Sicherstellung von Flucht bzw. Rettung anwesender Personen ausgerichtet ist, werden Anforderungen an die Rauchfreihaltung von Räumen und Gebäuden gestellt. Erforderliche Entrauchungsmaßnahmen

sind entweder aus normativen Vorgaben oder durch rechnerische Nachweise mittels sog. Brandschutzingenieurmethoden abzuleiten. Die entsprechenden Berechnungsmodelle zielen auf die Ermittlung der Rauchausbreitung und -abführung ab, wobei die räumlich-zeitlichen Rahmenbedingungen sowie die Parameter des Brandereignisses zu berücksichtigen sind. Als Gemeinsamkeit von Brand- und Arbeitsschutz kann Brandrauch als Stoffgemisch angesehen werden, dessen Komponenten im Brandverlauf entstehen (z.B. Kohlenstoffmonoxid und -dioxid etc.) bzw. in die entstehende Strömung eingemischt werden. Weiterhin beruht die Stoffausbreitung in beiden Schutzbereichen grundlegend auf gleichen physikalischen Vorgängen (ggf. mit unterschiedlicher Ausprägung), so dass durch die Betrachtung resultierender Konzentrationen ein Schnittpunkt beider Disziplinen besteht.

## 2 Rechnerische Ansätze zur stoffbezogenen Gefährdungsbeurteilung

Die Gefährdungsbeurteilung durch den Arbeitgeber nach ArbSchG verfolgt das Ziel, Gesundheitsschäden Beschäftigter durch Unfälle oder arbeitsbedingte Erkrankungen bzw. Berufskrankheiten durch Festlegung angepasster Schutzmaßnahmen dauerhaft (in Bezug auf die Lebens-Arbeitszeit) zu vermeiden. Diese grundlegende Anforderung wird durch die Gefahrstoffverordnung sowie die konkretisierenden „Technischen Regeln für Gefahrstoffe“ (TRGS) gestützt.

Für den betrieblichen Umgang mit Gefahrstoffen wird durch die TRGS 400 („Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“) [3] und die TRGS 402<sup>1</sup> („Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahr-

stoffen: Inhalative Exposition“) [5] eine Vorgehensweise zur Gefährdungsbeurteilung unter Verwendung verschiedener Verfahren aufgeführt. Im Wesentlichen umfassen die Arbeitsschritte

- die Informationsermittlung zur Tätigkeit und zu einzusetzenden oder entstehenden Gefahrstoffen,
- die Ermittlung und Bewertung vorliegender Expositionen bzw. Gefährdungen,
- die Ableitung geeigneter Schutzmaßnahmen für Beschäftigte,
- die Dokumentation sowie
- die abschließende Wirksamkeitsüberprüfung getroffener Maßnahmen.

Als Beurteilungsmaßstäbe sind die in TRGS 900 („Arbeitsplatzgrenzwerte“) [6] festgelegten Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) als staatliches Grenzwertkonzept heranzuziehen. Ist für einen Stoff kein AGW veröffentlicht, können andere Beurteilungsmaßstäbe (z.B. internationale Grenzwerte, DFGMAK-Werte) bzw. Analogiebetrachtungen herangezogen werden. Als Verfahren zur Beurteilung stoffspezifischer Tätigkeiten kommen verschiedene konzeptionelle Ansätze zur Anwendung, die dem Stand der Technik entsprechen müssen. Eine Beurteilung von Arbeitsbedingungen kann auf der Basis von Messungen erfolgen. Die entsprechende Tätigkeit muss jedoch unter den jeweiligen Umgebungsbedingungen bereits durchgeführt sein, eine prospektive Erfassung ist nicht möglich. Darüber hinaus ist die Nutzung von Analogiebetrachtungen realisierbar, jedoch nur mit der Einschränkung, dass die Arbeitsbedingungen der Tätigkeiten bekannt und vergleichbar sind. Alternativ besteht die Möglichkeit, rechnerische Verfahren als qualifizierte Expositionsabschätzung zur Beurteilung von Tätigkeiten heranzuziehen. Auch diese müssen dem Stand der Technik entsprechen und die speziellen Arbeitsbedingungen in geeigneter Weise berücksichtigen.

Entsprechend den grundlegenden Mechanismen, die über die Stoffemission und -ausbreitung bis hin zur Einwirkung von Gefahrstoffen auf Beschäftigte führen (vgl. Abb. 1), sind unterschiedliche Schritte innerhalb der rechnerischen Betrachtungen erforderlich.

<sup>1</sup> Neben den speziellen Anforderungen für inhalative Expositionen bestehen mit der TRGS 401 („Gefährdung durch Hautkontakt – Ermittlung, Beurteilung, Maßnahmen“) [4] ebenfalls Anforderungen für dermale Gefährdungen Beschäftigter. Die beschriebenen Schritte zur Gefährdungsbeurteilung sind dabei adäquat zu den Anforderungen der TRGS 401.

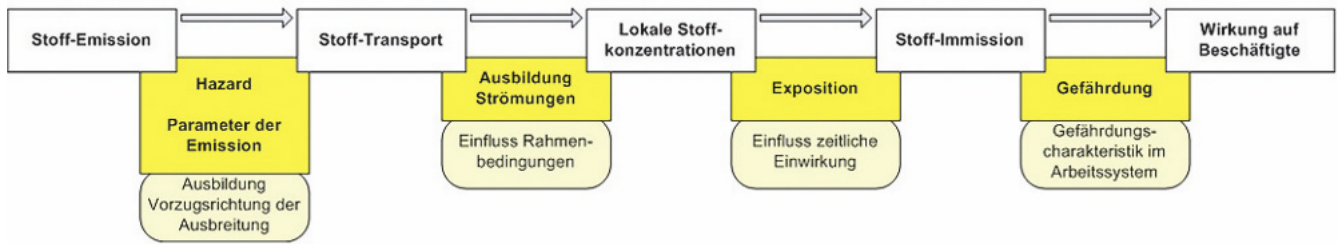


Abb. 1: Teilaspekte stoffspezifischer Einwirkungen auf Beschäftigte

Diese müssen sowohl

- die Stoffemission als auch
- die Stoffausbreitung

unter Berücksichtigung der einzelfallbezogenen Rahmenbedingungen umfassen, um ortsbezogene und bewertbare Stoffkonzentrationen<sup>2</sup> rechnerisch ermitteln zu können. Weiterhin ist die Berücksichtigung der räumlich-zeitlichen Koinzidenz von Stoffkonzentration und Beschäftigten erforderlich. Die allgemeine Vorgehensweise einer stoffbezogenen Gefährdungsbeurteilung nach GefStoffV und TRGS 400 ist in Abb. 2 dargestellt.

### 3 Berechnungsmodelle des Arbeitsschutzes

Für rechnerische Betrachtungen zur Ermittlung der Stoffemission und -ausbreitung sowie der Entstehung orts- und zeitabhängiger Stoffkonzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz stehen Modelle zur Verfügung, die z.B. Untersuchungen zur Verdunstung oder Verdampfung von Stoffen, der strömungsmechanischen Emission oder auch zur Stoffausbreitung aufgrund der Diffusion umfassen<sup>3</sup>.

Weiterhin existieren vereinfachte Ansätze zur Ermittlung der Stoffkonzentration, die von der Einteilung des Arbeitsraumes in unterschiedliche Zonen (Ein- oder Mehrzonenmodelle, die sich am Atembereich der Beschäftigten orientieren) ausgehen und volumenbezogene Mittelwertberechnungen durchführen<sup>4</sup>. Ebenfalls sind kombinatorische Konzepte vorhanden, welche Untersuchungen zu Stoffemission und -ausbreitung bereits zusammenführen und durch verschiedene Korrelationen aus Emissionsparametern Rückschlüsse auf die Stoffkonzentrationen ziehen (z.B. Modell des Sättigungsdampfdrucks<sup>5</sup>, vgl. [8]).

Darüber hinaus kann eine Beurteilung auftretender stoffspezifischer Gefährdungen mittels generischer Expositionsmodelle vorgenommen werden, die von der Stoffemission auf die eintretenden Stoffkonzentrationen schließen lassen (bspw. Stoffenmanager<sup>6</sup>). Zudem ist eine Beurteilung mittels qualitativer Modelle nach dem Control-Banding-Ansatz (z.B. EMKG – Einfaches Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe<sup>7</sup>) möglich, der Parameter der Stoffemission mit relevanten Arbeitsbedingungen (bspw. Kontaktdauer) verknüpft und so Empfehlungen zu erforderlichen Maßnahmen gibt.

Aus den Darlegungen zu den im Arbeitsschutz Verwendung findenden Modellen lässt sich darauf schließen, dass diese vorwiegend aus experimentellen Untersuchungen abgeleitet worden sind. Für diese Modelle bestehen zumeist keine Validierungsuntersuchungen, die Aussagen zur Realitätsnähe der Ergebnisse sowie deren Genauigkeit darlegen und damit eine Voraussetzung für die sichere Anwendung bilden. Dementsprechend sind die Anwendungsgrenzen eng gesteckt und ein praktischer Einsatz ggf. eingeschränkt.

Vor diesem Hintergrund ist eine orientierende Anwendung dieser Modelle generell möglich, jedoch müssen die Ergebnisse mit entsprechenden Sicherheitsfaktoren bedacht werden. Das Modelldesign des Zonenmodells baut z.B. auf Mittelwertrechnungen auf, deren Bezugsvolumen und damit unmittelbar die errechneten Stoffkonzentrationen durch den Anwender festgelegt und direkt beeinflusst werden<sup>8</sup>. Darüber hinaus sind insbesondere Ausbreitungsmodelle entweder auf die Darstellung einzelner physikalischer Vorgänge ausgerichtet (z.B. das Diffusions-

modell<sup>9</sup>) oder stellen auf nicht differenzierte Quellterme ab, die auf empirischen Verknüpfungen basieren.

Zusammenfassend verfügen die vorliegenden Berechnungsmodelle über konzeptionelle Einschränkungen, die im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung eine Verwendung zur orientierenden Abschätzung ermöglichen. Orts- und zeitabhängige Detaillierungen – bspw. für spezielle Anwendungsfälle – können jedoch nicht dargestellt werden.

### 4 Berechnungsmodelle des Brandschutzingenieurwesens

Im Bereich des Brandschutzingenieurwesens werden für verschiedene Untersuchungen rechnerische Modelle eingesetzt, wobei eine Modellkategorie auf die Ermittlung der Rauchausbreitung in Gebäuden abzielt. Im Gegensatz zum Arbeitsschutz sind die methodischen Ansätze nicht auf die Vermeidung von Gesundheitsschäden über die Lebensarbeitszeit, sondern auf die kurzfristige Sicherstellung der Fluchtmöglichkeit und Personenret-

<sup>2</sup> Das Grenzwertkonzept der AGW beruht auf der Bewertung stofflicher Konzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz, wobei die eintretenden Immissionsmechanismen im Rahmen der Grenzwertableitung berücksichtigt werden. Eine rechnerische Betrachtung der Immission sowie der biologischen Wirkungsmechanismen ist somit im Rahmen der Beurteilung von Tätigkeiten nicht erforderlich.

<sup>3</sup> vgl. z.B. [8]

<sup>4</sup> vgl. bspw. [9]

<sup>5</sup> aus dem Englischen: Saturation Vapour Pressure Model

<sup>6</sup> vgl. [10]

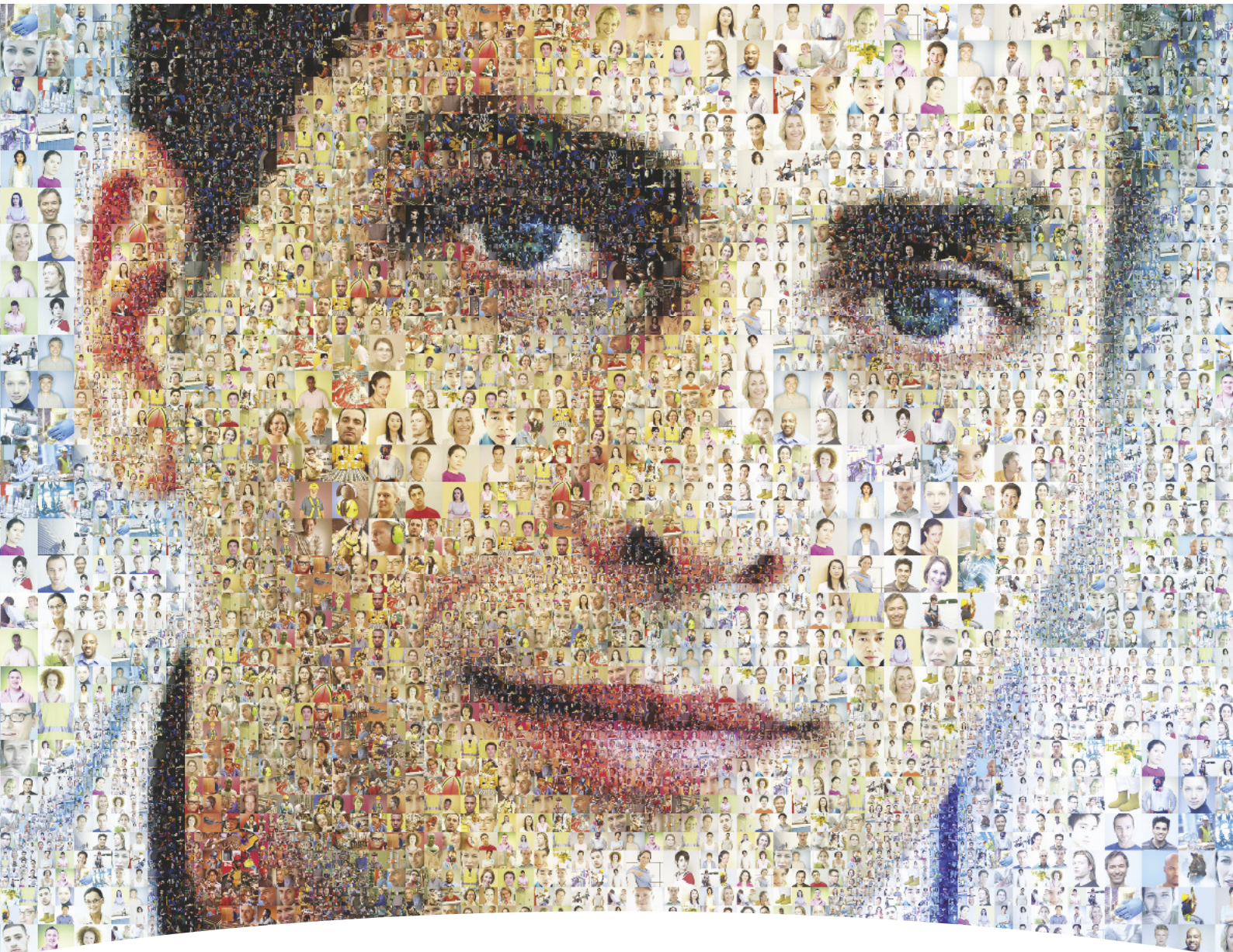
<sup>7</sup> vgl. [7]

<sup>8</sup> vgl. [8]

<sup>9</sup> vgl. [8]



# Sicherheit schaffen



## Honeywell kann Sie beim Aufbau einer nachhaltigen Sicherheitskultur begleiten

Honeywell Safety Products bietet das umfassendste Portfolio von branchenführenden Sicherheitslösungen auf dem Markt. Unser Kernauftrag lautet, Sicherheitsbeauftragten beim Aufbau einer nachhaltigen Sicherheitskultur zu unterstützen. So reduzieren Sie optimal alle Verletzungsrisiken und sorgen für einen gesunden, sicheren und produktiven Arbeitsplatz. Entdecken Sie zusammen mit Honeywell neue Möglichkeiten für optimale Sicherheit am Arbeitsplatz. Besuchen Sie noch heute unsere Website.

## Honeywell

[www.honeywellsafety.com/culture](http://www.honeywellsafety.com/culture)

Besuchen Sie uns auf der Arbeitsschutz Aktuell  
vom 16.-18. Oktober, Stand H5 E29!



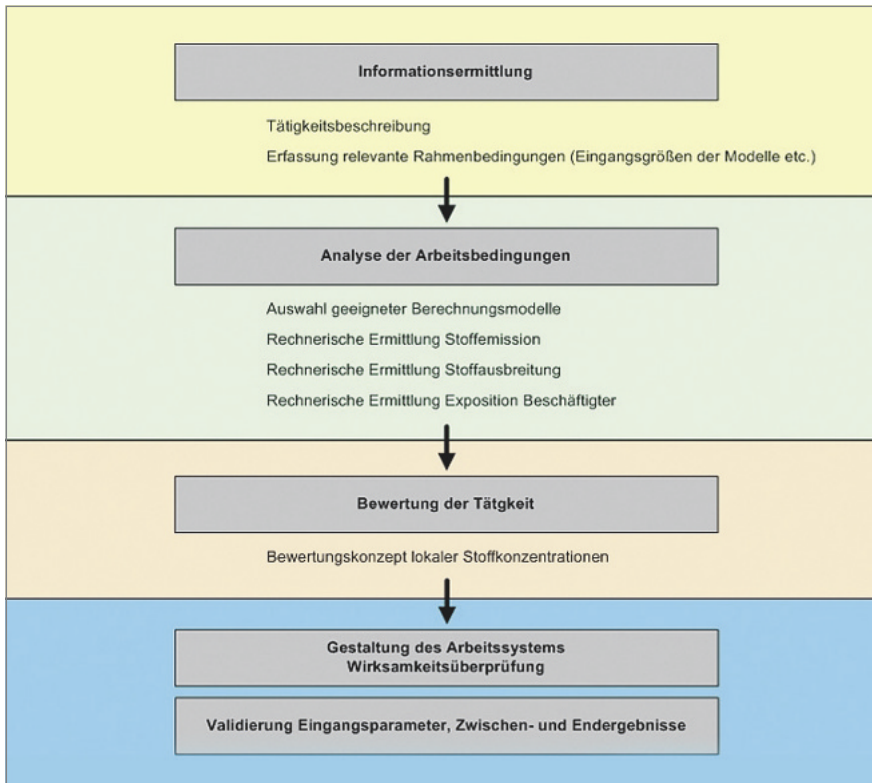


Abb. 2: Vorgehensweise bei einer stoffspezifischen Gefährdungsbeurteilung anhand rechnerischer Betrachtungen

tung im Brandfall ausgerichtet. Generell wird für derartige Berechnungen, die sich auch auf im Rauch enthaltene Komponenten erstrecken, zwischen den Konzepten brandschutztechnischer Zonen- und Feldmodelle unterschieden.

Zonenmodelle beruhen auf der Annahme, dass sich im Brandfall über einer sogenannten raucharmen Schicht eine klar abgegrenzte Rauchsicht ausbildet. Die Rauchemission des Brandes, die Interaktion der Schichten (als rechnerische Kontrollvolumen) sowie die Durchströmung von Raumöffnungen werden durch Quellterme beschrieben. Zudem werden Vorzugsrichtungen der Ausbreitung unterstellt und berechnet. Feldmodelle als Umsetzung der CFD<sup>10</sup>-Ansätze beruhen auf der Unterteilung des Betrachtungsraums in eine Vielzahl von Kontrollvolumen<sup>11</sup>. Durch dieses Vorgehen ist eine freie Rauchausbreitung ohne Vorzugsrichtung rechnerisch abbildbar.

Durch die Berechnung von im Brandrauch enthaltenen Stoffkonzentrationen bzw. deren Stoffausbreitung kann erwartet wer-

den, dass die Brandschutzingenieurmodelle ebenfalls für Betrachtungen zur allgemeinen Stoffausbreitung verwendet werden können. Das Konzept der Zonenmodelle unterstellt zwingend ein Brandereignis, weiterhin ist die erforderliche freie Ausbreitungsberechnung durch die Vorgabe einer Vorzugsrichtung nicht gegeben. Dieser Modelltyp findet daher keine Anwendung im Arbeitsschutz. Dagegen können Feldmodelle auch Berechnungen ohne Brandereignis und Vorzugsrichtung realisieren, so dass eine Einbindung dieses Modelldesigns im Arbeitsschutz möglich erscheint.

Neben Synergieeffekten wäre ein Vorteil einer Übertragung, dass bereits bestehende Validierungsbetrachtungen für den Anwendungsbereich des Arbeitsschutzes zugrunde gelegt werden. Dies gilt in diesem Kontext für das allgemein verfügbare und weltweit anerkannte Berechnungsmodell „Fire Dynamics Simulator“<sup>12</sup> (FDS) inklusive der verfügbaren Untersuchungen (vgl. [12, 13, 14]). Eine zentrale Schnittstelle bildet dabei die Abbildung von Gemischen

und deren Stoffkomponenten, die sich in der Luft des Berechnungsraumes ausbreiten und durch verschiedene physikalische Vorgänge (z.B. Diffusion, Thermik und Einfluss von Luftströmungen) beeinflusst werden.

In der nächsten Ausgabe lesen Sie Teil 2: Ansatz und methodische Konzeption des neuen Verfahrens

## Literatur

- [1] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG), Fassung August 1996 (zuletzt geändert Februar 2009); in Bundesgesetzblatt I, 2009
- [2] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV), Fassung 2010 (zuletzt geändert Juli 2011); in Bundesgesetzblatt I, 2011
- [3] TRGS 400 – Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, Ausgabe: Januar 2008
- [4] TRGS 401 – Gefährdung durch Hautkontakt – Ermittlung, Beurteilung, Maßnahmen, Ausgabe: Juni 2008
- [5] TRGS 402 – Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition, Ausgabe: Juni 2008
- [6] TRGS 900 – Arbeitsplatzgrenzwerte, Ausgabe: Januar 2006 (zuletzt geändert 2012)
- [7] Kahl, A. et. al.: Einfaches Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe – Version 2.2. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Stand: Oktober 2011
- [8] Eickmann, U.: Methoden der Ermittlung und Bewertung chemischer Expositionen an Arbeitsplätzen. Landsberg/Lech: Verlagsgesellschaft Hüthig Jehle Rehm GmbH, 2008
- [9] Keil, C.B.: Mathematical Models for Estimating Occupational Exposure to Che-

<sup>10</sup> Computational Fluid Dynamics – numerische Strömungsmechanik

<sup>11</sup> Typische Kantenlängen liegen im Bereich von 0,20 m, so dass 1 m<sup>3</sup> bereits in 125 Berechnungsfelder unterteilt wird.

<sup>12</sup> <http://code.google.com/p/fds-smv/>

- micals. Fairfax, USA: American Industrial Hygiene Association (AIHA), 2000
- [10] Online verfügbare Gesamtdokumentation: <https://www.stoffenmanager.nl>
- [11] Lehder, G.: Taschenbuch Arbeitssicherheit. 12., neu bearbeitete Auflage. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 2011
- [12] McGrattan, K. et. al.: Fire Dynamics Simulator (Version 5) – Technical Reference Guide, Volume 1: Mathematical Model. Washington, USA: National Institute of Standards and Technologie (NIST), U.S. Department of Commerce, 2010
- [13] McGrattan, K. et. al.: Fire Dynamics Simulator (Version 5) – Technical Reference Guide, Volume 2: Verification. Washington, USA: National Institute of Standards and Technologie (NIST), U.S. Department of Commerce, 2010
- [14] McGrattan, K. et. al.: Fire Dynamics Simulator (Version 5) – Technical Reference Guide, Volume 3: Validation. Washington, USA: National Institute of Standards and Technologie (NIST), U.S. Department of Commerce, 2010
- [15] Forney, G.P.: Smokeview (Version 6) – A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data – Volume I: User's Guide. Washington, USA: National Institute of Standards and Technologie (NIST), U.S. Department of Commerce, 2012
- [16] Forney, G.P.: Smokeview (Version 6) – A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data – Volume II: Technical Reference Guide. Washington, USA: National Institute of Standards and Technologie (NIST), U.S. Department of Commerce, 2012

### Autoren

M.Sc. Florian Pillar



Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Anke Kahl



**WELCHES AUGE WOLLEN  
SIE ZUERST RETTEN, WENN  
EIN UNFALL PASSIERT?**



## Mit der Augenspülflasche DUO können Sie beide Augen gleichzeitig spülen

Bei einer Vielzahl von Augenunfällen sind beide Augen betroffen. Trotzdem gab es bislang noch keine mobile Augenspüllösung, mit der beide Augen gleichzeitig gespült werden konnten. Das hat dazu geführt, dass man sich bei ernsthaften Unfällen oftmals die Frage stellen musste, welches Auge gerettet werden soll? Diese Fragestellung gehört nun endlich der Vergangenheit an!

Erhältlich ist die DUO Augenspülflasche in zwei verschiedenen Ausführungen bei Verätzungsgefahr und zum Ausspülen von Fremdkörpern.

Fordern Sie nähere Informationen zu unserem Gesamtprogramm an!

**Kontakt:**  
Plum Deutschland GmbH  
Tel. 04721-681801  
[info@plum-deutschland.de](mailto:info@plum-deutschland.de)  
[www.plum-deutschland.de](http://www.plum-deutschland.de)

**plum**