



Simulationsrechnungen zur Beurteilung von Gefahrstoffexpositionen – Synergetische Verwendung von Brandschutzingenieurmodellen –

A.1 *Gefährdungsbeurteilung von Tätigkeiten mit Gefahrstoffen*

- Möglichkeiten zur Gefährdungsbeurteilung nach Gefahrstoffverordnung:
 - Gefahrstoffmessungen und Analogiebetrachtungen → vgl. Bedingungen erforderlich
 - Berechnungen → Vorhersagemöglichkeit
 - Bestehende Berechnungsmodelle im Arbeitsschutz:
 - z.B. einfache Abschätzung zur Orientierung, Emissions-Berechnungen, Konzentrations-Berechnungen; stark vereinfachende Konzepte
 - Schwächen in der ortsbezogenen Konzentrationsabschätzung (Atembereich), z.B. durch Annahme ortsbezogen homogener Stoffkonzentration (Zulässigkeit gegenüber Realität?)
 - unklare Anwendungsbereiche, zumeist keine Validierung bzw. stark eingeschränkter Anwendungsbereich
- *Nutzbarkeit zur Gefährdungsbeurteilung bzw. für „reale“ Ergebnisse fraglich*

A.2 *Brandschutzingenieurmodelle: Simulation der Rauchausbreitung*

- Ausrichtung: z.B. Berechnungen zur orts- und zeitabhängigen Bemessung von Maßnahmen zur Entrauchung von Räumen
- Modellkonzept: Unterteilung Kontrollvolumen (typ. 0,001-0,008m³), zeitabhängige Lösung Thermodynamik und Ausbreitung für jedes Kontrollvolumen (u.a. Navier-Stokes-Gleichungen)
- Rauch als Gemisch verschiedener (Gefahr-) Stoffe, technische Möglichkeit zur Konzentrationsberechnung ohne Brandereignis bei Angabe Stoffemission
→ *Schnittpunkt Arbeitsschutz-Betrachtungen als Synergie-Ansatz*
- Vorteil: Orts- und Zeitabhängigkeit, umfangreiche Validierungsarbeiten für Brandereignisse vorhanden (aber: Wärmefreisetzung, Temperaturerhöhung, Auftriebsströmung etc.)
→ *Forschungsfrage: Ist Nutzung auch für die Gefährdungsbeurteilung möglich?*

A.3 *Verwendung Berechnungsmodell: Gasausbreitung in der Raumluft*

- formale Nutzbarkeit der Berechnungssystematik sowohl in Arbeits- als auch Brandschutz
- gemeinsame Eingangsparameter: Geometrie, thermodyn.. Rahmenbedingungen, Lüftung etc.
- Eingangsparameter Rauchausbreitungs-Berechnung:
Brandszenario mit Wärmefreisetzung (thermischer Einfluss auf Ausbreitung etc.), emittierte Massenanteile Rauchkomponenten (Berechnung Gesamt-Massenstrom)
- Eingangsparameter Stoffausbreitungs-Berechnung (ohne Brand):
Stoff (-eigenschaften), Freisetzungsfläche, flächenbezogener Emissions-Massenstrom
→ keine Wärmefreisetzung, andere wesentliche Einflussgrößen für Stoffausbreitung (z.B. Lüftungsbedingungen)
→ *geeignete Emissions-Abschätzung? Bewertung berechneter Luftkonzentrationen?*
→ *konzeptionelle Ergänzung zu Gesamtbetrachtung erforderlich, Übertragbarkeit?*

B.1 *Integriertes Gesamtverfahren zur Gefährdungsbeurteilung*

- Modularer Aufbau als geplante Struktur:
 - Informationsermittlung: konkretisiertes Arbeitssystem zur Erfassung aller benötigten Eingangsparameter (Gewährleistung Vollständigkeit)
 - Erfassung Emission: Auswahl aus Modell-Pool (Berechnungsansätze, Analogieabschätzungen, Entfall bei bekannten Emissions-Parametern) und situationsbezogene Anwendung,
Grundlage: Informationsermittlung Arbeitssystem
 - Erfassung Ausbreitung: Nutzung Brandschutzingenieurmodell „Fire Dynamics Simulator“ (FDS) [NIST, USA],
Grundlagen: Informationsermittlung Arbeitssystem, flächenbezogener Emissions-Massenstrom aus Erfassung Emission (Schnittstelle, ggf. Umrechnungsfaktor)

- Bewertung Tätigkeit: Gefährdungsermittlung durch Expositionsbeobachtung, Grundlage: Informationsermittlung Arbeitssystem, berechnete orts- und zeitabhängige Luftkonzentration aus Erfassung Ausbreitung (Schnittstelle, ggf. Umrechnungsfaktor)
- Definition Ablauf und interner Schnittstellen
→ *Theoretische Konzeption als Forschungsgegenstand*

B.2 Berechnungsergebnisse

- Auswertungsmöglichkeiten Ausbreitungsberechnungen:
 - quantitative Konzentrationsverläufe (tabellarisch), z.B. Aufbereitung als Graphen
→ Nutzung für Grenzwertvergleiche, Vergleiche Gestaltungslösungen Lüftung etc.
 - qualitative Visualisierungen
→ räumliche Erfassung Strömungen, zeitabhängige Darstellung Luftkonzentrationen, Verdeutlichung Gefährdungscharakteristik etc.
- *Forschungsfragen:*
 - *Ausbreitungsberechnung:*
Genauigkeit, Anwendungsbereich, Validität als Voraussetzung der Übertragbarkeit?
 - *Gesamtverfahren:*
Funktionalität modularer Aufbau, Schnittstellendefinition, Validität bei „vollständiger“ Berechnung Emission / Ausbreitung?
- *Notwendigkeit von Validierungsuntersuchungen als Grundlage des praktischen Einsatzes*

C.1 Konzeptionelle Validierungsuntersuchungen

- systematische Untersuchung der Forschungsfragen
- Ansatz: Messung Referenzwerte in Versuchen unter definierten Bedingungen, Vergleich mit Berechnungsergebnissen (für gleiche Bedingungen als Eingangsparameter)
 - DGUV-gefördertes Forschungsprojekt: Freisetzung Propan, Verdunstung Isopropanol, variable Bedingungen, Messung an verschiedenen Positionen
 - Datennutzung IPA-Expositionslabor: diverse Stoffe, Anfahr-/Abklingkurven von Stoffkonzentrationen bei bekannten Bedingungen an definiertem Messplatz
- Erkenntnisse der Konzentrationsvergleiche:
 - Ausbreitungsmodell: keine Validität bei punktueller Gasfreisetzung, *Validität für flächige Gasfreisetzung / Verdunstung*
→ *Nachweis der methodischen Übertragbarkeit Brandschutzingenieurmodell*
 - Gesamtverfahren: *Funktionalität Informationsermittlung / Schnittstellen*, keine Validität berücksichtigter Verdunstungsmodelle mit Beeinflussung der Ausbreitungsberechnungen (Unterschätzungen)
→ keine Validität bei Verwendung Emissions-Berechnung („vollständige Berechnung“) bei untersuchten Bedingungen
- *Ableitung von Anwendungsbedingungen, unter denen Ausbreitungsberechnung bzw. Gesamtverfahren im Arbeitsschutz nutzbar ist*

C.2 Anwendungsgrenzen und praktische Einsatzmöglichkeiten

- Grundlage: Untersuchungsergebnisse (korrekte Schnittstellen, valide Berechnung Gasausbreitung, keine Validität Emissions-Berechnungen) und festgestellte Rahmenbedingungen
- Anwendungsbedingungen und –grenzen u.a.
 - Gasausbreitung unter „Normaltemperatur“
 - Verzicht auf Berechnung Emissions-Massenstrom (anderweitige Abschätzung erforderlich)
 - bekannter Stoff und Stoffeigenschaften (ggf. genaue Abschätzung)
 - flächige Emission mit bekannten Parametern
 - bekannte Lüftungsbedingungen
 - Berücksichtigung Sicherheitsfaktoren (z.B. geringe Lüftung, hohe Freisetzung)
 - Genauigkeit Konzentrationsberechnung steigt mit Genauigkeit der Eingangsparameter
- potentielle Anwendungen in Arbeitsschutzbetrachtungen u.a.:
 - einzelfallbezogene Gefährdungsbeurteilungen (Grenzwertvergleich, Auslegung Schutzmaßnahmen) → hoher Aufwand!
 - Erarbeitung Handlungshilfen bei typischen Tätigkeiten / Arbeitsbedingungen (z.B. Branchenlösungen)
 - forensische Rekonstruktion Expositionsbedingungen

→ **Experten-Tool zur Ermittlung stoffbezogener Gefährdungen als praxisbezogene Option**