

Explosionsgefährdete Bereiche durch gezielte Lüftung reduzieren!

**IVSS-Workshop „Explosionsschutz“
Frankfurt/Main, 13./14.Mai 2009**

Dr. Bernd Broeckmann

INBUREX Consulting GmbH
August-Thyssen Str. 1
59067 Hamm
Tel. +49 (0) 2381 271 610
Fax +49 (0) 2381 271 620

www.inburex.com
infos@inburex.com



Explosionsgefährdete Bereiche durch gezielte Lüftung reduzieren!

- ◆ **Motivation**
- ◆ **Freisetzungsquellen**
- ◆ **Einfluss der Lüftung**
 - Lüftungsführung
 - Lüftungsstärke
 - Lüftungsverfügbarkeit
- ◆ **Anwendungsbeispiele**



Vermeidung explosionsfähiger Atmosphäre

- ◆ **Vermeidung/Begrenzung der Freisetzung**
 - ◆ **Anforderung des Umweltschutzes zur Vermeidung der Freisetzung**
- ◆ **Reduktion der Konzentration durch Lüftungsmaßnahmen**
 - ◆ **Synergie mit Arbeitsschutz bei Gefahrstoffen**
 - ◆ **Grenzwerte auch für Spitzenlasten liegen im Bereich von z.T. deutlich unter 1.000 ppm**
- ◆ **Kann der Explosionsschutz von Arbeitsschutz- und Umweltschutzanforderungen profitieren?**



- ◆ **TRBS 2152 - 2** verweist im Kapitel 2.4.4 Lüftungsmaßnahmen auf:
- ◆ **DIN EN 60079 - Elektrische Betriebsmittel für gasexplosionsgefährdete Bereiche**

**Teil 10: Einteilung der explosionsgefährdeten Bereiche
(VDE 0165 Teil 101) (2004)**



- ◆ **Bewerte die Freisetzungsquellen**
- ◆ **Quantifiziere die Freisetzungsquellen**
- ◆ **Bewerte die Ausbreitung der Brennstoffe in Relation zur Luftführung (Lüftungsgüte)**
- ◆ **Bewerte die Lüftung im Hinblick auf die Freisetzungsquelle (Lüftungsstärke)**
- ◆ **Bewerte die Ausführung der Lüftung hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit (Überwachung, Lüftungsverfügbarkeit)**
- ◆ **Aus der Kombination der Faktoren ergibt sich die Zoneneinteilung**



Freisetzungsquellen

◆ **Kontinuierlicher Freisetzungsgrad**

Ständig oder häufig oder langfristig

Beispiel: - Oberfläche einer brennbaren Flüssigkeit



◆ **Primärer Freisetzungsgrad**

periodisch oder gelegentlich bei Normalbetrieb

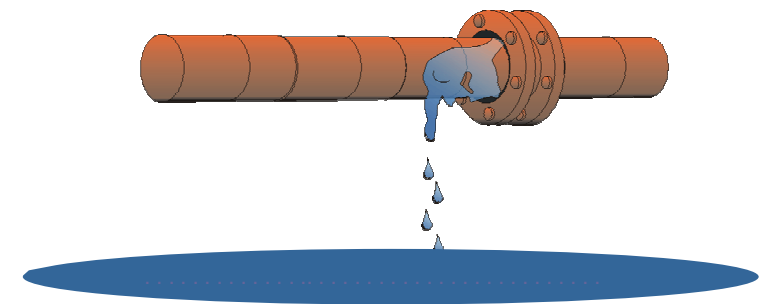
Beispiele: - Entlüftungen,
- Probeentnahmen



◆ **Sekundärer Freisetzungsgrad**

nicht im Normalbetrieb, wenn sie auftritt, dann selten und kurzzeitig

Beispiele: - Flansche,
- Verbindungen,
- Armaturen,
- Notentspannungen



◆ **Auf Dauer technisch dichte Verbindung**

⇒ durch Konstruktion hohes Maß der Sicherheit und/oder

⇒ durch Überwachung Dichtheit auf Dauer gewährleistet

Beispiele: - Pumpe mit doppelt wirkender Gleitringdichtung,
- Flansch mit Nut und Feder

◆ **Keine Freisetzung → kein explosionsgefährdeter Bereich**

→ keine Zone

◆ **Achtung: Auf Dauer technisch dichte Verbindungen gibt es auf europäischer Ebene nicht.**



Einflussfaktoren auf freigesetzte Massenströme bei Ausströmvorgängen

◆ Flüssigkeiten:

- Ausdampfen aus Lache
- Lachengröße aus Geometrie oder Flüssigkeitsmenge oder Verdampfungsrate

◆ Dämpfe/Gase:

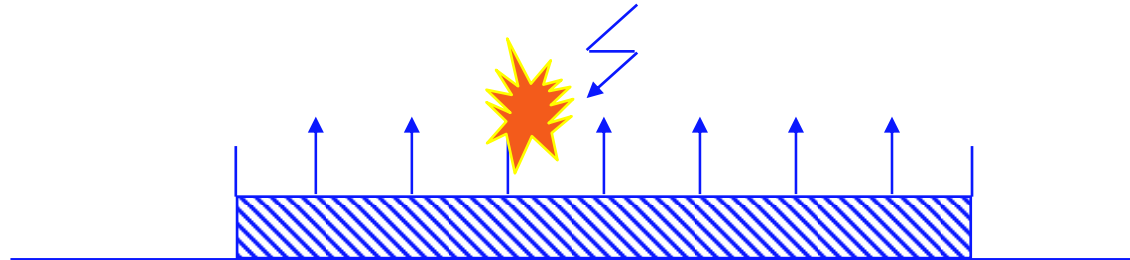
- Freisetzungsrate: Leckgröße, Druckdifferenz
- bei Dämpfen: verdrängtes Volumen bei Befüllen eines Behälters

◆ Zwei- oder mehrphasiges Ausströmen:

- durch Druckabfall bei der Freisetzung wird Zweiphasenbereich erreicht (Flüssigkeit flasht im Spalt)
- Freisetzungsrate so hoch, dass Lüftung nicht zur Reduktion der Zoneneinteilung genutzt werden kann



Ausdampfen aus einer Flüssigkeitslache



Ausdampfrate (konservativ nach Brötz/LIS-Bericht 115):

$$\dot{m}_{EV} = k A p_D M/22,4$$

k: Stoffübergangskoeffizient in m/h

p_D : Dampfdruck in bar

M: Molmasse in kg/kmol

Ausdampfrate hier in kg/h

Windgeschwindigkeit [m/s]	0	1	5
k [m/h]	2	11	40

Methanollache bei 20 °C:

Flammpunkt : 9 °C

Dampfdruck (20 °C): 128 mbar

Molmasse: 32 kg/kmol

Windgeschwindigkeit [m/s]	0	1	5
---------------------------	---	---	---

Massenstromdichte [g/m²s]:	0,1	0,6	2
--	------------	------------	----------



Bildung einer zündfähigen Wolke beim Ausdampfen aus einer Methanollache

$$H = \frac{\dot{m}_{EV} \cdot L}{A \cdot u \cdot C_{LEL}}$$

- H - Höhe der explosionsfähigen Wolke in m
- \dot{m}_{EV} - Ausdampftrate in g/s
- L - Lachenlänge in m
- A - Lachenfläche in m²
- u - Windgeschwindigkeit in m/s
- C_{LEL} - untere Explosionsgrenze in g/m³

Methanollache:

untere Explosionsgrenze: 73 g/m³

Lachenlänge: 10 m

Windgeschwindigkeit [m/s] 0 1 5

Massenstromdichte [g/m²s]: 0,1 0,6 2

H [m] **1*** **0,08** **0,05**

*: nach 730 s bzw. 12 min



Einflussfaktoren auf die Lachenverdampfung

◆ **Temperatur der Lache:**

- Verdampfung bewirkt Temperaturabfall
- Wärmetransport muss über Wärmeleitung aus dem Boden erfolgen

◆ **Stoffübergang:**

- hohe Konzentration an der Grenzfläche
- Erhöhung des Stoffübergangs durch höhere Strömungsgeschwindigkeit führt zu stärkerer Verdünnung



Bewertung der Luftführung (Lüftungsgüte)

- ◆ Wo wird die Luft abgeführt?
- ◆ Wie erfolgt die Luftzufuhr?
- ◆ Werden Emissionen am Freisetzungsort erfasst?
- ◆ Bestehen **Toträume** ohne Durchströmung?
- ◆ Können **Kurzschlussströme** entstehen?
- ◆ Sind **Luftwalzen** möglich (Toträume mit Bewegung)?



Gütefaktor	Luftführung
1	Absaugung am Freisetzungsort, bzw. Natürliche Lüftung in einer Freianlage
2	Gute Luftführung ohne Toträumen (Querströmung)
3	Raumlüftung mit geringen Toträumen
4	Raumlüftung mit großen Toträumen
5	Keine Durchströmung des Raumes z.B. natürliche Lüftung eines Raumes



- ◆ Welche Luftmenge \dot{V}_{\min} wird benötigt, um bei einer Freisetzung \dot{G} eine Verdünnung unter die UEG zu erzielen?
- ◆ Festlegung des Abluftstromes einer Objektabsaugung

Mindestluftmenge \dot{V}_{\min} :

$$\dot{V}_{\min} = \frac{\dot{G}_{\max}}{k \cdot c_{\text{UEG}}} \cdot \frac{T_0}{293}$$

\dot{G} : Freisetzungsrate des Brennstoffs

k : Sicherheitsfaktor

0,25 (Dauer- und Primärstufe)

0,5 (Sekundärstufe)



Beurteilung der Lüftung - hypothetisches zündfähiges Volumen

- ◆ In welchem Bereich um die Freisetzungsquelle herum erreicht man die Verdünnung auf eine ungefährliche Konzentration?
- ◆ Weitere Überlegungen zur Festlegung der Ausdehnung erforderlich.

hypothetisches zündfähiges Volumen V_z :

$$V_z = f \cdot \frac{\dot{V}_{\min}}{L}$$

f : Gütefaktor von 1 (ideal) bis 5 (behindert)
L: Luftwechselzahl



- ◆ Wie schnell wird ein mit Brennstoff gefüllter Raum durch die Lüftung gespült?

Beharrungszeit t:

$$t = -\frac{f}{L} \cdot \ln\left(\frac{c_{UEG} \cdot k}{c_0}\right)$$

c_0 : maximale Brennstoffkonzentration



◆ **Starke Lüftung**

- Konzentration augenblicklich reduziert (unter UEG)
- V_z vernachlässigbar ($< 0,1 \text{ m}^3$)
- = kein explosionsgefährdeter Bereich

◆ **Mittelstarke Lüftung**

- Lüftung kann Konzentration regeln,
- V_z beherrschbar (unter Anlagen- bzw. Raumvolumen)
- Beharrungszeit gering ($< 1 \text{ h/a}$)
- = Freisetzungsgrad bestimmt die Zone

◆ **Geringe Lüftung**

- keine Regelung der Konzentration
- hohe Beharrungszeit
- = Zuweisung einer kritischeren Zone



◆ **gut:**

- **ständig vorhanden**
 - Freianlage: 0,5 m/s können vorausgesetzt werden
 - technische Lüftung:
 - Reservegebläses
 - Vermeidung der Freisetzung

◆ **ausreichend:**

- bei bestimmungsgemäßem Betrieb als vorhanden erwartet
- Ausfälle selten und kurzzeitig = Überwachung erforderlich

◆ **gering:**

- Niveau von gut und ausreichend wird nicht erreicht
- Unregelmäßigkeiten über lange Zeiträume



Zoneneinteilung nach EN 60079 - 10 (VDE 165, Teil 101)

		Lüftung						
		Lüftungsgrad			Lüftungsverfügbarkeit			
		Starke Lüftung		Mittelstarke Lüftung		Geringe Lüftung		
Freisetzung	Lüftungsgrad		Lüftungsverfügbarkeit		Lüftungsgrad		Lüftungsverfügbarkeit	
	gut	ausreichend	gering	gut	ausreichend	gering	gut	ausreichend gering
Dauerstufe (Zone 0)	nicht-gefährdet	Zone 2	Zone 1	Zone 0	Zone 0 + Zone 2	Zone 0 + Zone 1	Zone 0	
Primärstufe (Zone 1)	nicht-gefährdet	Zone 2	Zone 2	Zone 1	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 o. Zone 0 (*)	
Sekundärstufe (Zone 2)	nicht-gefährdet	nicht-gefährdet	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 1 o. Zone 0 (*)	

(*): Zone 0, wenn Lüftung so schwach und Freisetzung derart, dass in der Praxis eine praktische Dauerstufe besteht ("keine Lüftung")



Beispiele für eine Reduktion der Zoneneinteilung durch „starke Lüftung“

- ◆ **Lokales, technisches Lüftungssystem um eine Quelle:**
 - **Objektabsaugung**

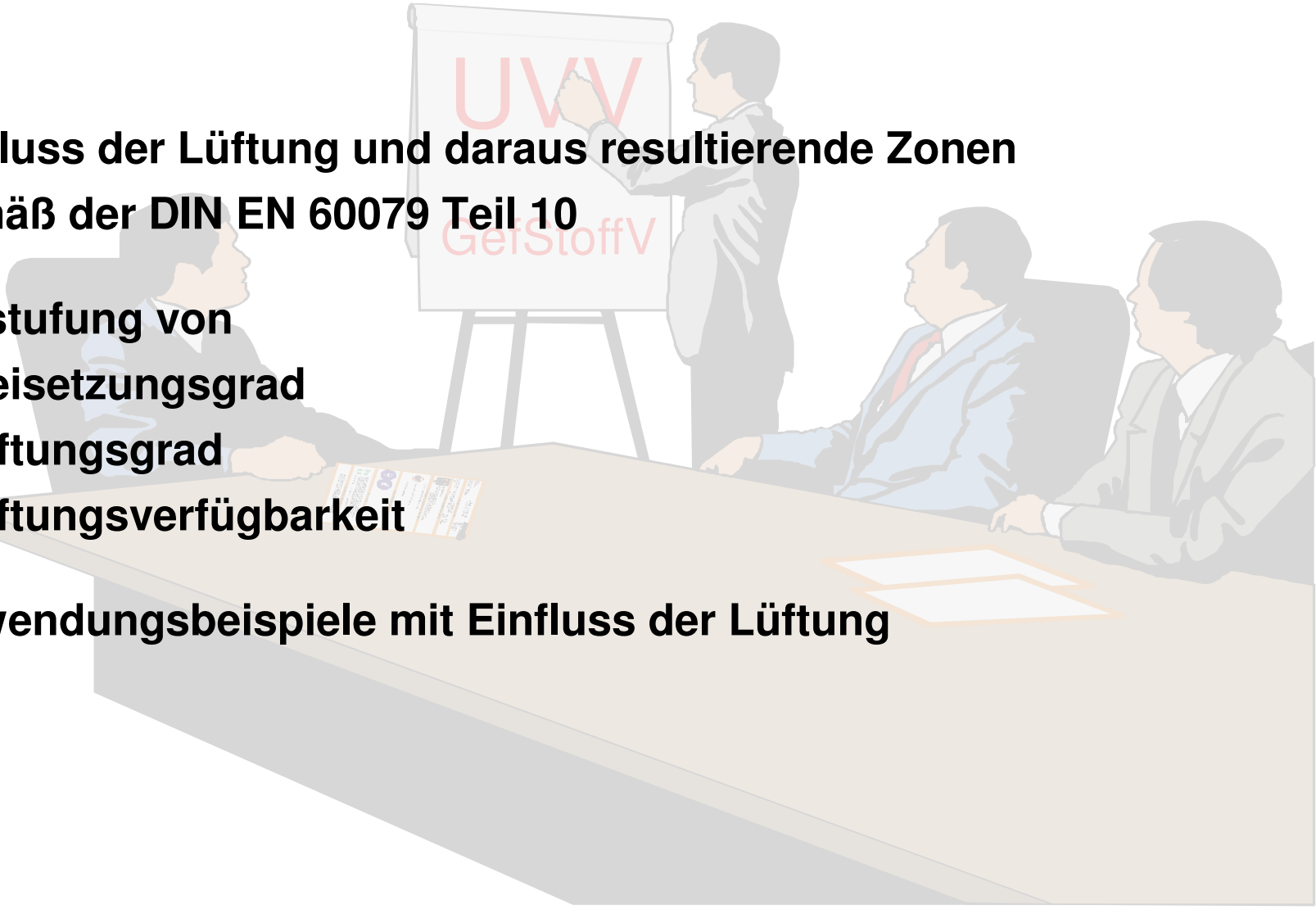
- ◆ **Kleine umschlossene Bereiche:**
 - **Abzüge**
 - **Lackierwerke**

- ◆ **Sehr niedrige Freisetzungsraten:**
 - **Probennahme mit geringer Menge**
 - **Labor**
 - **geringfügige Flammpunktsüberschreitung**



- ◆ **Vielzahl von Freisetzungsorten und Freisetzungsquellen**
- ◆ **Lüftung wirkt nicht spezifisch für einzelne Freisetzungspunkte**
- ◆ **Aufsummierung über Bereich erforderlich**
- ◆ **Raumunterteilung (vertikal/horizontal) bei entsprechender Lüftung möglich**



- 
- ◆ **Einfluss der Lüftung und daraus resultierende Zonen gemäß der DIN EN 60079 Teil 10**
 - ◆ **Einstufung von**
 - **Freisetzungsgrad**
 - **Lüftungsgrad**
 - **Lüftungsverfügbarkeit**
 - ◆ **Anwendungsbeispiele mit Einfluss der Lüftung**

