



Brand- und Explosionsgefahren durch binäre Gasgemische 2. Stuttgarter Sachverständigentag

Dr.-Ing. Henry Portz – Dipl.-Ing. für Brandschutz
Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für vorbeugenden Brandschutz,
Brandbekämpfung, Explosionsschutz und Brand- und Explosionsursachen
vom Eisenbahn-Bundesamt anerkannter Prüfer für brandschutztechnische Nachweise

November 2007

1



Wasserstoff-Sauerstoff-Gemische

Wasserstoff ist leichter als Luft und steigt nach oben.



Technische Anlagen für die Absaugung von
wasserstoffhaltiger Atmosphäre haben meist obenliegende
Absaugöffnungen.



Was ist aber mit Wasserstoff-Sauerstoff-Gemischen,
welche z. B. in einer elektrolytischen Verzinkung entstehen?

2

Berechnungen zur Dichte von Wasserstoff-Sauerstoff Gemischen



$$\rho_{Gem} = \frac{m_{Gem}}{V_{Gem}} = \frac{m_{O_2} + m_{H_2}}{V_{O_2} + V_{H_2}} \rightarrow \frac{\rho_{Gem}}{kgm^{-3}} = 1,42912 - 1,33924 \cdot \frac{c_{H_2}}{Vol.-Anteile}$$

Dichte an der unteren Explosionsgrenze

$$c_{H_2} = 0,04 \text{ Vol.-Anteile}$$

$$\rho_{H_2/O_2} = 1,3756 \text{ kgm}^{-3}$$

$$(\rho_L = 1,2928 \text{ kgm}^{-3})$$

An der unteren Explosionsgrenze ist das Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch 6,4 % schwerer als Luft!

Es sinkt nach unten!

Wasserstoffkonzentration bei gleicher Dichte wie Luft

$$\rho_{H_2/O_2} = \rho_L = 1,2928 \text{ kgm}^{-3}$$

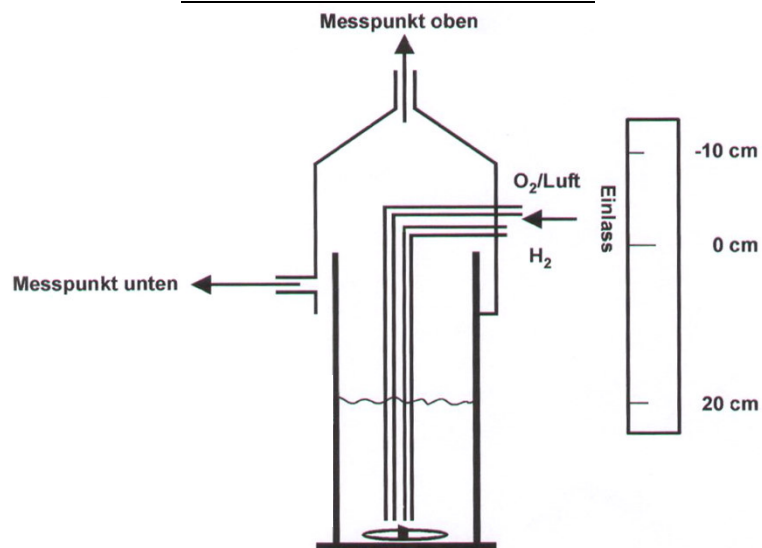
$$c_{H_2} = 0,1018 \text{ Vol.-Anteile}$$

Ein Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch mit weniger als 10,18 Vol.-% Wasserstoff ist schwerer als Luft!

Es sinkt nach unten!

3

Versuchsanordnung zur Prüfung der Bewegungsrichtung von Wasserstoff-Sauerstoff-Gemischen



4



| Konzentrationsprofil bei einer Wasserstoff-Ausgangskonzentration von 4,5 Vol.-% | H ₂ /O ₂ Wasserstoffkonzentration in Vol.-% | H ₂ /Luft Wasserstoffkonzentration in Vol.-% |
|---|---|---|
| Messpunkt oben | 0 | 2,5 |
| Messpunkt unten | 4,0 | 0 |
| Schlussfolgerung | ↓ | ↑ |

5

Schlussfolgerungen aus den Dichteuntersuchungen



Schlussfolgerungen aus:

- theoretischen Berechnungen
- Laboruntersuchungen
- Konzentrationssimulationen am Praxisbeispiel.

Obenliegende Abluftanlagen, die die schweren Wasserstoff-Sauerstoff-Gemische nicht erfassen, versagen.

6

Wasserstoff-Chlorwasserstoff-Gemische



Wasserstoff-Chlorwasserstoff-Gemische treten in der Praxis z. B. bei Auflösung von Metallen in Salzsäure und bei der Herstellung, Reinigung und Verarbeitung von Reinstsilicium auf.

Die Dichte-Konzentrations-Funktion lautet:

$$\frac{\rho_{Gem}}{kg \cdot m^{-3}} = 1,63856 - 1,54868 \cdot \frac{c_{H_2}}{Vol.-Anteile}$$

7



Ein Wasserstoff-Chlorwasserstoff-Gemisch mit der Dichte der Luft ($\rho_L = 1,2928 \text{ kg m}^{-3}$) besitzt eine Wasserstoffkonzentration von:

$$c_{H_2} = 0,2233 \text{ Vol.} - \text{Anteile}$$

Ein Wasserstoff-Chlorwasserstoff-Gemisch mit weniger als 22,3 Vol.-% Wasserstoff ist schwerer als Luft. Über 22,3 Vol.-% Wasserstoff ist das Wasserstoff-Chlorwasserstoff-Gemisch leichter als Luft.

8

Methan-Kohlendioxid-Gemische



Methan-Kohlendioxid-Gemische treten z. B. bei Biogas auf.

| Gasbestandteile | Volumenanteil in % |
|---------------------|--------------------|
| Methan | 40 - 75 |
| Kohlendioxid | 25 - 55 |
| Wasserdampf | 0 - 10 |
| Stickstoff | 0 - 5 |
| Sauerstoff | 0 - 2 |
| Wasserstoff | 0 - 1 |
| Ammoniak | 0 - 1 |
| Schwefelwasserstoff | 0 - 1 |

9



Die Hauptkomponenten bestehen aus Methan und Kohlendioxid. Vereinfacht werden im Folgenden nur diese beiden betrachtet.

Die Dichte-Konzentrations-Funktion lautet daher:

$$\frac{\rho_{Gem}}{kg \cdot m^{-3}} = 1,97700 - 1,25956 \cdot \frac{c_{CH_4}}{Vol. - Anteile}$$

10



Das Methan-Kohlendioxid-Gemisch besitzt bei der Luftdichte ($\rho_L=1,2928\text{kg m}^{-3}$) folgende Konzentration:

$$c_{CH_4} = 0,5432 \text{ Vol.} - \text{Anteile}$$

Methan-Kohlendioxid-Gemische mit 0...54,3 Vol.-% Methan sind schwerer als Luft. Über 54,3 Vol.-% Methan sind sie leichter als Luft.

11



In Biogasanlagen liegen ca. 40 bis 75 Vol.-% Methan und 25 bis 55 Vol.-% CO_2 vor. Daraus errechnet sich folgende Konzentration in Methan-Kohlendioxid-Gemischen:

$$c_{CH_4} = \frac{(40...75)}{(40...75) + (55...25)} = 0,421...0,75 \text{ Vol.} - \text{Anteile}$$

$$c_{CH_4} = 42,1...75 \text{ Vol.} - \%$$

Methan-Kohlendioxid-Gemische in Biogasanlagen sind je nach Konzentration leichter oder schwerer als Luft.

12

Alkohol-Wasserdampf-Gemische



Alkohol-Wasserdampf-Gemische kommen insbesondere im Bereich der Spirituosenherstellung und Verarbeitung vor.

Die Dichte-Konzentrations-Funktion lautet:

$$\frac{\rho_{Gem}}{kg \cdot m^{-3}} = 2,05656 - 1,25232 \cdot \frac{c_{H_2O}}{Vol. - Anteile}$$

13



Das Wasser-Ethanol-Dampfgemisch hat bei einer Luftdichte von $\rho_L = 1,2928 \text{ kgm}^{-3}$ folgende Wasserdampfkonzentration:

$$c_{H_2O} = 0,6099 \text{ Vol.} - \text{Anteile}$$

Bei Luftdichte hat das Gemisch eine Konzentration von 61 Vol.-% Wasserdampf und 39 Vol.-% Ethanol Dampf. Ein Ethanol Dampf-Wasserdampf-Gemisch mit weniger als 39 Vol.-% Ethanol ist leichter als Luft. Ein Gemisch mit mehr als 39 Vol.-% Ethanol ist schwerer als Luft.

14

Zusammenfassung



Binäre Gas- oder Dampfgemische, bei denen eine Komponente leichter, die andere schwerer als Luft ist, können in der Praxis zur Fehleinschätzung hinsichtlich der Dampfdichte führen. Dadurch können Fehler in der Auslegung des Explosionsschutzes und damit Explosionen entstehen.

Für die Explosionsursachenermittlung stellt dies ebenfalls eine Fehlerquelle dar.

15



Solche Gemische bestehen z. B. aus:

- Wasserstoff und Sauerstoff
- Wasserstoff und Chlorwasserstoff
- Methan und Kohlendioxid
- Ethanoldampf und Wasserdampf.

Bei solchen Gemischen muss der gesamte Konzentrationsbereich, der im konkreten Anwendungsfall vorliegt, festgestellt werden, damit die Dichte klar beurteilt werden kann. Erst dann lässt sich feststellen, ob das Gemisch nach oben oder nach unten strömt und wo es eine Explosionsgefahr darstellt.

16