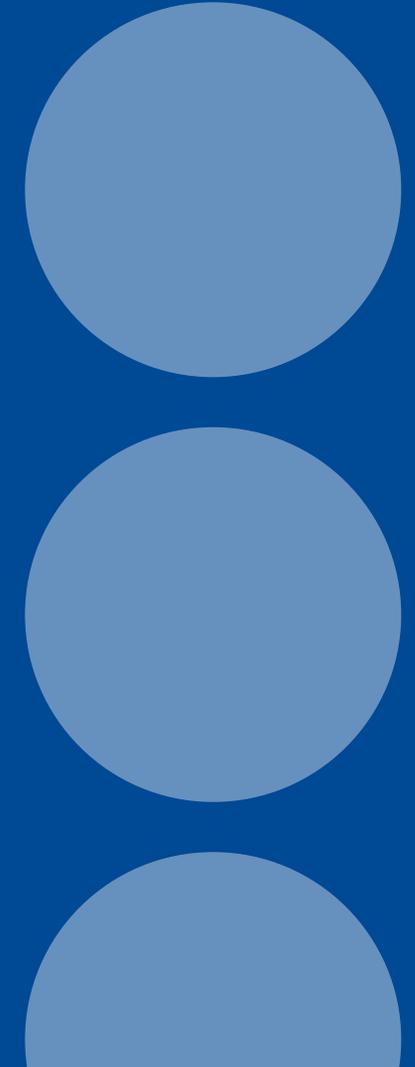


# Wasserstoffbildung in Galvanik- und Anodisieranlagen –

Explosionsschutzkonzept und Zoneneinteilung  
für explosionsgefährdete Bereiche

FV „Erfahrungsaustausch betrieblicher  
Explosionsschutz“, Nümbrecht, 24./25.03.2025

Dr. Andreas Voßberg, Fachreferent Galvanik, DGUV  
Fachbereich Holz und Metall



# Agenda

1. Explosionsschutzkonzept für Galvanik- und Anodisieranlagen
2. Verfahren mit explosionsgefährdeten Bereichen
3. Berechnungsgrundlagen
4. Zoneneinteilung anhand der Wasserstoffkonzentration
5. Systematische Zoneneinteilung / Musterzonenpläne
6. Zusammenfassung / FBHM-122

# 1. Explosionsschutzkonzept für Galvanik- und Anodisieranlagen

## Anlass für ein Explosionsschutzkonzept:

- Gefährdungsbeurteilung ergibt eine Gefährdung durch Explosionen.

## Inhalte des Explosionsschutzkonzepts:

- Ermittlung der Bereiche, in denen mit der Entstehung explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen ist,
- Beurteilung der Explosionsgefahr in diesen Bereichen, Einteilung in explosionsgefährdete Bereiche, ggf. Einstufung als Ex-Zone,
- Festlegung und Durchführung der erforderlichen Schutzmaßnahmen.

# 1. Explosionsschutzkonzept für Galvanik- und Anodisieranlagen

## Explosionsschutzkonzept nach Produktnorm DIN EN 17059 : 2018

„Galvanik- und Anodisieranlagen – Sicherheitsanforderungen“:

- Technische Lüftung nach dem Stand der Technik ausgelegt und überwacht:
  - Auslegung nach Abschnitt 4.6.1.3 „Technische Lüftung (Zuluft- und Abluftsysteme).“
  - Elektrochemische Prozesse:  
Verriegelung der Stromversorgung des Galvanikprozesses mit technischer Lüftung nach Abschnitt 4.9 „Sicherheitsanforderungen an Steuerungen“.
  - Chemische Prozesse:  
Stoppen der Wasserstoff-Bildung durch Maßnahmen nach Abschnitt 4.6.1.3 (s.o.) (Herausfahren der Ware) oder Abschnitt 4.7.5 „Brandlast“ (Ablass der Prozessmedien).

# 1. Explosionsschutzkonzept für Galvanik- und Anodisieranlagen

## Explosionsschutzkonzept frühere Unfallverhütungsvorschrift VBG 57 (ab 01.01.1997)

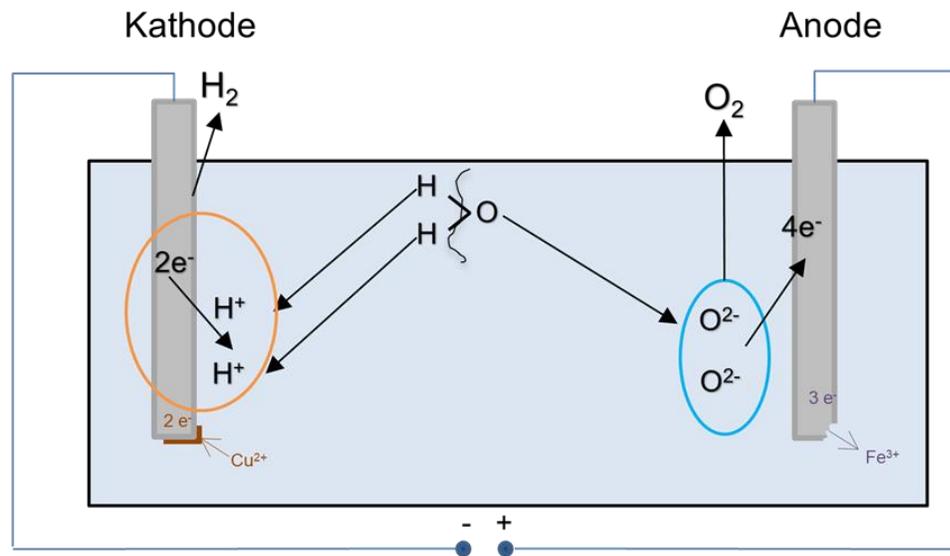
„Elektrolytische und chemische Oberflächenbehandlung: Galvanotechnik“:

- Absaugeinrichtungen bei Entwicklung gefährlicher explosionsfähige Atmosphäre,
  - Keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in betrieblichen Räumen,
  - Zufuhr von Frischluft in ausreichender Menge,
  - Warneinrichtung für Störungen an Lüftungstechnischen Anlagen.
- 
- Stand der Technik bzw. Nachrüstverpflichtungen nach BetrSichV beachten!

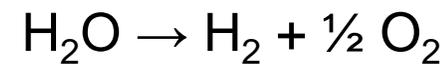
## 2. Verfahren mit explosionsgefährdeten Bereichen

### Elektrochemische Verfahren:

- Wasserstoff-Entwicklung an der Kathode durch Reduktion der H<sup>+</sup>-Ionen.
- Sauerstoffentwicklung an der Anode durch Oxidation der O<sup>2-</sup>-Ionen.



Schematische Darstellung  
der Elektrolyse von Wasser:



## 2. Verfahren mit explosionsgefährdeten Bereichen

### Elektrochemische Verfahren:

- **Wasserstoffentwicklung** als Nebenreaktion bei Beschichtungsverfahren (Metallauftrag).
  - Elektrisches Potential des Warenträgers (Polung) und damit der Werkstücke:
    - Warenträger als Kathode (Metallauftrag) → kathodischer Prozess
    - Warenträger als Anode (Metallabtrag) → anodischer Prozess.

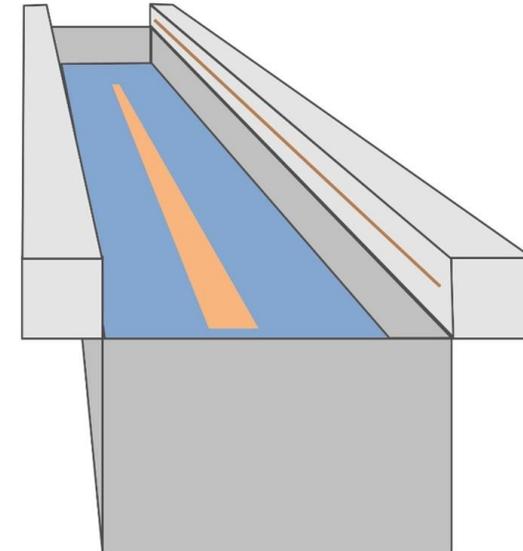
### Chemische, außenstromlose Verfahren:

- **Wasserstoffentwicklung** aufgrund chemischer Reaktionen:
  - Beizen → Reaktion der Säure mit Metalloxiden
  - Chemisches Vernickeln → Reaktion des Aktivators mit der Werkstoffoberfläche.

## 2. Verfahren mit explosionsgefährdeten Bereichen

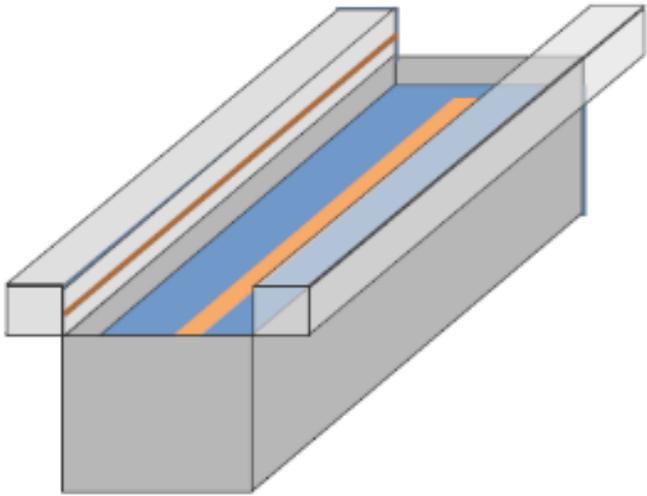


Prozessbehälter zum Glanzverchromen, Wasserstoffentwicklung am Warenträger, Netzmittel auf dem Elektrolyten.



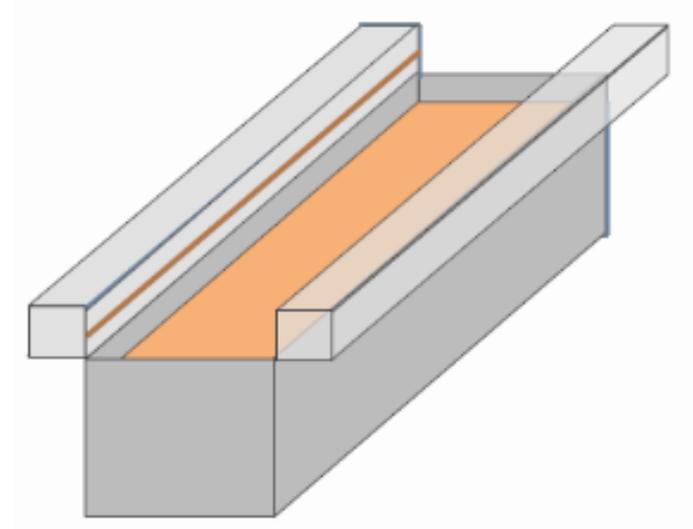
Schema des Prozessbehälters, kathodischer Prozess mit lokalisierter Wasserstoffbildung am Warenträger.

## 2. Verfahren mit explosionsgefährdeten Bereichen



### **Kathodische Prozesse:**

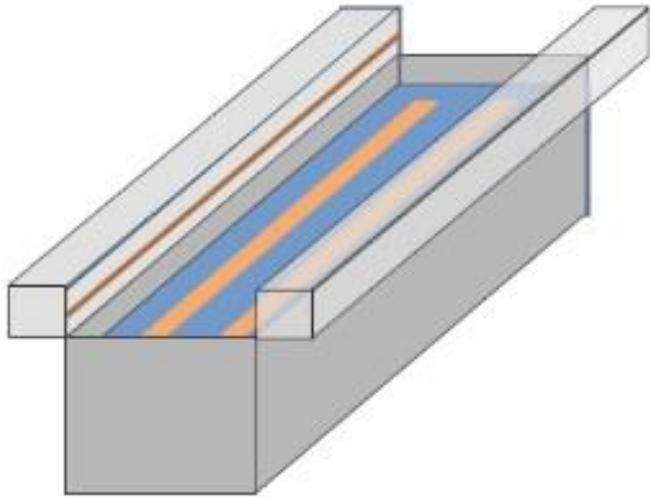
Lokalisierte H<sub>2</sub>-Entwicklung mittig am/über dem Warenträger (orangegefärbte Fläche).



### **Kathodische Prozesse:**

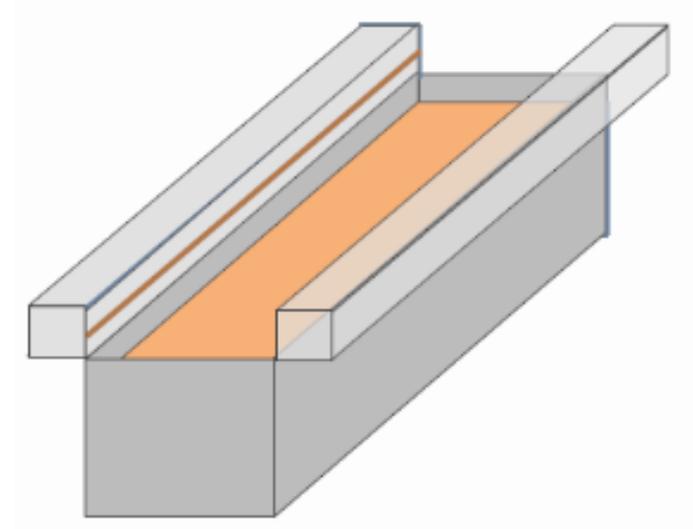
H<sub>2</sub>-Entwicklung über die gesamte Elektrolyt-Oberfläche verteilt (orangegefärbte Fläche).

## 2. Verfahren mit explosionsgefährdeten Bereichen



### Anodische Prozesse:

Lokalisierte  $H_2$ -Entwicklung an/über beiden Rand-elektroden (orangegefärbte Fläche).



### Anodische Prozesse:

$H_2$ -Entwicklung über die gesamte Elektrolyt-Oberfläche verteilt (orangegefärbte Fläche).

## 2. Verfahren mit explosionsgefährdeten Bereichen

| Vorbehandlungsverfahren                 | kathodischer / anodischer Prozess |
|---|-----------------------------------|
| Polieren, Glänzen, chemisches Entgraten | Anodisch                          |
| Elektrolytische Entfettung              | kathodisch / anodisch             |
| Beizen                                  | -                                 |
| <b>Oberflächenbehandlung</b>            |                                   |
| Hartverchromen                          | kathodisch                        |
| Glanzverchromen                         | kathodisch                        |
| Chemisches Vernickeln                   | -                                 |
| Galvanisches Vernickeln                 | kathodisch                        |
| Cyanidisches Verkupfern                 | kathodisch                        |
| Saures Verkupfern                       | kathodisch                        |
| Cyanidisches Verzinken                  | kathodisch                        |
| Alkalisches Verzinken                   | kathodisch                        |
| Vergolden                               | kathodisch                        |
| Versilbern                              | kathodisch                        |
| Sauer Verzinnen                         | kathodisch                        |
| Alkalisches Verzinnen                   | kathodisch                        |
| Eloxieren                               | anodisch                          |
| <b>Nachbehandlung</b>                   |                                   |
| Entmetallisieren                        | anodisch                          |
| Nachtauchlösungen                       | -                                 |

### 3. Berechnungsgrundlagen

#### Wasserstoff-Bildungsrate an der Kathode (Faraday'sche Gleichung):

$$\dot{V}_{H_2} = 4,5 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{m^3}{A \cdot h} \cdot I \cdot (1 - \mu)$$

|                          |                                     |
|--------------------------|-------------------------------------|
| Wasserstoffvolumenstrom: | $\dot{V}_{H_2}$ [m <sup>3</sup> /h] |
| Stromstärke:             | I [A]                               |
| Stromausbeute:           | $\mu$ [-]                           |

#### Sauerstoff-Bildungsrate an der Anode (Faraday'sche Gleichung):

$$\dot{V}_{O_2} = 2,242 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{m^3}{A \cdot h} \cdot I \cdot (1 - \mu)$$

|                         |                                     |
|-------------------------|-------------------------------------|
| Sauerstoffvolumenstrom: | $\dot{V}_{O_2}$ [m <sup>3</sup> /h] |
| Stromstärke:            | I [A]                               |
| Stromausbeute:          | $\mu$ [-]                           |

Menge an gebildeten Sauerstoff gegenüber 20 Vol-% O<sub>2</sub> Umgebungsluft vernachlässigbar.

## 3. Berechnungsgrundlagen

### Resultierende Wasserstoff-Konzentration bei lufttechnischen Maßnahmen

- Durch Absaugung  $\dot{V}'_{ab}$  wird der an der Kathode entstehende Wasserstoff  $\dot{V}'_{H_2}$  verdünnt; er vermischt sich mit der abgesaugten Luft.
- Resultierende Wasserstoffkonzentration  $x_{H_2}$  [Vol-%] nach vollständiger Mischung mit der abgesaugten Luftmenge:

$$x_{H_2} = \frac{\dot{V}_{H_2}}{\dot{V}_{H_2} + \dot{V}_{ab}} * 100 \%$$

Wasserstoffkonzentration:  $x_{H_2}$  [Vol.%]

Wasserstoffvolumenstrom  $\dot{V}_{H_2}$  [m<sup>3</sup>/h]

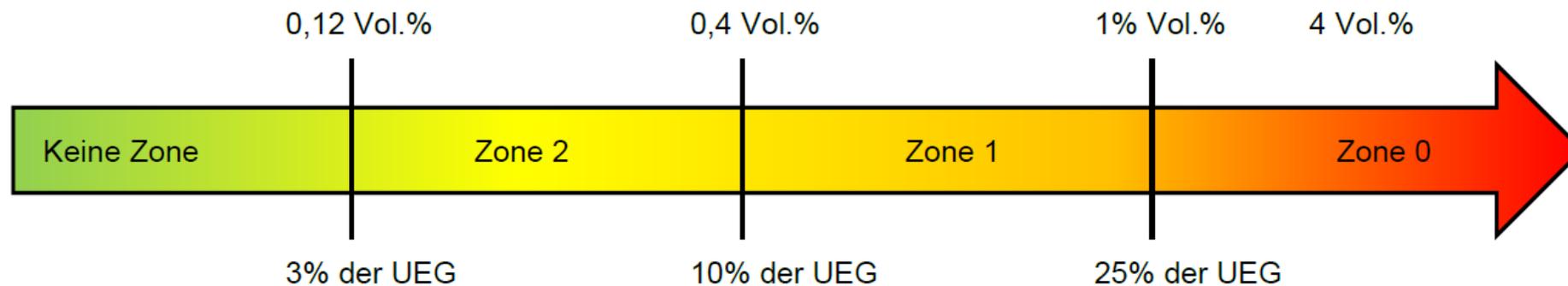
Abgesaugter Volumenstrom  $\dot{V}_{ab}$  [m<sup>3</sup>/h]

- Erforderliche Absaugvolumenströme  $\dot{V}'_{ab}$  nach heutigem Stand der Technik bestimmt, d.h. nach Anhang D und E der DIN EN 17059 : 2018 berechnet.

## 4. Zoneneinteilung anhand der Wasserstoffkonzentration

### Bedingungen für die Zoneneinteilung)\*:

- Randbedingungen für die Wasserstoffentwicklung (Verfahrensparameter) und
- Überwachte technische Lüftung nach DIN EN 17059 (Schutzmaßnahmen):



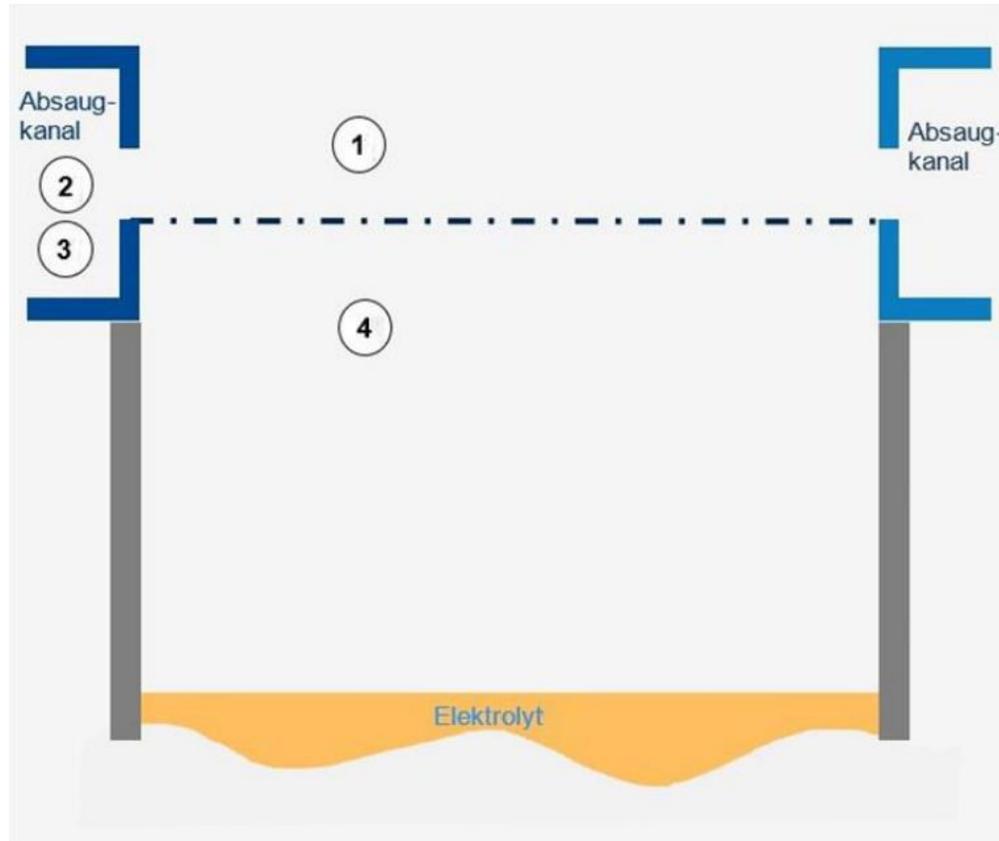
### angenommene Zoneneinteilung)\* in Abhängigkeit der Wasserstoff-Konzentration

## 5. Systematische Zoneneinteilung / Musterzonenpläne

### Durchführung der CFD- (Computational Fluid Dynamics) Simulationen:

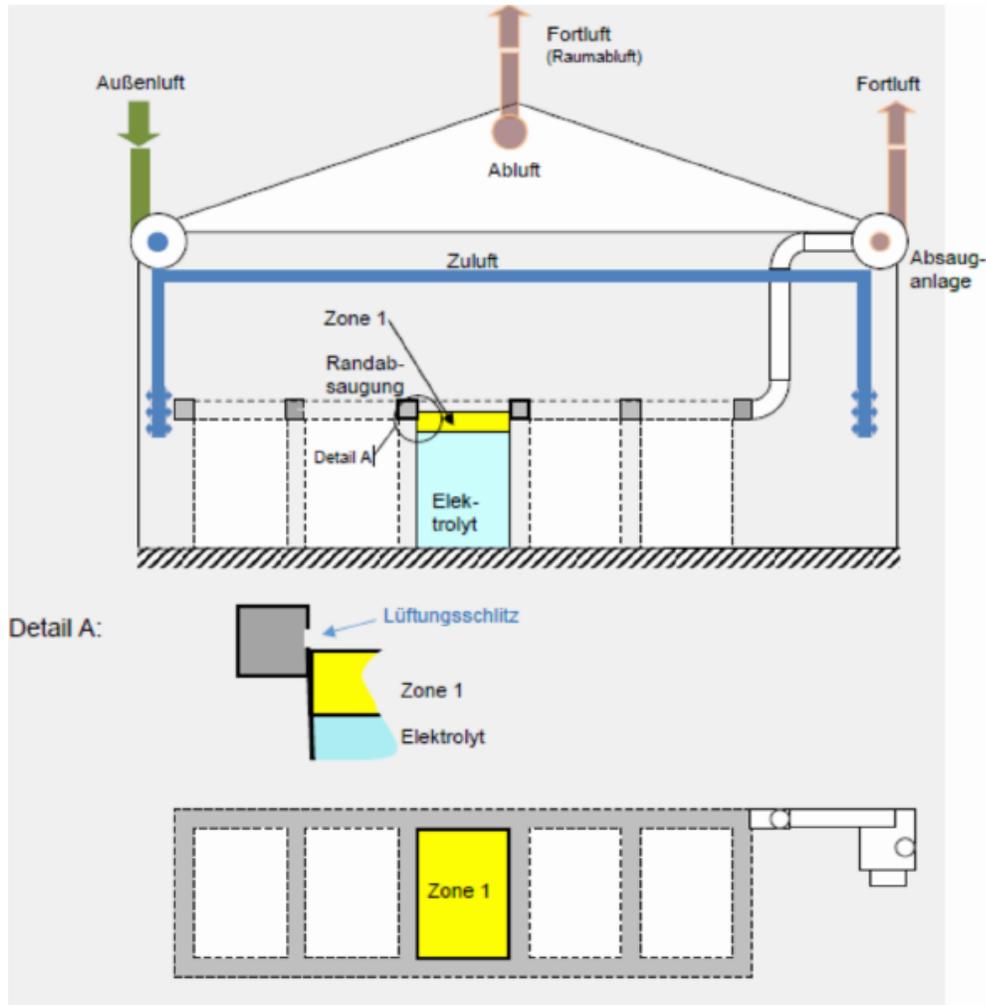
- Berechnung der Wasserstoffbildungsrate für die relevanten Verfahren (Abschnitt 2).
- Abluftvolumenstrom nach DIN EN 17059 : 2018 berechnet (Abschnitt 3):
  - Definition eines Standard-Prozessbehälters,
  - Offener und abgedeckter Prozessbehälter,
  - Einseitige und zweiseitige Randabsaugung.
- Übergang Elektrolytoberfläche (Wasserstoffkonzentration  $x_{H_2} = 100\%$ ) und Bereich vollständige Mischung ( $x_{H_2}$ ) durch Computational Fluid Dynamics (CFD) berechnet und einer Zone zugeordnet (Abschnitt 4).

## 5. Systematische Zoneneinteilung / Musterzonenpläne



CFD-Berechnungen: betrachtete Bereiche im Prozessbehälter und im Lüftungssystem (Querschnitt):

1. Bereich oberhalb der unteren Kante der Erfassungsöffnung der Absaugung
2. Absaugkanal im Normalbetrieb
3. Absaugkanal bei Störung des Lüftungssystems
4. Bereich zwischen Elektrolytoberfläche und der unteren Kante der Erfassungsöffnung der Absaugung.

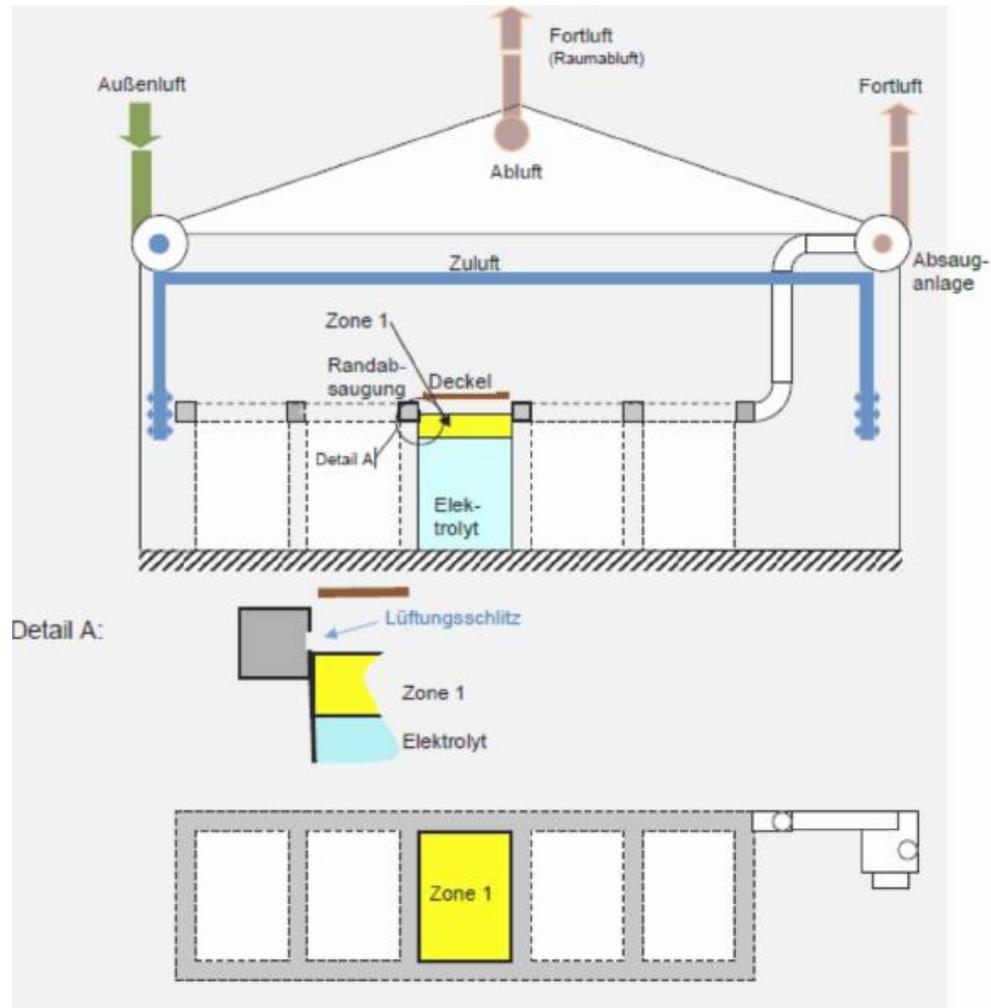


## Musterzonenplan 1:

**Offener Prozessbehälter mit Darstellung der explosions-gefährdeten Bereiche (Zone 1) innerhalb des Prozessbehälters.**

**Es gibt keine explosionsgefährdeten Bereiche außerhalb der Prozessbehälter.**

(Elektrochemische Vorbehandlungs- und Oberflächenbehandlungs-verfahren, s. Abschnitt 2.)



## Musterzonenplan 2:

**Geschlossener Prozessbehälter mit Darstellung der explosionsgefährdeten Bereiche (Zone 1) innerhalb des Prozessbehälters.**

**Es gibt keine explosionsgefährdeten Bereiche außerhalb der Prozessbehälter.**

(Elektrochemische Vorbehandlungs- und Oberflächenbehandlungsverfahren, s. Abschnitt 2.)

## 6. Zusammenfassung / FBHM-122 / Ausblick

1. Explosionsschutzkonzept für Galvanik- und Anodisieranlagen
2. Verfahren mit explosionsgefährdeten Bereichen
3. Berechnungsgrundlagen
4. Zoneneinteilung anhand der Wasserstoffkonzentration
5. Systematische Zoneneinteilung / Musterzonenpläne

→ Projektergebnisse in der Fachbereich Aktuell FBHM-122:

*„Hilfestellungen zum Explosionsschutzkonzept und zur Zoneneinteilung für explosionsgefährdete Bereiche verschiedener Verfahren in Galvanik- und Anodisieranlagen.“*

# 6.



**DGUV**  
Fachbereich Holz und Metall  
Berufsgenossenschaft  
Holz und Metall

**Fachbereich AKTUELL**
FBHM-122

**Hilfestellungen zum Explosionsschutzkonzept und zur Zoneneinteilung für explosionsgefährdete Bereiche verschiedener Verfahren in Galvanik- und Anodisieranlagen**

Sachgebiet Oberflächentechnik  
Stand: 31.03.2022

Aufgrund der in Galvanik- und Anodisieranlagen eingesetzten Gefahrstoffe und der verwendeten Verfahren können innerhalb und im Umfeld dieser Anlagen explosionsfähige Gemische entstehen, die zu Gefährdungen durch Explosionen führen können. Daher ist im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung gemäß § 6 Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [1] ein Explosionsschutzdokument für Galvanik- und Anodisieranlagen zu erstellen.

Schutzmaßnahmen für den sicheren Betrieb von Galvanik- und Anodisieranlagen bei vorhandenen Gefährdungen durch Explosionen werden für die Betreiber in der DGUV Regel 109-602 „Branche Galvanik“ [2] und für die Hersteller in der Produktnorm DIN EN 17059:2018 „Galvanik- und Anodisieranlagen – Sicherheitsanforderungen“ [3] beschrieben.

Bislang gibt es nur ein publiziertes Muster eines Explosionsschutzdokuments, das sich konkret auf das Verfahren „Hartverchromen“ in Galvanikanlagen bezieht.

Eine systematische Hilfestellung zum Explosionsschutzkonzept und zur Zoneneinteilung für explosionsgefährdete Bereiche verschiedener Verfahren in Galvanik- und Anodisieranlagen fehlt bislang.

Diese „Fachbereich AKTUELL“ gibt diese Hilfestellung zum Explosionsschutzkonzept und zur Zoneneinteilung unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Modellierung.

**1 Anforderungen an Explosionsschutzdokumente/rechtliche Grundlagen**

Hat die Gefährdungsbeurteilung ergeben, dass eine Gefährdung durch Explosionen besteht, hat der Arbeitgeber oder die Arbeitgeberin entsprechend § 6 (9) GefStoffV ein Explosionsschutzdokument zu erstellen.

**Inhaltsverzeichnis**

- 1 **Anforderungen an Explosionsschutzdokumente/rechtliche Grundlagen** ..... 1
- 2 **Explosionsschutzdokumente** ..... 2
- 3 **Relevante Verfahren mit explosionsgefährdeten Bereichen** ..... 4
- 4 **Modelle von Prozessbehältern mit Wasserstoffentwicklung** ..... 5
- 5 **Berechnungsgrundlagen** .. 8
- 6 **Beispiele für eine systematische Zoneneinteilung** ..... 12
- 7 **Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen** ..... 25

1/40

**Veröffentlichung in der DGUV Datenbank unter:**  
[publikationen.dguv.de/DguvWebcode?query=p022265](http://publikationen.dguv.de/DguvWebcode?query=p022265)

**Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit.**

