

1 Grundsätzliches

1.1 Voraussetzungen für eine Explosion

Damit eine Explosion¹ erfolgen kann, müssen folgende Voraussetzungen zur selben Zeit am gleichen Ort erfüllt sein:

- Vorhanden einer wirksamen Zündquelle²
- Vorhandensein einer (gefährlichen) explosionsfähigen Atmosphäre³ (Sauerstoff und brennbarer Stoff)

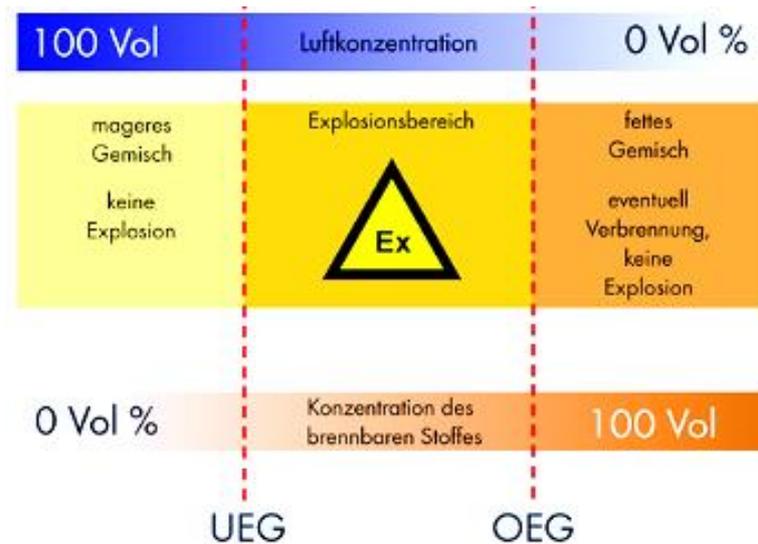


Abb. 1-1
Voraussetzungen für eine Gasexplosion

Liegt die Temperatur der brennbaren Flüssigkeit sicher und dauerhaft um 5 bis 15 K unterhalb des Flammpunktes, ist kein Explosionsschutz erforderlich. Der **Flammpunkt** ist die niedrigste Temperatur einer Flüssigkeit, bei der sich brennbare Gase oder Dämpfe in solchen Mengen entwickeln, dass bei Kontakt mit einer wirksamen Zündquelle sofort eine Flamme auftritt.

Als Zündquellen kommen in Frage:

- heiße Oberflächen
- Flammen und heiße Gase
- mechanisch erzeugte Funken
- elektrostatische Entladungen
- elektrische Anlagen

¹ Eine Explosion ist ein schnell ablaufende chemische Reaktion eines brennbaren Stoffes, bei der grosse Energiebe-träge umgewandelt und freigesetzt werden.

² Eine „wirksame Zündquelle“ liegt dann vor, wenn sie genügend Energie an die explosionsfähige Atmosphäre abge-ben kann, damit eine autonome Verbrennung einsetzt.

³ Unter einer explosionsfähigen Atmosphäre versteht man ein Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben unter atmosphärischen Bedingungen, wo sich der Verbrennungsvorgang nach erfolgter Zün-dung in schneller Folge auf das restliche unverbrannte Gemisch überträgt. Als gefährliche explosionsfähige Atmo-sphäre wird eine solche bezeichnet, die bei Explosion zu Schaden führt.

1.2 Sinn und Zweck des Explosionsschutzes

Ziel des Explosionsschutzes ist die Verhinderung einer Explosion mittels technischer und organisatorischer Massnahmen, um so die Gesundheit und Sicherheit der Arbeitnehmer zu gewährleisten und mögliche Schäden an Gebäudeteilen, Anlagen und Maschinen zu verhindern.

- Verhinderung der Bildung explosionsfähiger Atmosphären
- Vermeidung der Zündung explosionsfähiger Atmosphären
- Abschwächung der schädlichen Auswirkungen einer Explosion

Zur Erkennung und Abwehr von Explosionsgefährdungen sind erforderlich:

- Gefahrenermittlung, Risikoabschätzung
- Zonenpläne, Explosionsschutzkonzept und Explosionsschutzdokument

Die Explosionsschutzmassnahmen müssen nach VGSEB⁴ und VUV⁵ konsequent angewandt werden auf Arbeitsmittel und Arbeitsumgebung.

2 Grundlegende Schutzmassnahmen

In explosionsgefährdeten Bereichen sind immer Schutzmassnahmen erforderlich.

2.1 Primäre Massnahmen

Verhinderung der Bildung von gefährlichen explosionsfähigen Atmosphären:

- Suchen von Ersatzstoffen
- Unterschreitung der Sauerstoffgrenzkonzentration
- Be- und Entlüftung

2.2 Sekundäre Massnahmen

Vermeiden wirksamer Zündquellen durch:

- Konstruktive Massnahmen an der Apparatur resp. dem Betriebsmittel, zur Vermeidung des Wirksamwerdens einer Zündquelle.

2.3 Tertiäre Massnahmen

Begrenzen möglicher Explosionsauswirkungen auf ein annehmbares Maß durch konstruktive Massnahmen.

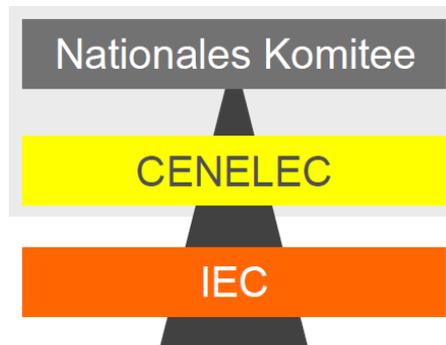
- Explosionsdruckfeste Bauweise
- Explosionsunterdrückung
- Explosionstechnische Entkopplung

⁴ VGSEB = Verordnung über Geräte und Schutzsysteme zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen.

⁵ VUV = Verordnung über die Unfallverhütung.

3 ATEX-Richtlinien

ATEX ist ein Akronym für **ATmosphère EXplosive**, für explosionsfähige Atmosphären also.



Bevor die Normen in Nationales Recht übergehen, werden sie von den Normierungsgremien IEC⁶ und CENELEC⁷ bearbeitet.

Abb. 3-1
Normierungshierarchie

3.1 ATEX 114

Bis zum 20. April 2016 war die Richtlinie 94/9/EG (auch als *ATEX 95* bezeichnet) in Kraft. Die neue Richtlinie 2014/34/EU (häufig als *ATEX 114* bezeichnet) gilt für Hersteller, Händler und Einführer von Geräten, Komponenten und Schutzsystemen, die für die Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen in Verkehr gebracht werden. Für Konstrukteure, Planer, Anwender und Betreiber ist dabei wesentlich, dass die neue Richtlinie keine weitergehenden Anforderungen an den konstruktiven Explosionsschutz stellt.

► **Directive 2014/34/EU** → Hersteller-Richtlinie, Maximalanforderungen an Geräte

Betrifft Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemässen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen. Grundsätzlich muss der Hersteller (Inverkehrbringer) eines Produktes bei der Anbringung des CE-Kennzeichens und der Erstellung der EG-Konformitätserklärung den zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens geltenden Stand der Technik berücksichtigen.

► Mit der **CE-Kennzeichnung** erklärt der Hersteller, dass das Produkt den geltenden Anforderungen der Harmonisierungsrechtsvorschriften der Gemeinschaft genügt. Es handelt sich nicht um ein Qualitätszeichen, sondern um eine eigenverantwortliche Herstellerbestätigung bezüglich der Einhaltung der gesetzlich zulässigen Mindestanforderungen.

3.1.1 Dokumentation

Geräte, Schutzsysteme und Komponenten dürfen laut ATEX-Produktrichtlinie 94/9/EG nur mit entsprechender Produkteinformation in Verkehr gebracht werden. Betriebsmittel, Maschinen und Anlagen sind zusammen mit den erforderlichen Dokumenten auszuliefern.

Zum Minimalstandard einer technischen Dokumentation gehören:

- ATEX-Richtlinien 2014/34/EU und 1999/92/EG,
- Betriebsanleitung
- EG-Konformitätserklärung (wenn erforderlich)
- EG-Baumusterprüfbescheinigung (wenn erforderlich)

⁶ IEC = International Electrotechnical Commission

⁷ CENELEC = Comité Européen de Normalisation Électrotechnique

- Verordnungen (ExVO, GefStoffV, BetrSichV) und Technische Regeln (TRGS, TRBS)

► Mit der **EG-Konformitätserklärung** bestätigt der Hersteller, dass ein von ihm in Verkehr gebrachtes Produkt konform mit den grundlegenden Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen der dafür in Frage kommenden EU-Richtlinien ist. Die EG-Konformitätserklärung ist Voraussetzung für die CE-Kennzeichnung des entsprechenden Produktes.

► Die **Baumusterprüfung** ist das Verfahren, bei dem eine Konformitätsbewertungsstelle prüft und bestätigt, dass ein für die betreffende Produktion repräsentatives Muster den einschlägigen Vorschriften der Ex-Geräte-Richtlinie entspricht. Der Antrag auf Baumusterprüfung ist vom Hersteller oder seinem in der Schweiz niedergelassenen Vertreter bei einer Konformitätsbewertungsstelle seiner Wahl einzureichen. Für elektrische Geräte der Kategorien 1 und 2 (Geräte für die Zonen 0 und 1 bzw. 20 und 21) ist ein Konformitätsbewertungsverfahren mit EG-Baumusterprüfung durch eine akkreditierte Prüfstelle erforderlich. Für Geräte der Kategorie 3 (Geräte für die Zonen 2 bzw. 22) ist dies fakultativ.

3.2 ATEX 137

► **Directive 99/92/EG** → Betreiber-Richtlinie, Schutz der Mitarbeiter

Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können.

Innerhalb der explosionsgefährdeten Bereiche hat der Betreiber den Minimalstandard zum Schutz vor gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre einzuhalten. Nebst technischen Schutzmassnahmen gehören organisatorische dazu. Technische Schutzmassnahmen haben grundsätzlich Vorrang.

Es ist ein Zonenplan und ein Explosionsschutzdokument zu erstellen.

Zur Beurteilung der Explosionsrisiken gehören:

- Risikoabschätzung
- Risikobewertung
- Minimierung des Risikos

3.3 Umsetzung der Richtlinien

In der Schweiz erfolgt die Umsetzung von ATEX 95 resp. ATEX 137 auf der Grundlage der nachfolgenden Gesetze, Verordnungen und Richtlinien.

ATEX 114	ATEX 137
<p>STEG Bundesgesetz über die Sicherheit von technischen Einrichtungen und Geräten</p> <p>VGSEB Verordnung über Geräte und Schutzsysteme zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen</p>	<p>VUV Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten</p> <p>ASA RL 6508 Richtlinie über den Beizug von Arbeitsärzten und anderen Spezialisten der Arbeitssicherheit</p> <p>SUVA Merkblatt 2153 Grundsätze, Mindestvorschriften, Zonen</p> <p>EKAS-Richtlinien</p>

Art. 7 VGSEB verlangt vom Hersteller:

Wer ein Gerät, ein Schutzsystem oder eine Hilfseinrichtung in Verkehr bringt, muss eine Konformitätserklärung vorlegen können, aus welcher hervorgeht, dass das Gerät, das Schutzsystem oder die Hilfseinrichtung den grundlegenden Anforderungen entspricht und die Konformitätsbewertungsverfahren nach Artikel 10 durchgeführt wurden.

Art. 36 VUV verlangt vom Betreiber:

In Betrieben oder Betriebsteilen mit Explosions- oder Brandgefahr müssen die erforderlichen Massnahmen getroffen werden, damit die Arbeitnehmer vor diesen Gefahren geschützt sind.

In erweitertem Kontext gehören zum Regelwerk:

- **UVG** (Bundesgesetz über die Unfallversicherung)
- **ArG** (Arbeitsgesetz)
- **ArGV** (Verordnungen zum Arbeitsgesetz)

4 Zoneneinteilung

Explosionsgefährdete Bereiche sind nach Häufigkeit und Dauer des Auftretens bzw. Vorhandenseins gefährlicher explosionsfähiger Atmosphären in Zonen (Abb. 4-1) zu unterteilen.

Brennbare Stoffe	Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche	Gerätegruppe	Geräteklasse für EX-Atmosphäre	Wahrscheinlichkeit
Gase & Dämpfe	Zone 0	II	1G	ständig, langfristig oder häufig
	Zone 1	II	2G oder 1G	gelegentlich
	Zone 2	II	3G oder 2G oder 1G	wahrscheinlich nicht
Stäube	Zone 20	II	1D	ständig
	Zone 21	II	2D oder 1D	gelegentlich
	Zone 22	II	3D oder 2D	wahrscheinlich nicht

Abb. 4-1

ATEX-Zonen für Umgebungen mit explosiven Gasen und Stäuben

4.1 Gasexplosionsgefährdete Bereiche

Definitionen aus IEC 60079-10 weichen von den nachfolgenden im Wortlaut ab.

- ▶ **Zone 0** Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.
- ▶ **Zone 1** Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln bilden kann.
- ▶ **Zone 2** Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährlich explosionsfähigen Atmosphäre als

Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.

4.1.1 Zoneneinteilung im Inneren von Apparaten

Im Inneren von Lagerbehältern, die zur Atmosphäre offen sind und in denen Flüssigkeiten gelagert werden, die sich häufig oberhalb des Flammpunktes erwärmen, muss die Explosionszone 0 angesetzt werden. Die Explosionsgefahr kann durch eine Inertisierung mit Druckregelung verringert werden. Die Zone 1 kann erreicht werden, wenn durch zusätzliche Überwachungseinrichtungen die Eintrittswahrscheinlichkeit für das Auftreten eines explosiven Gemisches entsprechend der Definition für Zone 1 herabgesetzt werden kann (gelegentliches Auftreten).⁸

4.1.2 Zoneneinteilung in Räumen

Räume mit Apparaten oder Rohrleitungen, in denen sich Stoffe befinden, die mit der Luft ein explosionsfähiges Gemisch bilden können, müssen dann nicht als explosionsgefährdete Zonen betrachtet werden, wenn die Bauteile auf Dauer technisch dicht sind. Als technisch dichte statische Verbindung gelten geschweißte Ausführungen, Flanschverbindungen mit Nut und Feder oder Flachdichtflächen, wenn metallarmierte oder metallumfasste Dichtungen verwendet werden.⁹

4.2 Bereiche mit brennbarem Staub

Als explosionsgefährdet gelten Räume mit brennbaren Stäuben mit einer Partikelgröße unter 0,5 mm.

Definitionen aus IEC 61241-10 weichen von den nachfolgenden im Wortlaut ab.

- ▶ **Zone 20** Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.
- ▶ **Zone 21** Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub bilden kann.
- ▶ **Zone 22** Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.

5 Sicherheitsunterlagen

5.1 Risikoanalyse

Bei der Risikoanalyse ist eine systematische Vorgehensweise zu wählen. Folgende Aspekte sollen berücksichtigt werden:

- Erkennen der Explosionsgefahren
- Risikoabschätzung
- Risikobewertung
- Verringerung des Risikos

⁸ <https://de.wikipedia.org/wiki/Explosionsschutz>

⁹ Ebenda

5.2 Explosionsschutzdokument

Aus dem Explosionsschutzdokument müssen die folgenden Aspekte hervorgehen:

- Angaben des Betriebsbereiches und der Prozesse
- Ermittlung der Explosionsgefährdungen und deren Bewertung
- Vorkehrungen, die getroffen wurden, um Explosionen zu verhindern
- Einteilung der explosionsgefährdeten Bereiche in Zonen
- Sicherheitsmanagement

5.3 Zonenplan

Als Grundlage für Zonenpläne eignen sich Gebäudegrundrisse und/oder Anlagenzeichnungen. Im Zonenplan müssen die einzelnen Zonen unterscheidbar eingezeichnet sein (Abb. 5-1).

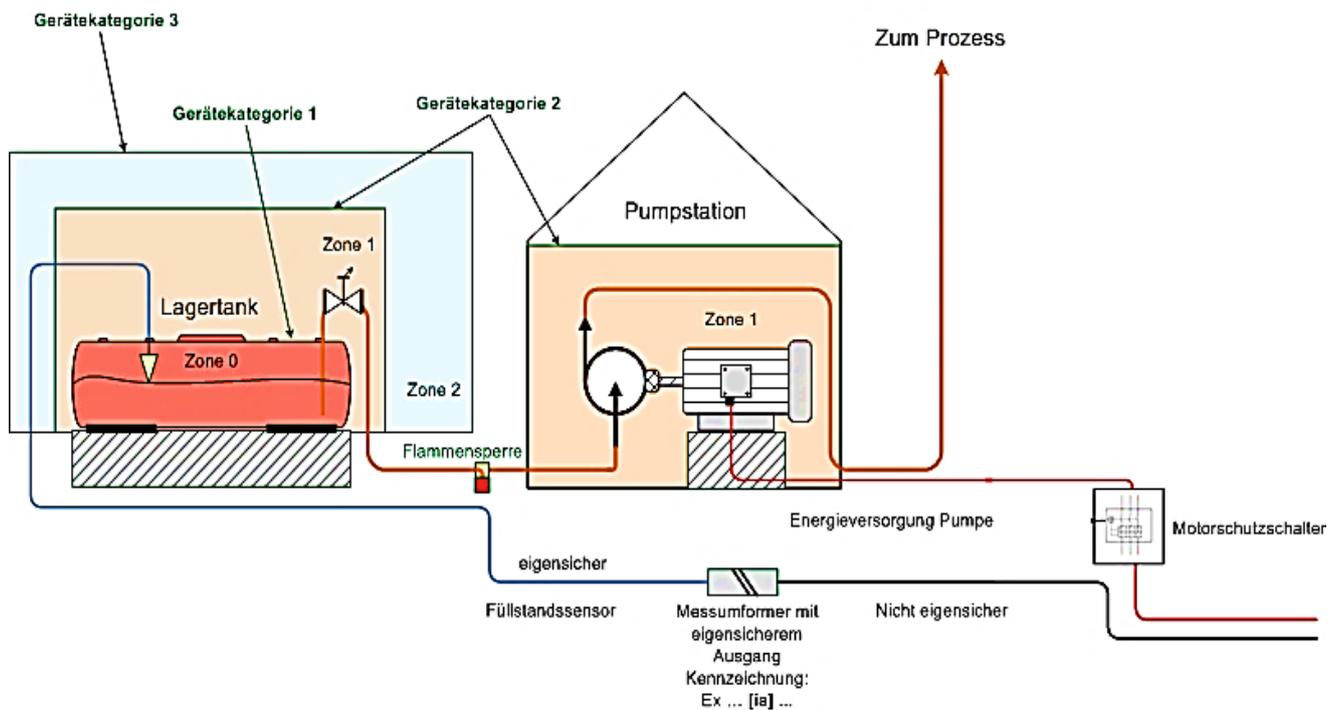


Abb. 5-1
Zoneneinteilung für eine Pumpstation

6 Kennzeichnung von Betriebsmitteln

Geräte, Schutzsysteme und Komponenten dürfen laut Directive **94/9/EG** nur mit entsprechender Produkteinformation in Verkehr gebracht werden.

Aus dem Typenschild muss ersichtlich sein:

- Name und Anschrift des Herstellers
- Serienbezeichnung und Typ
- Serien-Nr. / Fabrikations-Nr.
- Baujahr

- CE-Kennzeichnung¹⁰ (und ggf. Kennnummer der beteiligten benannten Stelle)
- ATEX-Kennzeichnung (Gerätegruppe und Kategorie)
- Spezifische Kennzeichnung des Betriebsmittels

Nicht nur in der EG-Richtlinie 94/9/EG, sondern auch in den einschlägigen Normenreihen sind Vorgaben enthalten, wie diese Kennzeichnung zu erfolgen hat.

Aufgrund vielfältiger Änderungen der Normen in den vergangenen Jahren, hat sich die Kennzeichnung mehrfach verändert. Da eine Anpassung der Kennzeichnung eine Prüfung durch die Prüfstelle bedarf, können diese nur nach und nach aktualisiert werden. Deshalb ist es möglich, dass Geräte nicht dem neuesten Stand der Kennzeichnung entsprechen. Ihre Eignung für den Ex-Bereich wird dadurch aber nicht beeinträchtigt.

Für den Einsatz im Bereich von explosivem Gas und im Bereich von explosivem Staub gibt es jeweils eine eigene Kennzeichnungszeile. In der Folge wird dies beispielhaft erläutert:

	Kennzeichnung nach Richtlinie 94/9/EG					Kennzeichnung nach Normenreihe				
GAS		0102		II	2 G	Ex	de	IIC	T6	Gb
STAUB		0102		II	2 D	Ex	tb	IIIC	T80 °C	Db
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

- CE-Konformitätszeichen**
- Nummer der benannten Stelle**
Prüfstelle bei der das Betriebsmittel geprüft wurde
- Ex-Hexagon**
Kennzeichnung, dass dieses Betriebsmittel für gewisse explosionsgefährdete Bereiche geeignet ist
- Gerätegruppe**
I = grubengasgefährdeter Untertageeinsatz
II = alle sonstigen explosionsgefährdeten Bereiche
- Geräteklasse**
Legt fest, in welchen Zonen das Betriebsmittel eingesetzt werden darf
- Ex-Kennzeichen nach Norm**
Einschlägige Ex-Normen werden angewendet
- Zündschutzart für elektrische Betriebsmittel**
Jeder Buchstabe stellt eine Zündschutzart dar. Wird ein a,b oder c angehängt, zeigt dieser Buchstabe den EPL an. Haben alle Zündschutzarten den EPL angegeben, kann die Kennzeichnung nach Punkt 10 entfallen
- Explosionsgruppe**
Betriebsmittel ist für die angegebene und alle niedrigeren Explosionsgruppen geeignet
- Temperaturklasse bei Gasen**
Maximal zulässige Oberflächentemperatur bei Stäuben
- Schutzniveau**
Legt fest, in welchen Zonen das Gerät eingesetzt werden darf

¹⁰ CE = Communauté Européenne

6.1 Typenschild

Das abgebildete Typenschild (Abb. 6-1) enthält ausser dem CE-Zeichen und der ATEX-Kennzeichnung spezifische Angaben zum Betriebsmittel.

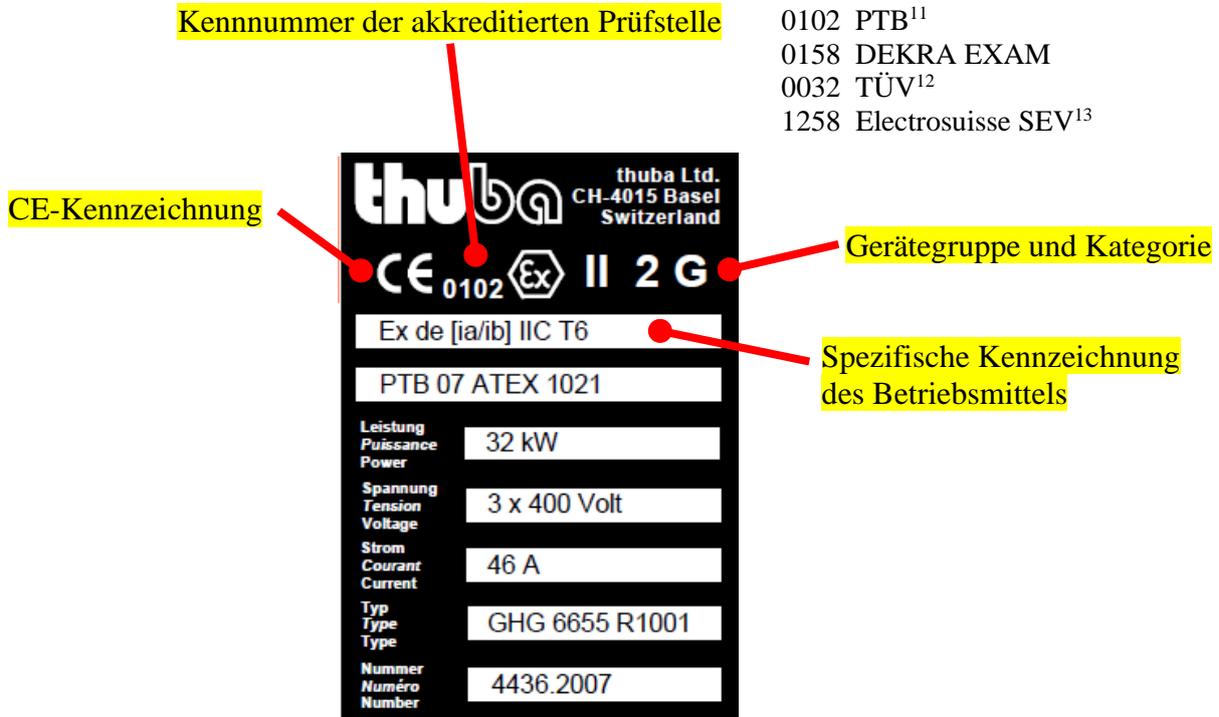
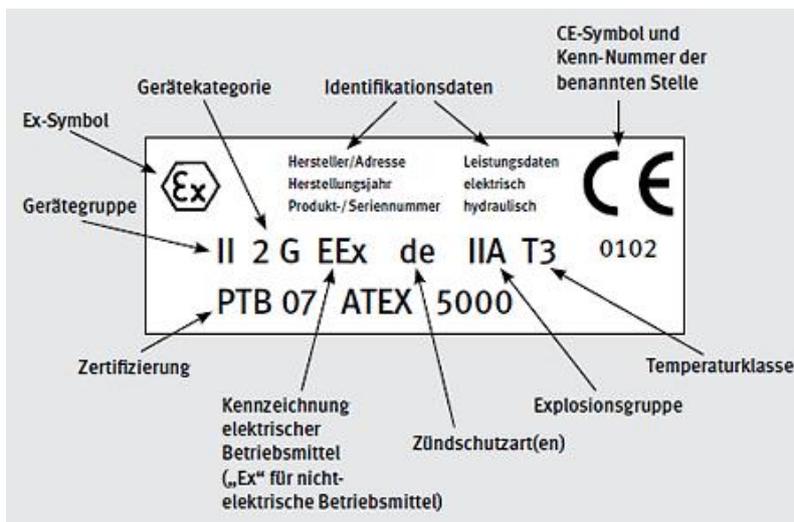


Abb. 6-1
 Typenschild eines elektrischen Betriebsmittels

Unterschieden wird bei der Zündschutzart zwischen elektrischen und nichtelektrischen Geräten.



EEx = elektrisches Betriebsmittel
 Ex = nichtelektrisches Betriebsmittel

Abb. 6-2
 Kennzeichnung der Art des Betriebsmittels

¹¹ PTB = Physikalisch-Technische Bundesanstalt
¹² TÜV = Technischer Überwachungsverein
¹³ SEV = Schweizerischer Elektrotechnischer Verein

6.2 ATEX-Kennzeichnung

Kennzeichnung gemäss Richtlinie 94/9/EG	Spezifische Kennzeichnung nach Norm
 0158  II 2G Ex d IIC T5 Gb	

Nach dem Ex-Symbol kommt die Gerätegruppe mit der Gerätekategorie.

 II 2G Ex de [ia/ib] IIC T6	
II → Gerätegruppe	Geeignet für gasexplosionsgefährdete Bereiche
2G → Gerätekategorie	Zone 1

► Gerätegruppe I

Betrifft schlagwettergefährdete Bergwerke (Kohlebergbau).

► Gerätegruppe II

Betrifft explosionsfähige Gase und Gasgemische

► Gerätegruppe III

Betrifft Stäube, wobei unterteilt wird in IIIA (Fasern), IIIB (nichtleitfähige Stäube) und IIIC (leitfähige Stäube). Die ATEX-Richtlinie 94/9/EG unterscheidet nur in Gruppe I und Gruppe II.

6.3 Gerätekategorie

Die Gerätekategorien sind in der ATEX-Richtlinie 94/9/EG definiert.

	Gerätegruppe	Gerätekategorie	Zone
Schlagwettergefährdete Grubenbaue	I	M1	
	I	M2	
Gasexplosionsgefährdete Bereiche	Gerätegruppe	Gerätekategorie	Zone
	II	1G	0
	II	2G	1
	II	3G	2
Bereiche mit brennbarem Staub	Gerätegruppe	Gerätekategorie	Zone
	II	1D	20
	II	2D	21
	II	3D	22

6.4 Zündschutzart

	II 2 G Ex de [ia/ib] IIC T6
de	→ Zündschutzart des Betriebsmittels (z.B. elektrische Heizung)
[...]	→ Zündschutzart des zugehörigen Betriebsmittels (z.B. Temperaturfühler)
	d = druckgekapselt e = erhöhte Sicherheit ia/ib = Zone 0 / Zone 1

Die Zündschutzart gibt Hinweise auf die Konstruktionsprinzipien eines Betriebsmittels. Die zugrundeliegende Idee besteht darin, das Risiko des gleichzeitigen Vorhandenseins einer explosionsfähigen Atmosphäre und von Zündquellen zu minimieren.

Zündschutzart		Beschreibung
c	Konstruktive Sicherheit	Zündschutzart nur für nichtelektrische Geräte. Die Geräte sind so konstruiert, dass sie bei Normalbetrieb keine Zündquellen aufweisen. Das Risiko des Auftretens von mechanischen Fehlern, die zum Entstehen von Zündquellen führen können, ist auf ein sehr geringes Maß reduziert.
d	Druckfeste Kapselung	Die Komponenten, die eine Zündung auslösen können, sind in ein Gehäuse eingebaut, das dem Explosionsdruck standhält. Die Öffnungen des Gehäuses sind so beschaffen, dass eine Übertragung der Explosion nach außen verhindert wird.
e	Erhöhte Sicherheit	Das Entstehen von Funken, Lichtbögen oder unzulässigen Temperaturen, die als Zündquelle wirken könnten, wird durch zusätzliche Maßnahmen und einen erhöhten Grad an Sicherheit verhindert.
p	Überdruckkapselung	Das Gehäuse der Geräte ist mit einem Zündschutzgas gefüllt. Es wird ein Überdruck aufrecht gehalten, so dass ein explosives Gasgemisch nicht zu den im Inneren des Gehäuses angeordneten möglichen Zündquellen gelangen kann. Gegebenenfalls wird das Gehäuse dauernd durchströmt.
i	Eigensicherheit	Die Versorgung der elektrischen Betriebsmittel wird über eine Sicherheitsbarriere geführt, die Strom und Spannung soweit begrenzt, dass die Mindestzündenergie und Zündtemperatur eines explosiven Gemisches nicht erreicht wird. Die Betriebsmittel unterteilen sich außerdem in Ex-ia für Ex-Zone 0 bzw. 1 und Ex-ib für Ex-Zone 1 bzw. 2.
o	Ölkapselung	Die Teile der elektrischen Betriebsmittel von denen eine Zündung ausgehen kann, sind in eine Schutzflüssigkeit (meistens Öl) getaucht.
q	Sandkapselung	Das Betriebsmittel ist mit feinkörnigem Sand gefüllt. Ein möglicher Lichtbogen wird soweit gekühlt, dass die Zündung eines explosiven Gemisches ausgeschlossen ist. Die Oberflächentemperatur darf den Grenzwert nicht überschreiten.
m	Vergusskapselung	Die Teile des elektrischen Betriebsmittels, die Zündquellen erzeugen können, sind in Vergussmasse eingebettet, so dass ein Lichtbogen nicht zu einem explosiven Gemisch außerhalb der Kapselung durchtreten kann
n	Zündschutzmethode	Im Normalbetrieb und bei definierten Fehlern geht von dem elektrischen Betriebsmittel keine Zündgefahr aus

6.5 Geräteschutzniveau

► Equipment Protection Level

Die Norm IEC 60079-0 (2007) verwendet den Begriff „Equipment Protection Level“ (EPL). In der Kennzeichnung eines explosionsgeschützten Betriebsmittels ist nebst den üblichen Angaben das sog. Geräteschutzniveau – bestehend aus zwei Buchstaben – vermerkt.

Der erste Buchstabe gibt die Art der explosionsfähigen Atmosphäre an (G für Gas, D für Staub). Das eigentliche Schutzniveau wird durch die Buchstaben a, b oder c definiert. Diese Buchstaben werden auch bei einigen Zündschutzarten (ia, ib, ic) verwendet.

Per definitionem gilt:

- **EPL Ga**

Gerät mit »sehr hohem« Schutzniveau zur Verwendung in gasexplosionsgefährdeten Bereichen, für die bei Normalbetrieb, vorhersehbaren oder seltenen Fehlern bzw. Fehlfunktionen keine Zündgefahr besteht.

- **EPL Gb**

Gerät mit »hohem« Schutzniveau zur Verwendung in gasexplosionsgefährdeten Bereichen, bei denen bei Normalbetrieb oder vorhersehbaren Fehlern/Fehlfunktionen keine Zündgefahr besteht.

- **EPL Gc**

Gerät mit »erweitertem« Schutzniveau zur Verwendung in gasexplosionsgefährdeten Bereichen, bei denen während des normalen Betriebes keine Zündgefahr besteht und die einige zusätzliche Schutzmaßnahmen aufweisen, die gewährleisten, dass bei üblicherweise vorhersehbaren Störungen des Gerätes keine Zündgefahr besteht (z.B. Defekt eines Leuchtmittels).

- **EPL Da**

Gerät mit »sehr hohem« Schutzniveau zur Verwendung in brennbaren Staubatmosphären, bei denen bei Normalbetrieb, vorhersehbaren oder seltenen Fehlern/Fehlfunktionen keine Zündgefahr besteht.

- **EPL Db**

Gerät mit »hohem« Schutzniveau zur Verwendung in brennbaren Staubatmosphären, in denen bei Normalbetrieb oder vorhersehbaren Fehlern/Fehlfunktionen keine Zündgefahr besteht.

- **EPL Dc**

Gerät mit »erweitertem« Schutzniveau zur Verwendung in brennbaren Staubatmosphären, bei denen während des normalen Betriebes keine Zündgefahr besteht und die einige zusätzliche Schutzmaßnahmen aufweisen, die gewährleisten, dass bei üblicherweise zu erwartenden Störungen des Gerätes keine Zündgefahr besteht (z.B. Defekt eines Leuchtmittels)

► Zonen und Geräteschutzniveaus

Zone	EPL
0	Ga
1	Gb und Ga
2	Gc, Gb und Ga

Zone	EPL
20	Da
21	Db und Da
22	Dc, Db und Da

► **Zündschutzarten und Geräteschutzniveaus in gasexplosionsgefährdeten Bereichen**

EPL	EN Normen	Zündschutzarten	
Ga	60079-11	ia	Eigensicherheit
	60079-18	ma	Vergusskapselung
Gb	60079-1	d	Druckfeste Kapselung
	60079-2	p, px, py	Überdruckkapselung
	60079-7	e	Erhöhte Sicherheit
	60079-11	ib	Eigensicherheit
	60079-18	mb	Vergusskapselung
Gc	60079-11	ic	Eigensicherheit
	60079-18	mc	Vergusskapselung
	60079-15	nA	non-sparking
	60079-15	nR	Schwadenschutz
	60079-1	pz	Überdruckkapselung

► **Zündschutzarten und Geräteschutzniveaus in Bereichen mit brennbarem Staub**

EPL	EN Normen	Zündschutzarten	
Da	60079-31	ta	Schutz durch Gehäuse
	60079-11	ia	Schutz durch Eigensicherheit
	60079-18	ma	Schutz durch Vergusskapselung
Db	60079-31	tb	Schutz durch Gehäuse
	60079-11	ib	Schutz durch Eigensicherheit
	60079-18	mb	Schutz durch Vergusskapselung
	60079-4	pD	Schutz durch Überdruck
Dc	60079-31	tc	Schutz durch Gehäuse
	60079-4	pD	Schutz durch Überdruck

Die Norm IEC 60079-0 lässt zu der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Kennzeichnung (die in einigen Fällen zu doppelten Angaben führt) eine alternative Kennzeichnung zu.

alte Kennzeichnung	neue Kennzeichnung	alternative Kennzeichnung
Ex d IIB T4	Ex d IIB T4 Gb	Ex db IIB T4
Ex de IIC T4	Ex de IIC T4 Gb	Ex db eb IIC T4
Ex ia IIC T4	Ex ia IIC T4 Ga	Ex ia IIC T4
Ex d [ia] IIC T6	Ex d [ia Ga] IIC T6 Gb	Ex db [ia] IIC T6
Ex tDA21 IP65 T225°C	Ex tb IIIC T225°C Db	Ex tb IIIC T225°C

Mit Einführung der Gruppe III kann die Eignung des Gerätes für Gasatmosphären (II) oder Staubatmosphären (III) direkt aus der Gruppe herausgelesen werden. Somit bringt der Buchstabe G oder D im Geräteschutzniveau keine zusätzliche Information mehr.

6.6 Explosionsgruppe

	II 2 G Ex de [ia/ib] IIC T6
IIC → Explosionsgruppe (Wasserstoff, Acetylen)	

Die Unterteilung in unterschiedliche Explosionsgruppen I, II, III und deren Untergruppen A, B, C hängt mit der unterschiedlichen Zündfähigkeit und dem Zünddurchschlagvermögen der explosionsfähigen Atmosphären zusammen.

Für jede Explosionsgruppe sind genaue Grenzspaltweiten definiert, die in EN 50018 zu finden sind.

Explosionsgruppe I Schlagwettergefährdete Grubenbaue	Explosionsgruppe II Gasexplosionsgefährdete Bereiche		Explosionsgruppe III Bereiche mit brennbarem Staub	
	IIA	Propan	IIIA	Brennbare Flocken
	IIB	Ethylen	IIIC	Nicht leitfähiger Staub
	IIC	Wasserstoff, Acetylen	IIIC	Leitfähiger Staub

6.7 Temperaturklasse

Es ist zu beachten, dass sich die höchstzulässige Oberflächentemperatur aus Umgebungstemperatur und Betriebsmitteltemperatur zusammensetzt.

	II 2 G Ex de [ia/ib] IIC T6
T6 → Temperaturklasse (Oberflächentemperatur $\leq 85^\circ\text{C}$)	

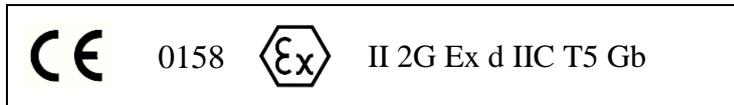
Die Oberflächentemperatur muss sich immer unter der Zündtemperatur des umgebenden explosionsfähigen Gasgemisches bzw. Staubes befinden.

Temperatur- klasse	Oberflächen- temperatur	Zünd- temperatur
T1	450 °C	> 450 °C
T2	300 °C	> 300 °C
T3	200 °C	> 200 °C

Temperatur- klasse	Oberflächen- temperatur	Zünd- temperatur
T4	135 °C	> 135 °C
T5	100 °C	> 100 °C
T6	85 °C	> 85 °C

6.8 Beispiele von Kennzeichnungen

Beispiel 1



Bedeutung:

- Prüfstelle DEKRA EXAM
- Elektrisches Gerät für Einsatz in gasexplosionsgefährdeten Bereichen Zone 1
- Zündschutzart „Druckfeste Kapselung“
- Explosionsgruppe „Wasserstoff/Acetylen“
- Oberflächentemperatur $\leq 100^{\circ}\text{C}$
- Gerät geeignet für Zone 1

Beispiel 2



Bedeutung:

- Prüfstelle PTB
- Elektrisches Gerät für Einsatz in Bereichen mit brennbarem Staub Zone 21
- Zündschutzart „Schutz durch Gehäuse“
- Explosionsgruppe „Leitfähiger Staub“
- Oberflächentemperatur $\leq 95^{\circ}\text{C}$
- Gerät geeignet für Zone 21

Beispiel 3



Bedeutung:

- Prüfstelle TÜV CERT-Zertifizierungsstelle
- Nicht-elektrisches Gerät für Einsatz in gasexplosionsgefährdeten Bereichen Zone 1
- Zündschutzart „Konstruktive Sicherheit durch Flüssigkeitskapselung“
- Explosionsgruppe „Wasserstoff/Acetylen“
- Oberflächentemperatur $\leq 85^{\circ}\text{C}$
- Gerät geeignet für Zone 1

7 Installations- und Instandhaltungspraxis

7.1 Grundsätzliches

Grundlage der Installations- und Instandhaltungspraxis ist die Normenreihe EN 60079.

- **SN EN 60079-14**
Projektierung, Auswahl und Errichtung elektrischer Anlagen
- **SN EN 60079-17**
Prüfung und Instandhaltung elektrischer Anlagen
- **SN EN 60079-19**
Gerätoreparatur, Überholung und Regenerierung

7.2 Dokumentation

Für explosionsgeschützte elektrische Geräte und Anlagen werden nach EN 60079-14 (Planung, Auswahl und Errichtung elektrischer Anlagen) spezifische Nachweisdokumente gefordert.¹⁴

- Betriebsanleitung in der jeweiligen Landessprache
- Konformitätserklärung
- Fakultativ eine Bescheinigung nach Richtlinie 2014/34/EU

Der Betreiber erwartet zudem für alle explosionsgeschützten Geräte der Kategorie 1 (Zonen 0 und 20) und Kategorie 2 (Zonen 1 und 21) eine EU-Baumusterprüfbescheinigung, die auf einem Konformitätsbewertungsverfahren einer anerkannten europäischen Prüfstelle basiert.

7.2 Elektrokontrolle

Ein wichtiger Aspekt in der Installations- und Instandhaltungspraxis sind Prüfungen.

Bei jeder durchgeführten Prüfung werden folgende Punkte erfasst:

- a) Prüfergebnisse, Prüfbescheinigungen und Prüfberichte der letzten wiederkehrenden Prüfung
- b) Genehmigungsaufgaben

Die Aufzeichnung kann in Papierform oder in elektronischen Systemen erfolgen. Die Prüfdokumentation (mindestens in Kopie) ist am Betriebsort verfügbar zu halten. Die Dokumente dienen für wiederkehrende Prüfungen als Bewertungsgrundlage.

7.2.1 Technische Prüfungen

Technische Prüfungen basieren auf der Norm IEC/EN 60079-17 (Prüfung und Instandhaltung elektrischer Anlagen). Die Ausführung muss der Norm IEC/EN 60079-14 (Elektrische Anlagen Planung, Auswahl und Errichtung) entsprechen.

Der Begriff „Prüfung“ umfasst:

- a) eine Ermittlung des Ist-Zustandes eines Arbeitsmittels, einer Anlage oder eines Arbeitsplatzes in explosionsgefährdeten Bereichen
- b) einen Vergleich des Ist-Zustandes mit dem Soll-Zustand
- c) eine Bewertung der Abweichung des Ist-Zustandes vom Soll-Zustand.

¹⁴ In der Schweiz ist die SUVA-Publikation 2153.d zu konsultieren.

Die technische Prüfung kann sich in Abhängigkeit vom Prüfkonzept und den gerätebezogenen Prüfanforderungen aus Sichtprüfungen, sofern erforderlich auch Nah- oder Detailprüfungen, sowie der Prüfung der sicheren Funktion zusammensetzen.

► Die **Sichtprüfung** beinhaltet eine durch Inspektion (d.h. ohne Eingriffe in Geräte und Maschinen) erzielte rechtzeitige Feststellung von optisch zu erkennenden Mängeln. Die Sichtprüfung kann am eingeschalteten Gerät durchgeführt werden.

► Die **Nahprüfung** beinhaltet die rechtzeitige Feststellung von nicht unmittelbar sicht- oder hörbaren Mängeln und wird adäquat zur Sichtprüfung – jedoch unter Verwendung von Zugangseinrichtungen (z.B. Leitern) und anderen Hilfsmitteln – durchgeführt. Eingriffe in Prüfobjekte (z.B. durch Öffnen eines Gehäuses) sind in der Regel nicht erforderlich. Die Nahprüfung kann am eingeschalteten Gerät erfolgen.

► Die **Detailprüfung** beinhaltet zusätzlich zu den Aspekten der Sicht- und Nahprüfungen die Feststellung solcher Fehler, die nur durch Eingriffe (z.B. durch öffnen von Gehäusen) oder unter Verwendung von Werkzeugen und Prüfeinrichtungen zu erkennen sind. Detailprüfungen erfordern im Allgemeinen, dass die Betriebsmittel freigeschaltet sind.

7.2.2 Prüfungsarten

Bezüglich des Modus operandi werden unterschiedliche Prüfungsformen unterschieden.

► Bei der **Ordnungsprüfung** wird festgestellt:

- a) Ob die erforderlichen Unterlagen der Anlagen bzw. Anlagenteile vollständig sind.
- b) Ob die Geräte gemäss dem Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung bzw. der sicherheitstechnischen Bewertung eingesetzt sind. Die Anlagendokumentation muss Angaben zu den Zonen, Geräteschutzniveaus, Gerätegruppen (Gas und Staub) und Temperaturklassen (inkl. der Oberflächentemperaturen und zulässigen Umgebungstemperaturen), externen Einflüssen usw. für jeden Ort umfassen.
- c) Ob die von den Organen der Arbeitssicherheit im Genehmigungsverfahren geforderten Auflagen eingehalten werden.
- d) Ob die erforderliche Auswahl der Geräte korrekt durchgeführt wurde.
- e) Ob für die Geräte und die Schutzeinrichtungen die erforderlichen Unterlagen wie Konformitätserklärungen, Instruktionen des Herstellers (Betriebsanleitungen) sowie allfällige Bescheinigungen vorhanden sind.

► Eine **Erstprüfung** muss vor Inbetriebnahme einer Anlage oder Maschine durchgeführt werden. Es handelt sich um eine Detailprüfung, bei welcher auch Fehler, die nur durch Eingriffe in das Betriebsmittel oder unter Verwendung von Werkzeugen und Prüfeinrichtungen entstehen, zu erfassen sind. Die Prüfung muss von einer „befähigten Person“ vorgenommen werden, die sich durch berufliche Erfahrung und/oder spezifische Ausbildung dafür eignet. In der Pharmaindustrie kann die Erstprüfung zusammen mit der Qualifizierung eines Betriebsmittels erfolgen.

► Als **Periodische Prüfung** wird eine regelmässig durchzuführende Inspektion (z.B. die jährliche Prüfung von elektrischen Anlagen in Ex-Zonen 0 und 1) bezeichnet. Solche Prüfungen müssen durch eine akkreditierte Inspektionsstelle oder durch das ESTI vorgenommen werden. Installationen in Räumen der Ex-Zone 2 werden alle 5 Jahre kontrolliert.

7.2.3 Prüfungsberechtigte Person

Wer elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Räumen überprüft, muss sich über ein erweitertes Wissen im Installationsbereich ausweisen. Ohne umfassende Kenntnisse des Explosionsschutzes einschließlich des zugehörigen Regelwerkes inklusive einschlägiger regelmäßiger Fortbildung darf eine Elektrofachkraft Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen nicht auf Explosionssicherheit prüfen.

Die BetrSichV besagt:

Zur Prüfung befähigte Person ist eine Person, die durch ihre Berufsausbildung, ihre Berufserfahrung und ihre zeitnahe berufliche Tätigkeit über die erforderlichen Kenntnisse zur Prüfung von Arbeitsmitteln verfügt.

Eine zur Prüfung befähigte Person muss ferner über eine einschlägige technische Berufsausbildung oder eine andere für die vorgesehenen Prüfungsaufgaben ausreichende technische Qualifikation verfügen, eine mindestens einjährige Erfahrung mit der Herstellung, dem Zusammenbau, dem Betrieb oder der Instandhaltung der zu prüfenden Anlagen oder Anlagenkomponenten nachweisen können, ihre Kenntnisse über Explosionsgefährdungen durch die Teilnahme an Schulungen oder Unterweisungen auf dem jeweils aktuellen Stand halten.

Rechtsvorschriften und Regeln:

- ATEX-Richtlinien 2014/34/EU und 1999/92/EG,
- Verordnungen (ExVO, GefStoffV und BetrSichV)
- Technische Regeln (TRGS, TRBS)
- Normen über die Verantwortung von Herstellern und Betreibern
- ATEX- und Nicht-ATEX-Geräte im Ex-Bereich

Um Prüfungen vor Inbetriebnahmen, nach prüfpflichtigen Änderungen und nach Instandsetzungen durchzuführen, benötigt die zur Prüfung befähigte Person ausser einer entsprechenden Qualifikation die für die Prüfung erforderlichen Prüfeinrichtungen.

7.3 Schutzmassnahmen

Dem Potentialausgleich ist in explosionsgefährdeten Bereichen besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Nach den anerkannten Regeln der Technik erstellte Verbindungen und normengerechtes Material tragen zum Schutz bei.

Im Kontext gehört zu den Schutzmassnahmen auch die "Erdung" von Schläuchen und Betriebsmitteln, ferner elektrisch leitende Böden und ableitfähige Leitern, ableitfähige Sicherheitsschuhe usw. Bei fahrbaren Objekten ist auf ableitfähige Rollen resp. Räder zu achten. Ansonsten sind metallische Objekte (Handwagen, Stapler) mit Flachlitzen aus verzinnem Kupfer zu erden.

7.3.1 Potentialausgleich

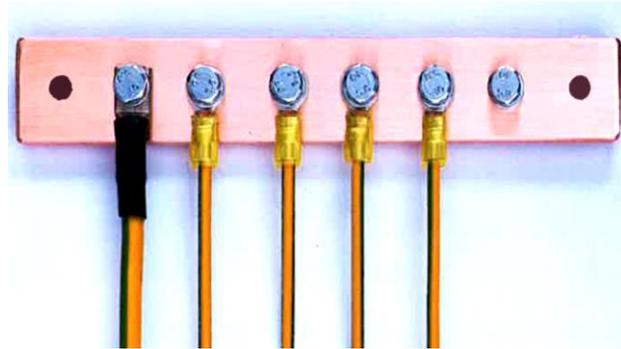
a) Auf einen Anschlusspunkt darf nur ein Potentialausgleichleiter geführt werden, mehrere Leiter sind nicht zulässig (Abb. 7-1a).

b) Potentialausgleichsleiter müssen einen Querschnitt von $\geq 4 \text{ mm}^2$ vorweisen.

Der Querschnitt eines Hauptanschlussleiters (Sammelschiene) muss $\geq 6 \text{ mm}^2$ vorweisen. Aufgrund der mechanischen Festigkeit sind 10 bis 16 mm^2 zu empfehlen (Abb. 7-1b).

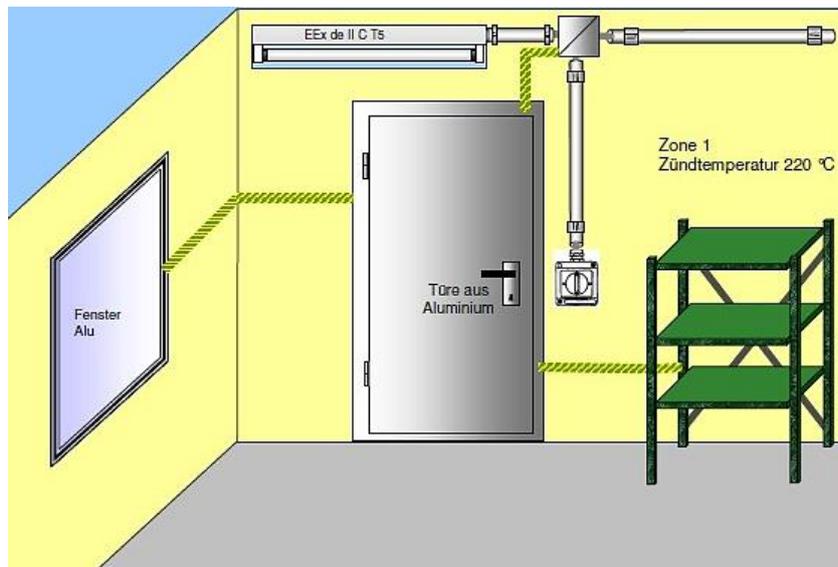
**Abb. 7-1a**

Mehrere Schutzleiter auf einem gemeinsamen Anschlusspunkt sind nicht gestattet

**Abb. 7-1b**

Sammelschiene für den Potentialausgleich

c) In allen Zonen ist ein zusätzlicher Potentialausgleich (min. 2,5mm²) erforderlich (Abb. 7-2). Der ZPA umfasst alle Metallteile, darunter auch jene, welche nicht zu einem elektrischen Betriebsmittel gehören. Auch die Schutzleiter der Installation sind in den ZPA einzubeziehen.

**Abb. 7-2**

Zusätzlicher Potentialausgleich

7.3.2 Schutz vor elektrostatischer Entladung

- ▶ **BGR 132** enthält verbindliche Aussagen zur Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen.¹⁵
- ▶ **SN 429 001** (Elektrostatische Aufladungen) regelt die Klassifizierung und Ausstattung von Räumen.
- ▶ **BGR 132** enthält verbindliche Aussagen zur Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen.
- ▶ **SN 429 001** (Elektrostatische unter definierten Randbedingungen).
 - Für Räume der „Klasse A“ gilt eine Gehaufladung von max. 100 V

¹⁵ BGR 132 Berufsgenossenschaftliche Regel (Carl Heymanns Verlag).

- Für Räume der „Klasse B“ gilt eine Gehaufladung von max. 4 kV

Von der Norm ausgenommen sind Operationssäle und Akkumulatorenräume.

7.3.3 Sicherheitsregeln

Arbeiten an/in Schaltgerätekombinationen dürfen nur in spannungslosem Zustand erfolgen. Ist Spannungsfreiheit aus bestimmten Gründen nicht möglich, muss durch den SiBe¹⁶ eine Arbeitsbewilligung erstellt werden. Der Aussteller hat in diesem Fall dafür zu sorgen, dass für den Instandhalter keine Gefahr durch eine explosionsfähige Atmosphäre besteht.

Bei Installations- und/oder Instandhaltungsarbeiten ist ein „Explosimeter“ zu benutzen. Mess-technisch bedingte Eingriffe in eigensichere Stromkreise sind ohne Ausschaltung erlaubt. Eine Arbeitsbewilligung ist dazu nicht erforderlich. Das Messgerät muss jedoch die Schutzart „eigen-sicher“ vorweisen.

7.4 Elektrische Betriebsmittel

Im Artikel 26 der EN 50014:1997 ist die Prüfung elektrischer Betriebsmittel nach Änderungen oder Instandsetzungen geregelt. Änderungen an elektrischen Betriebsmitteln, die die Zündschutzart oder die Temperatur des Betriebsmittels betreffen, sind nur erlaubt, wenn das geänderte Betriebsmittel erneut einer Prüfstelle vorgelegt wird.

a) Betrifft die Instandsetzung von elektrischen Maschinen die Zündschutzart, so sind die instandgesetzten Teile einer erneuten Stückprüfung zu unterziehen, die nicht zwingend durch den Hersteller erfolgen muss.

b) Bei Instandsetzungen von Betriebsmitteln sollen möglichst Originalkomponenten verwendet werden. Zudem muss eine Wartungsanweisung vorhanden sein.

7.4.1 Kabel

► Um die verlangte Schwadensicherheit zu gewährleisten, müssen **Energiekabel** von „kreisrundem“ Querschnitt sein. Diese Bedingung ist bei genügender Isolation, Füllstoffmenge sowie einem Beilauf erfüllt (Abb. 7-3). Sinngemäß gilt diese Forderung auch für Steuer- und Signalkabel. Ausgenommen von dieser Regel sind lediglich geprüfte Spezialkabel (z.B. für Heizbänder).

► Für **Steuerkabel** kommen Standardausführungen aus PVC, Gummi, PUR usw. – gegebenenfalls mit Schirm – in Frage.



a) Energiekabel mit genügend Füllstoff und ausreichender Isolation.



b) Energiekabel mit fehlendem Füllstoff; die Schwadensicherheit wird nicht erfüllt.



c) Abgeschirmte PVC-Steuerleitung für eigensichere Stromkreise.

Abb. 7-3
Beispiele Kabel

¹⁶ SiBe = Sicherheitsbeauftragter eines Betriebes

► Eine Besonderheit sind **eigensichere Stromkreise**, wo Kabel mit blauem Aussenmantel eingesetzt werden. Zu beachten ist, dass Aderleitungen von eigensicheren und nichteigensicheren Stromkreisen nicht in derselben Leitung geführt werden dürfen.

Um Schleifenströme zu vermeiden, dürfen Kabelschirme nur an einer Stelle (üblicherweise im nichtexplosionsgefährdeten Bereich) geerdet werden.

Bei eigensicheren Stromkreisen ist bei der Erstprüfung eine Isolationsmessung durchzuführen.

Als Grenzwerte gelten:

- Leiter gegen Schirm $\geq 1\text{M}\Omega$
- Leiter gegen Erde $\geq 1\text{M}\Omega$

Gemessen wird mit 500 VAC oder 700 VDC.

Steuerseitig führen die Leitungen eigensicherer Stromkreise auf Trennverstärker oder Zenerbarrieren, wodurch die elektrische Energie auf ungefährliche Werte begrenzt wird (Abb. 7-4).

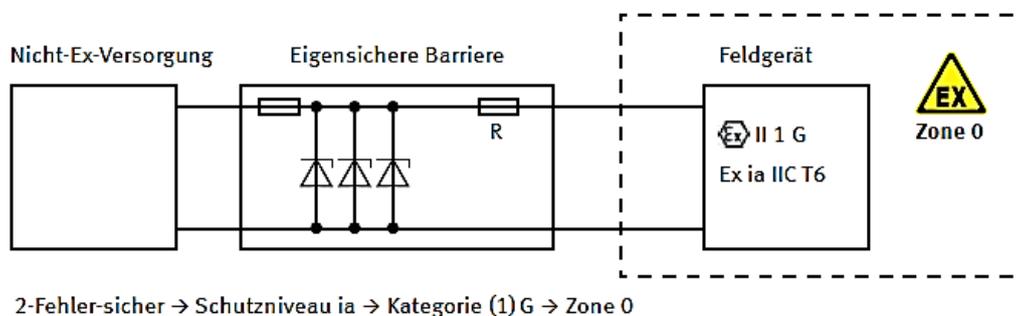


Abb. 7-4

Zenerbarriere für Zone 0 Installation¹⁷

7.4.2 Kabelverschraubungen

Für elektrische Betriebsmittel besagt die Richtlinie 2014/34/EU:

Geräte und Schutzsysteme müssen mit geeigneten Einführungen für Kabel und Leitungen ausgestattet sein.

a) Kabelverschraubungen müssen entsprechend dem jeweiligen Kabeldurchmesser gewählt werden. Schrumpfschläuche und zusätzliche Ummantelungen zur Anpassung des Durchmessers sind nicht gestattet.

b) Kabeleinführungen müssen mit Verschlusselementen verschlossen sein, die der jeweiligen Zündschutzart entsprechen. Für druckgekapselte Verbraucher dürfen nur Kabelverschraubungen benutzt werden, die dieser Schutzart entsprechen.

c) Werden Kabeleinführungen für erhöhte Temperaturen benutzt, so muss dies in der Prüfbescheinigung vermerkt sein. Als normal gelten Umgebungstemperaturen von -20 bis 40°C und Betriebstemperaturen von max. 80°C .

d) Zusätzliche Bohrungen für Kabeleinführungen durch den Betriebselektriker dürfen nur vorgenommen werden, wenn in der Betriebsanleitung die Anzahl der Bohrungen und Dimensionen vorgesehen ist.

¹⁷ Pepperl+Fuchs: Grundlagen Ex-Schutz.

2-Fehler-sicher bedeutet im Kontext, dass selbst bei einem Ausfall zweier Zenerdioden die Eigensicherheit gewährleistet ist.

e) Zur Einführung flexibler Kabel ist eine Kabelverschraubung mit Zugentlastung (Trompetenverschraubung) erforderlich.



Kabelverschraubungen aus Polyamid (erhöhte Sicherheit in schwarz und eigensicher mit blauer Hutmutter).



Trompetenverschraubung für erhöhte Sicherheit. Die Verschraubung muss den Anforderungen an IP 54 genügen.

Abb. 7-5a

ATEX-Kabelverschraubungen aus Kunststoff

Bei der druckfesten Kapselung (Ex d) widerstehen Gehäuse und Kabelverschraubung einem Innendruck von 30 bar ohne die Explosion nach aussen zu übertragen; dazu müssen sich min. 5 Gewindegänge im Eingriff befinden.



Kabelverschraubung "Ex d" aus Inox-Stahl



Kabelverschraubung "Ex d" aus Messing

Abb. 7-5b

ATEX-Kabelverschraubungen aus Metall

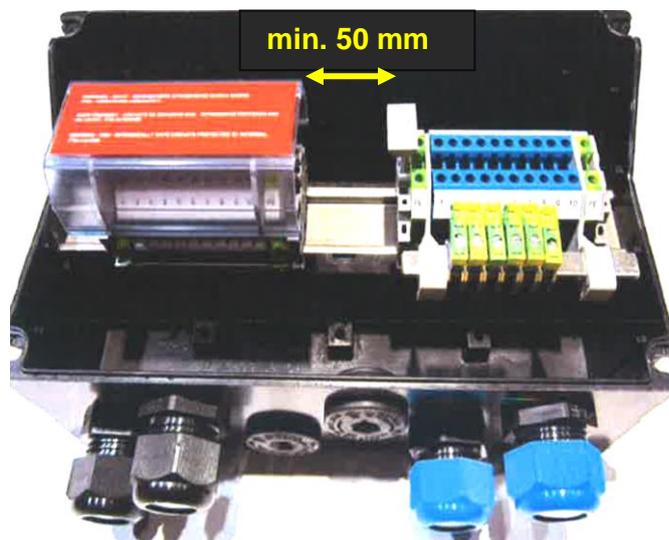
7.4.3 Leuchten

Leuchten über einem Ex-Zone 2 Bereich (insofern die Zone bis 1 Meter über Boden definiert ist) sollten zumindest als Nassleuchten konzipiert sein. Empfehlenswert in diesem Fall ist die Verwendung von Leuchten mit korrespondierender Zündschutzart 0.

7.4.4 Bauteile und Komponenten

- Leitungen und Anschlussklemmen für eigensichere Komponenten müssen von blauer Farbe sein. Das gilt auch für Verdrahtungskanäle innerhalb von Schaltschränken.
- Zwischen den Anschlussklemmen eigensicherer und nichteigensicherer Stromkreise muss ein Fadenmass von **50 mm** und zwischen zwei eigensicheren Stromkreisen ein Mindestabstand von **6 mm** eingehalten werden.
- In geprüfte Klemmenkästen der Zündschutzart "e" dürfen nur Klemmen mit derselben Schutzart eingebaut werden.
- Unvollständige Betriebsmittel - gekennzeichnet durch ein „U“ - dürfen für sich allein nicht installiert werden. Bauteile dieser Art sind z.B. Klemmen, Temperaturregler, Mikroschalter und Einbau-Befehlsmelder.
- Komponenten mit besonderen Eigenschaften werden durch ein "X" gekennzeichnet (z.B. ein

Endschalter mit der bezeichnung PTB 09 ATEX 1109 X). Es sind besondere Bedingungen für Installation und Betrieb zu berücksichtigen.



Eigensicherheit (Ex i) liegt vor, wenn durch Begrenzung der im Stromkreis befindlichen Energie die Entstehung von unzulässig hohen Temperaturen, Zündfunken oder Lichtbögen verhindert wird.

Erhöhte Sicherheit (Ex e) ist gegeben, wenn Betriebsmittel oder Komponenten die Zündung der explosionsfähigen Atmosphäre innerhalb eines Gehäuses aufgrund ihrer konstruktiven und materialspezifischen Merkmale verhindern.

Abb. 7-6
Gemischte Zündschutzarten

7.4.5 Schalter und Steckvorrichtungen

► Um das Eindringen von Spritzwasser zu verhindern, sollten Schalter und Steckdosen mit der Kabelverschraubung nach unten montiert werden (Abb. 7-7). Dies gilt prinzipiell für alle Komponenten mit Kabeleinführungen. Der Schutzkragen von Schaltern muss sich oben befinden.



a) Wechselschalter



b) Impulstaster



b) Steuerschalter

Abb. 7-7

AP-Schalter (Ex de) in Schutzart IP 65

► CEE-Steckvorrichtungen unterschiedlicher Hersteller (Thuba, Stahl etc.) sind aus konstruktiven Gründen nicht kompatibel. Demzufolge können im jeweiligen Arbeitsbereich nur Steckvorrichtungen desselben Herstellers eingesetzt werden.

7.4.6 Elektroheizungen

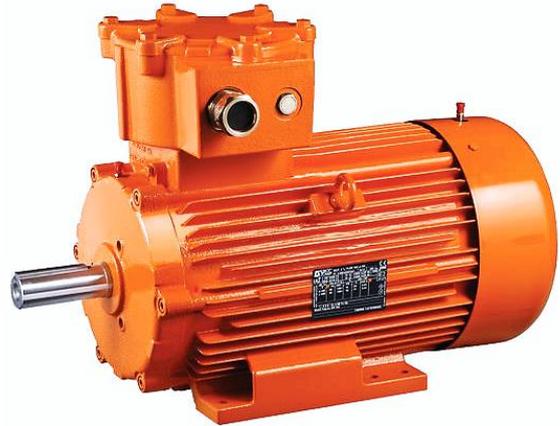
Elektroheizungen sind mit einem FI-Schalter (≤ 100 mA) zu schützen.

7.4.7 Elektromotoren

Die folgenden Angaben beziehen sich auf Drehstrom-Käfigläufermotoren. Verbreitet im europäischen Raum sind Drehstrommotoren mit kombinierter Zündschutzart (Ex de), welche mit einer druckfesten Kapselung und einem Klemmenkasten mit erhöhter Sicherheit ausgestattet sind.



a) Klemmenkasten in Zündschutzart "e"



b) Klemmenkasten in Zündschutzart "d"

Abb. 7-8

ATEX-Drehstrommotoren in Zündschutzart "Ex d" für Zone 1/2

- a) In Zone 2 (geringe Gefahr) können *Non-sparking* Motoren (Ex n) eingesetzt werden, bei denen während des normalen Betriebs keine Funken entstehen.
- b) In Zone 1 müssen Elektromotoren mit druckfester Kapselung (Ex d) eingesetzt werden. Diese sind so konstruiert, dass ihr Gehäuse bei einer Explosion im Inneren den auftretenden Druck verkraftet; damit wird eine Übertragung auf die das Gehäuse umgebende explosionsfähige Atmosphäre verhindert.
- c) Zugelassen für den Betrieb in Zone 1 sind auch Drehstrommotoren für Umrichterbetrieb in der Zündschutzart erhöhte Sicherheit (Ex e).
- d) Werden für Motoren der Zündschutzart "de" Frequenzumrichter eingesetzt, so ist darauf zu achten, dass zusammen mit dem Motor eine Typenprüfung vorgenommen wurde.
- e) Liegt keine Typenprüfung vor, muss eine Einrichtung für eine direkte Temperaturüberwachung oder eine andere wirksame Massnahme zur Begrenzung der Oberflächentemperatur des Motorgehäuses vorhanden sein. Ferner muss die Schutzeinrichtung den Motor im Fehlerfall elektrisch vom Umrichter trennen können. Überlastgeräte (Motorschutzschalter, Thermorelais) müssen zertifiziert sein.

8 Sonstiges

Auch an nichtelektrische Betriebsmittel und Einrichtungen in explosionsgefährdeten Bereichen werden bestimmte Anforderungen gestellt.

Zu gewährleisten ist generell:

- Explosionsschutz
- Personenschutz nach DIN VDE 100¹⁸
- Schutz von elektrostatisch sensiblen Bauteilen

8.1 Elektrostatik in der Prozessindustrie

In der technischen Physik werden die folgenden Entladungsarten unterschieden:

- Funkenentladung
- Koronaentladung
- Büschelentladung
- Gleitstielbüschelentladung
- Schüttkegelentladungen

1) Eine *Funkenentladung* ist eine Entladung zwischen 2 Leitern mit einem gut abgegrenzten, leuchtenden Entladungskanal. Dort fließt ein Strom mit hoher Stromdichte. Diese Art der Entladung erfolgt sehr schnell und ist normalerweise deutlich wahrzunehmen.

2) *Koronaentladungen* finden allgemein an Oberflächen mit kleinem Krümmungsradius (z. B. Spitzen, Ecken) statt. Der Bereich möglicher Entladungen ist aufgrund niedriger elektrischer Feldstärke relativ klein, auch sind Koronaentladungen schwer erkennbar. Ihre Zündfähigkeit ist wesentlich geringer als die von Funkenentladungen – normalerweise sind sie nicht zündwirksam.

3) *Büschelentladungen* können vorkommen, wenn sich ein geerdeter Leiter (z.B. der Finger einer Person) zu einem geladenen, isolierenden Gegenstand (z.B. eine Kunststoffoberfläche) hinbewegt. Sie sind von kürzerer Dauer als Koronaentladungen, können sichtbar und hörbar sein und die meisten brennbaren Gase und Dämpfe entzünden. Ihre Zündwirksamkeit kann durch Ladungsmessung bestimmt werden. Nach DIN EN 1127-1 kann die Zündung von Staub/Luft-Gemischen ausgeschlossen werden.

4) *Gleitstielbüschelentladungen* können auftreten, wenn bipolar geladene Schichten (z. B. Verpackungsfolien oder Beschichtungen auf leitfähigen Gegenständen) vorhanden sind. Nach einer Aufladung kann die Entladung durch ein Durchstechen von Oberflächen, elektrischen Durchschlag, Berührung der Oberfläche durch eine Person o.ä. ausgelöst werden. Gleitstielbüschelentladungen sind normalerweise sowohl für brennbare Gase als auch brennbare Stäube zündwirksam. Sie haben meist eine baumähnliche, hell leuchtende Struktur und werden von einem Knall begleitet.

5) *Schüttkegelentladungen* entstehen dort, wo hoch aufgeladenes und isolierendes Schüttgut in

¹⁸ Kiefer, Schmolke, VDE 0100 und die Praxis (VDE Verlag).

Behälter gefüllt wird und sich innerhalb des Schüttgutes Bereiche hoher Ladungsdichte ausbilden. Dies führt zu starken elektrischen Feldern im oberen Bereich der Schüttung, wo dann Entladungen auftreten können. Die Ladung ist von der Korngröße abhängig. Nimmt deren Medianwert zu, so steigt die Energie für Schüttkegelentladungen. Diese können sowohl brennbare Gas- bzw. Dampf/Luft-Gemische als auch brennbare Staub/Luft-Gemische zünden. Es ist als kritisch anzusehen, wenn sowohl grobes Korn (hohe Energie für Entladungen) als auch feiner Abrieb (niedrige Mindestzündenergie) vorhanden sind.

Um elektrostatische Ladungen zu vermeiden, werden leitfähige und ableitfähige Materialien verwendet. Nach TRGS¹⁹ 727 sind die nachfolgende Grenzwerte zu beachten:

- ▶ Ableitfähig ist ein Medium oder ein Material mit einem spezifischen Widerstand von mehr als $10^4 \Omega\text{m}$ und weniger als $10^9 \Omega\text{m}$.
- ▶ Leitfähiges Schuhwerk ist Schuhwerk mit einem Ableitwiderstand von weniger als $10^5 \Omega$. Ableitfähiges Schuhwerk ist Schuhwerk, welches ermöglicht, dass eine auf ableitfähigem Boden stehende Person einen Ableitwiderstand von höchstens $10^8 \Omega$ aufweist.
- ▶ Geerdet im elektrostatischen Sinne sind leitfähige Gegenstände, Flüssigkeiten und Schüttgüter mit einem Ableitwiderstand $R_E \leq 10^6 \Omega$ und Personen mit einem Ableitwiderstand $R_E \leq 10^8 \Omega$.

8.2 Schläuche für den Materialtransport

Um Gefahren durch elektrostatische Aufladungen zu minimieren, werden elektrisch leitende Schläuche verwendet, welche beidseitig mit dem Potentialausgleich zu verbinden sind.

Es wird zwischen leitfähigen, ableitfähigen und nichtleitenden Schläuchen unterschieden.

Nach BGR 132 gelten folgende Grenzwerte:

- Leitfähiger Schlauch $10^3 \Omega/\text{m}$
- Ableitfähiger Schlauch $10^3 \Omega/\text{m} \dots 10^6 \Omega/\text{m}$
- Isolierender Schlauch $> 10^6 \Omega/\text{m}$

8.3 Industrieböden

8.3.1 Regelwerk

Böden in explosionsgefährdeter Umgebung der Zonen 0, 1, 20 und 21 müssen ableitfähig sein. Der Ableitwiderstand muss $\leq 100 \text{ M}\Omega$ und die Meßspannung 100 VDC betragen.

▶ **SN EN 1081** (Elastische Bodenbeläge – Bestimmung des elektrischen Widerstandes) enthält das Messverfahren, nicht aber die Grenzwerte für den Ableitwiderstand. Als Meßsonde wird eine **Dreifuss-Elektrode** verwendet.

Nach BGR 132 gelten folgende Grenzwerte:

- **In explosionsgefährdeten Bereichen $< 10^8 \Omega$**
- In Bereichen mit Explosivstoffen $< 10^6 \Omega$

Die DC-Meßspannung beträgt:

¹⁹ TRGS = Technische Regeln für Gefahrstoffe

- 100 V bei einem Ableitwiderstand von $10^3 \Omega$ bis $10^6 \Omega$
- 500 V bei einem Ableitwiderstand $> 10^6 \Omega$

► **IEC 61340-5-1** (Protection of electronic devices from electrostatic phenomena) unterscheidet:

- a) Elektrostatisch leitende Fussböden (ECF) mit einem Erdableitwiderstand $< 10^6 \Omega$.
- b) Ableitfähige Fussböden (DIF) mit einem Ableitwiderstand von $10^6 \Omega$ bis $10^9 \Omega$.
- c) Astatiche Fussböden (ASF) mit einer Gehaufladung von $< 2 \text{ kV}$.

Als DC-Meßspannung gelten folgende Werte:

- 10 V für $< 10^5 \Omega$
- 100 V für $10^5 \Omega$ bis $10^{12} \Omega$

Als Meßsonde wird eine **Standardelektrode** (z.B. GMC 850) verwendet.

8.3.2 Ausführungsformen von ableitfähigen Böden

► **Kupferbandgitter** bestehen aus unter der Belagsbahn verlegten Kupferbändern, welche an Bahnenanfang und Bahnenende miteinander zu verbinden sind. An zwei Stellen des Raumes (bei Räumen $> 40 \text{ m}^2$ an mehreren Stellen) sind Anschlussmöglichkeiten für den Potentialausgleich vorzusehen.²⁰

► Bei **leitenden Schichten** wird der Untergrund mit leitfähigem Vorstrich gemäß den Verarbeitungsrichtlinien des Herstellers versehen.

► An den Anschlußstellen für den Potentialausgleich sind **Kupferbandfahnen** so einzurichten, dass sie in einer Länge von ca. 0,5 m auf dem Bodenbelagsuntergrund aufgeklebt sind. Der grösste Abstand zu einer Erdungsstelle soll 10 Meter nicht übersteigen.²¹

8.3.3 Elektrischer Widerstand von Böden

DIN EN 1081 Bestimmung des elektrischen Widerstandes	- Durchgangswiderstand - Erdableitwiderstand - Oberflächenwiderstand
DIN EN 61 340-4-1 Elektrostatischer Widerstand von Bodenbelägen und von verlegten Fußböden	- Erdableitwiderstand - Oberflächenwiderstand
DIN EN 61 340-5-1 (ESD) Schutz von elektronischen Bauelementen gegen elektrostatische Phänomene	- Erdableitwiderstand - Oberflächenwiderstand - Personenableitwiderstand

► DIN EN 1081 resp. DIN EN 61340-4-1 beschreiben das Prüfverfahren zur Bestimmung des ohmschen Widerstandes von Fussböden.

► DIN EN 61340-5-1 enthält Bestimmungen zum Schutz vor elektrostatischen Entladungen.

²⁰ Armstrong DLW, Elektrostatisches Verhalten von Bodenbelägen.

²¹ Ebd.

8.4 Meßung der elektrischen Eigenschaften von Böden

8.4.1 Messelektroden

► **Standardelektroden** (Abb. 8-1a) bestehen aus einem massiven Metallzylinder mit einem Gewicht von $\approx 2,3$ kg. Die Kontaktfläche besteht aus Leitgummi mit einem Durchmesser von 63,5 mm und einer Shore-Härte von ≈ 60 . Zum Anschluss der Messleitung ist auf der Oberseite eine Buchse angebracht.

► **Ringelektroden** (Abb. 8-1b) bestehen aus innerem Stempel und äusserem Ring, welche in einen flachen Zylinder eingebettet sind. Zur Kontaktierung der Messleitungen sind zwei Buchsen angebracht. Es wird nur eine Meßsonde benötigt, weil der elektrische Widerstand zwischen Stempel und Ring gemessen wird.

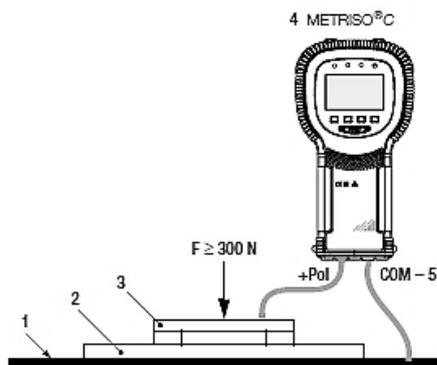
► **Dreifusselektroden** (Abb. 8-1c) dienen zur Bestimmung des Durchgangs-, Oberflächen- oder Ableitwiderstandes von Bodenbelägen.



Abb. 8-1
Ausführungsformen von Messelektroden

8.4.2 Meß- und Prüfverfahren

Die Ableitfähigkeit von Industrieböden ist durch Isolationsmessungen (Abb. 8-2) nachzuweisen.



- 1 Metallplatte
- 2 Probekörper
- 3 Dreifusselektrode
- 4 Messgerät
- 5 Messleitung

Abb. 8-2a
Messung des Durchgangswiderstandes

► Als **Durchgangswiderstand** wird der elektrische Widerstand in vertikaler Richtung bezeichnet.

► Als **Oberflächenwiderstand** wird der elektrische Widerstand in horizontaler Richtung bezeichnet. Die Elektroden befinden sich im Abstand von 1 m auf dem Boden.

► Als **Ableitwiderstand** wird der elektrische Widerstand zwischen Belagsoberseite und Untergrund (Abb. 4c) bezeichnet. Eine Meßsonde befindet sich auf dem Boden, der andere Pol der Messleitung liegt auf Erdpotential (herausgeführtes Kupferband, Gerätemasse oder Potentialausgleich).

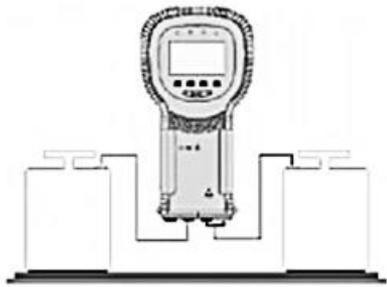


Abb. 8-2b
Messung des Oberflächenwiderstandes

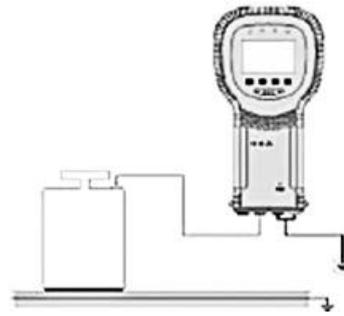


Abb. 8-2c
Messung des Ableitwiderstandes

9 Quellenverweise

9.1 Fachliteratur

B. Dyrba: Praxishandbuch Zoneneinteilung (Carl Heymanns Verlag)

W. Gohm: Explosionsschutz in der MSR-Technik (VDE Verlag)

K. Falk, K. Hofbauer: Explosionsgeschützte Elektromotoren (VDE Verlag)

André Croissant: Elektroinstallationen im Ex-Bereich (Hüthig)

H. Greiner: Elektroinstallation und Betriebsmittel in explosionsgefährdeten Bereichen (Hüthig)

9.2 Bezug von Normen

<https://shop.snv.ch/>

<https://www.beuth.de/de/norm>