



# **TRBS 2152 Teil 3**

## **Gefährliche Explosionsfähige Atmosphäre**

- Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre -

GMBI. Nr. 77 vom 20. November 2009, S. 1583

**TECHNISCHE REGELN FÜR BETRIEBSSICHERHEIT**

PUBLISHED BY KÜPPERS ENGINEERING

## **Vorbemerkung**

Diese Technische Regel für Betriebssicherheit (TRBS) gibt dem Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Hygiene entsprechende Regeln und sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse für die Bereitstellung und Benutzung von Arbeitsmitteln sowie für den Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen wieder.

Sie wird vom Ausschuss für Betriebssicherheit ermittelt und vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales im Gemeinsamen Ministerialblatt bekannt gemacht.

Die Technische Regel konkretisiert die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) hinsichtlich der Ermittlung und Bewertung von Gefährdungen sowie der Ableitung von geeigneten Maßnahmen. Bei Anwendung der beispielhaft genannten Maßnahmen kann der Arbeitgeber insoweit die Vermutung der Einhaltung der Vorschriften der Betriebssicherheitsverordnung für sich geltend machen. Wählt der Arbeitgeber eine andere Lösung, hat er die gleichwertige Erfüllung der Verordnung schriftlich nachzuweisen.

## Inhalt

- |   |  |
|---|--|
| 1 Anwendungsbereich   | 5.8 Blitzschlag  |
| 2 Begriffsbestimmungen  | 5.9 Elektromagnetische Felder im Bereich der Frequenzen von $9 \times 10^3$ Hz bis $3 \times 10^{11}$ Hz   |
| 2.1 Zündquelle  | 5.10 Elektromagnetische Strahlung im Bereich der Frequenzen von $3 \times 10^{11}$ Hz bis $3 \times 10^{15}$ Hz bzw. Wellenlängen von $1000 \mu\text{m}$ bis $0,1 \mu\text{m}$ (optischer Spektralbereich) |
| 2.2 Wirksame Zündquelle   | 5.11 Ionisierende Strahlung  |
| 3 Ermittlung und Vermeidung wirksamer Zündquellen – Allgemeines | 5.12 Ultraschall   |
| 4 Ermittlung von Zündquellen                                    | 5.13 Adiabatische Kompression, Stoßwellen, strömende Gase  |
| 5 Vermeidung des Wirksamwerdens von Zündquellen                 | 5.14 Chemische Reaktionen  |
| 5.1 Allgemeines   | Anhang   |
| 5.2 Heiße Oberflächen   |  |
| 5.3 Flammen und heiße Gase                                      |  |
| 5.4 Mechanisch erzeugte Funken                                  |  |
| 5.5 Elektrische Anlagen   |  |
| 5.6 Elektrische Ausgleichsströme, kathodischer Korrosionsschutz |  |
| 5.7 Statische Elektrizität                                      |  |

## 1 Anwendungsbereich

Anwendungsbereich Diese Technische Regel konkretisiert die Anforderungen der Betriebssicherheitsverordnung zur Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre in Folge des Wirksamwerdens von Zündquellen. Ferner findet sie Anwendung bei der Ermittlung der hierfür relevanten Inhalte des Explosionsschutzdokuments nach § 6 BetrSichV.

## 2 Begriffsbestimmungen

### 2.1 Zündquelle

Eine Zündquelle ist bedingt durch einen physikalischen, chemischen oder technischen Vorgang, Zustand oder Arbeitsablauf, der geeignet ist, die Entzündung einer explosionsfähigen Atmosphäre auszulösen.

### 2.2 Wirksame Zündquelle

Eine wirksame Zündquelle ist eine Zündquelle, die in der zu betrachtenden explosionsfähigen Atmosphäre eine Entzündung auslösen kann.

## 3 Ermittlung und Vermeidung wirksamer Zündquellen – Allgemeines

- (1) Zur Vermeidung der Entzündung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre sind mögliche Zündquellen zu identifizieren und Maßnahmen gegen das Wirksamwerden von Zündquellen zu treffen. Zu diesen Maßnahmen gehören:
  - Bereitstellung von geeigneten Arbeitsmitteln einschließlich Anlagenteilen und Verbindungsvorrichtungen
  - Benutzung der Arbeitsmittel so, dass Zündquellen nicht wirksam werden
  - Montage, Installation und Betrieb der überwachungsbedürftigen Anlagen so, dass Zündquellen nicht wirksam werden.

*Hinweis: Bevor Maßnahmen nach Satz 1 ergriffen werden, sollte geprüft werden, ob die Arbeitsmittel oder Vorgänge mit Zündquellen aus dem betrachteten explosionsgefährdeten Bereich verlagert werden können.*

- (2) Die Wirksamkeit von Zündquellen, d. h. die Fähigkeit explosionsfähige Atmosphäre zu entzünden, hängt u. a. von der Energie der Zündquelle und von den Eigenschaften der explosionsfähigen Atmosphäre ab.
- (3) Lässt sich die Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens einer Zündquelle entsprechend der Zulässigkeit nach der Zoneneinteilung des Bereichs, in dem sie sich befindet, nicht abschätzen, ist die Zündquelle als dauernd wirksam zu betrachten.
- (4) Für eine Reihe von Zündquellen sind Grenzwerte angegeben, bei deren Einhaltung eine Zündgefahr ausgeschlossen werden kann. Dies bedeutet aber nicht, dass bei Nichteinhaltung dieser Werte explosionsfähige Atmosphäre in jedem Fall entzündet wird. Vielmehr ist in diesen Fällen festzulegen, ob und in welchem Umfang andere Schutzmaßnahmen erforderlich sind.

## 4 Ermittlung von Zündquellen

- (1) Mögliche Zündquellen, die einzeln oder in Kombination auftreten können, sind
- heiße Oberflächen,
  - Flammen und heiße Gase,
  - mechanisch erzeugte Funken,
  - elektrische Anlagen,
  - elektrische Ausgleichsströme, kathodischer Korrosionsschutz,
  - statische Elektrizität,
  - Blitzschlag,
  - elektromagnetische Felder im Bereich der Frequenzen von  $9 \times 10^3$  Hz bis  $3 \times 10^{11}$  Hz,
  - elektromagnetische Strahlung im Bereich der Frequenzen von  $3 \times 10^{11}$  Hz bis  $3 \times 10^{15}$  Hz bzw. Wellenlängen von  $1.000 \mu\text{m}$  bis  $0,1 \mu\text{m}$  (optischer Spektralbereich),
  - ionisierende Strahlung,
  - Ultraschall,
  - adiabatische Kompression, Stoßwellen, strömende Gase,
  - chemische Reaktionen.
- (2) Bei der Beurteilung möglicher Zündquellen haben Ablagerungen brennbaren Staubes eine besondere Bedeutung. Die entsprechenden speziellen Maßnahmen sind in Nummern 5.2.6 bis 5.2.8 sowie 5.14.2 zu finden.

## 5 Vermeidung des Wirksamwerdens von Zündquellen

### 5.1 Allgemeines

- (1) Die zu treffenden Maßnahmen sollen Zündquellen unwirksam machen oder die Wahrscheinlichkeit ihres Wirksamwerdens verringern. Der Umfang der Schutzmaßnahmen richtet sich nach der Wahrscheinlichkeit des Auftretens gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre.
- (2) In explosionsgefährdeten Bereichen sind zu vermeiden:
- in Zone 2 und 22: Zündquellen, die ständig oder häufig auftreten können,
  - in Zone 1 und 21: neben den für Zone 2 bzw. 22 genannten Zündquellen auch Zündquellen, die gelegentlich auftreten können, z. B. bei vorhersehbaren Störungen eines Arbeitsmittels, und
  - in Zone 0 und 20: neben den für Zone 1 bzw. 21 genannten Zündquellen auch Zündquellen, die selten auftreten können.

*Hinweis: Die Häufigkeit des Auftretens von Zündquellen wird an der Dauer des Prozesses oder Arbeitsschrittes/-verfahrens gemessen.*

- (3) Sofern im Explosionsschutzdokument unter Zugrundelegung der Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung nichts anderes vorgesehen ist, sind in explosionsgefährdeten Bereichen Geräte und Schutzsysteme entsprechend den Kategorien gemäß der Explosionsschutzverordnung (11. GPSGV) i. V. mit der Richtlinie 94/9/EG auszuwählen (siehe **Tabelle 1**).

**Tabelle 1:** Zuordnung Gerätekategorie - Zonen gemäß Absatz 2

in Zone	verwendete Kategorie	ausgelegt für
0	II 1 G	Gas/Luft-Gemisch bzw. Dampf/ Luft-Gemisch bzw. Nebel
1	II 1 G oder 2 G	Gas/Luft-Gemisch bzw. Dampf/ Luft-Gemisch bzw. Nebel
2	II 1 G oder 2 G oder 3 G	Gas/Luft-Gemisch bzw. Dampf/ Luft-Gemisch bzw. Nebel
20	II 1 D	Staub/Luft-Gemisch
21	II 1 D oder 2 D	Staub/Luft-Gemisch
22	II 1 D oder 2 D oder 3 D	Staub/Luft-Gemisch

G = Gase, Dämpfe oder Nebel    D = Staub oder Staubschichten

- (4) Der vom Gerätehersteller in der Betriebsanleitung der Geräte vorgesehene Einsatzbereich (z. B. bezüglich Umgebungstemperatur, Druck, Temperaturklasse, Explosionsgruppe usw.) ist dabei zu beachten.
- (5) Ist der Einsatz von Arbeitsmitteln, die als Zündquelle wirksam werden können, in explosionsgefährdeten Bereichen erforderlich (z. B. Kraftfahrzeuge, Schweißgeräte, Messgeräte), so ist dafür zu sorgen, dass während des Einsatzes explosionsfähige Atmosphäre in gefährdender Menge nicht auftreten kann. Dies kann bei Gasen und Dämpfen messtechnisch z. B. durch Gaswarngeräte überwacht werden.

- (6) Können innerhalb eines explosionsgefährdeten Bereiches mehrere Arten von brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben (z. B. auch hybride Gemische) zeitgleich auftreten, sind die Schutzmaßnahmen zur Vermeidung von Zündquellen auf die Zündempfindlichkeit der jeweiligen Zusammensetzung abzustimmen.

*Hinweis: Ist über die Zündempfindlichkeit dieser Zusammensetzung nichts bekannt, wird es als ausreichend sicher angesehen, die Schutzmaßnahmen zur Vermeidung von Zündquellen auf die zündempfindlichste Einzelkomponente auszulegen.*

Bemerkung:

Brennbare Gase und Dämpfe werden nach ihrer flammendurchschlagsicheren Spaltweite oder nach ihrer Mindestzündenergie in die Explosionsgruppen II A, II B und II C eingeteilt. Die Explosionsgruppen charakterisieren auch die Zündempfindlichkeit für elektrische und elektrostatische Entladungen und für mechanische Zündquellen.

- (7) Zur Vermeidung einiger der im Folgenden beschriebenen Zündgefahren bei Gasen und Dämpfen ist auch der Einsatz von Gaswarngeräten oder geeigneten prozessleittechnischen Einrichtungen (PLT) möglich. Bei entsprechender Auswahl des Alarm- und des Schaltpunktes können vor der automatischen Schaltung zunächst Maßnahmen entsprechend Betriebsanweisung ausreichend sein. Für die Verwendung von Gaswarngeräten müssen zusätzlich die in Abschnitt TRBS 2152 Teil 2 Nummer 2.5.1 genannten Voraussetzungen (Absatz 2 Nummern 5 und 6 angenommen) sowie Prüf-, Betriebs- und Wartungsbedingungen erfüllt sein.

*Hinweis: PLT-Einrichtungen sind Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtungen im Sinne der Richtlinie 94/9/EG, sofern sie im Hinblick auf die Vermeidung von Zündgefahren für den sicheren Betrieb von Geräten und Schutzsystemen verwendet werden.*

- (8) Elektrische Produkte für den persönlichen Gebrauch, z. B. Armbanduhren, Hörgeräte, Langzeit-EKG-Aufnehmer, müssen ebenfalls hinsichtlich ihrer Zündgefahr betrachtet werden.

## 5.2 Heiße Oberflächen

Ziel der Schutzmaßnahmen ist die Verhinderung der Entzündung explosionsfähiger Atmosphäre durch das Wirksamwerden einer heißen Oberfläche als Zündquelle.

### 5.2.1 Hinweise für die Gefährdungsbeurteilung

- (1) Kommt explosionsfähige Atmosphäre mit heißen Oberflächen (heiße Rohrleitungen, Heizkessel usw.) in Berührung, kann es zu einer Entzündung kommen.
- (2) Grundlage der Bewertung ist die genormte Zündtemperatur der die explosionsfähige Atmosphäre bildenden Stoffe. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Zündfähigkeit einer heißen Oberfläche u. a. von der Art und der Konzentration des jeweiligen Stoffes im Gemisch mit Luft, von Größe und Gestalt des heißen Körpers und vom Wandmaterial abhängt.

Bemerkung 1:

Explosionsfähige Atmosphäre kann z. B. im Inneren größerer erhitzter Räume durch heiße Wände mit deutlich niedrigerer Temperatur als die der Norm-Zündtemperatur des Brennstoffs entzündet werden.

Bemerkung 2:

Zur Entzündung explosionsfähiger Atmosphäre an heißen konvexen Körpern ist eine höhere Wandtemperatur erforderlich; sie nimmt z. B. an Kugeln oder an geraden Rohren mit abnehmendem Durchmesser zu. Die genormte Zündtemperatur ist für die meisten Fälle der Praxis für die Entzündung an konvexen Körpern eine sichere Grenztemperatur.

Bemerkung 3:

Beim Vorbeiströmen explosionsfähiger Atmosphäre an erhitzten Oberflächen kann zur Entzündung eine höhere Wandtemperatur erforderlich sein.

- (3) Neben betriebsmäßig heißen Oberflächen wie Heizkörpern, Trockenschränken und anderen können auch mechanische Vorgänge durch Reibung oder Spanabhebung (z. B. Bohren) im Bereich der beanspruchten Oberflächen zu gefährlichen Temperaturen führen. Auch an Arbeitsmitteln, die mechanische Energie in Verlustwärme überführen, d. h. alle Arten von Reibungskupplungen und mechanisch wirkenden Bremsen (z. B. an Fahrzeugen und Zentrifugen), kann es deshalb zu betriebsbedingten heißen Oberflächen kommen. Weiterhin können deshalb drehende Teile in Lagern, Wellendurchführungen, Stopfbuchsen usw. bei ungenügender Schmierung zu Zündquellen werden. Wenn sich Teile in engen Gehäusen drehen, können auch durch Eindringen von Fremdkörpern in den Spalt zwischen drehendem Teil und Gehäuse oder durch Achsverlagerungen Reibvorgänge stattfinden, die unter Umständen schon in kurzer Zeit sehr hohe Oberflächentemperaturen hervorrufen.
- (4) Elektromagnetische Strahlung kann durch Absorption zu gefährlicher Temperaturerhöhung z. B. eines Werkstücks oder Reaktionsprodukts führen (z. B. bei Strahlungstrocknern), siehe auch Nummer 5.9 und 5.10.

### 5.2.2 Allgemeine Schutzmaßnahmen für alle Zonen

- (1) In Abhängigkeit von der vorliegenden Zone darf die maximale Oberflächentemperatur von Anlagenteilen, die in Kontakt mit explosionsfähiger Atmosphäre stehen, einen bestimmten festgelegten Sicherheitsabstand (siehe Nummer 5.2.3 bis 5.2.8) zu der der Temperaturklasse zugehörigen Grenztemperatur (oder zur Zündtemperatur) nicht unterschreiten.
- (2) Die in Nummer 5.2.3 bis 5.2.8 genannten Temperaturgrenzen dürfen in besonderen Fällen (z. B. bei sehr kleinen heißen Oberflächen) überschritten werden, wenn gesicherte Erkenntnisse vorliegen, dass keine Entzündung zu erwarten ist.
- (3) Wenn sich bei der Gefährdungsbeurteilung ergibt, dass unterhalb der genormten Zündtemperatur eine Entzündung der Atmosphäre nicht auszuschließen ist (z. B. in großen konkaven Gebilden wie Behältern mit einheitlicher Oberflächentemperatur), müssen die zulässigen Temperaturen der Oberflächen, die mit explosionsfähiger Atmosphäre in Berührung kommen können, im Einzelfall festgelegt werden.
- (4) Bei Geräten und ggf. bei Komponenten und Schutzsystemen nach der Explosionsschutzverordnung (11. GPSGV) i. V. mit der Richtlinie 94/9/EG wird die maximale Oberflächentemperatur vom Hersteller bei seiner Zündgefahrenbewertung ermittelt. Wenn Geräte, Komponenten oder Schutzsysteme der Kategorien 1G bis 3G nach Explosionsschutzverordnung (11. GPSGV) mit Temperaturklasse, niedrigster zulässiger Zündtemperatur einer explosionsfähigen Atmosphäre oder den explosionsfähigen Atmosphären, für die sie geeignet sind, gekennzeichnet sind, sind Sicherheitsab-

stände bereits berücksichtigt, so dass sie ohne weitere Sicherheitsabstände in den entsprechenden explosionsfähigen Atmosphären eingesetzt werden dürfen. Im Gegensatz dazu sind Geräte der Kategorien 1D bis 3D mit der maximalen Oberflächentemperatur ohne Einrechnung eines Sicherheitsabstandes gekennzeichnet. Für die Einhaltung des Sicherheitsabstandes in diesem Fall siehe Nummer 5.2.6 bis 5.2.8.

- (5) Brennbare Gase und Dämpfe werden nach ihrer Zündtemperatur in Temperaturklassen eingeteilt. Für explosionsfähige Atmosphären aus Stoffen einer Temperaturklasse ist in der Regel der jeweils untere Wert der Zündtemperatur ihrer Temperaturklasse die Grundlage für die Festlegung der maximal zulässigen Oberflächentemperaturen (siehe Tabelle 2).

**Tabelle 2:** Zusammenhang zwischen Temperaturklasse und Zündtemperatur

Temperaturklasse	Zündtemperatur ( $T_z$ ) in °C
T1	$T_z > 450$
T2	$300 < T_z \leq 450$
T3	$200 < T_z \leq 300$
T4	$135 < T_z \leq 200$
T5	$100 < T_z \leq 135$
T6	$85 < T_z \leq 100$

### 5.2.3 Schutzmaßnahmen für Zone 0

- (1) In Zone 0 dürfen sich Oberflächen - selbst bei selten auftretenden Betriebsstörungen - nicht gefährlich erwärmen. Dazu muss durch wirksame Überwachung und Begrenzung sichergestellt und durch Kontrolle der Wirksamkeit nachgewiesen sein, dass die Temperaturen der Oberflächen, die mit explosionsfähiger Atmosphäre in Berührung kommen können, 80 % der Zündtemperatur oder des zur Temperaturklasse gehörigen unteren Wertes der Zündtemperatur nicht überschreiten. Dabei sind auch Temperaturerhöhungen durch z. B. Wärmestau und chemische Reaktionen zu beachten.
- (2) Absatz 1 Satz 1 gilt beispielsweise als erfüllt, wenn die zulässige Temperatur durch den Sattdampfdruck einer Flüssigkeit sicher eingehalten ist (Dampfheizung).

### 5.2.4 Schutzmaßnahmen für Zone 1

- (1) In Zone 1 sind Oberflächentemperaturen so zu begrenzen, dass sie nur selten 80 % der Zündtemperatur überschreiten können.
- (2) Eine dauerhafte Überschreitung der Oberflächentemperatur nach Absatz 1 bis zur Zündtemperatur ist zulässig, wenn die Oberflächentemperatur unter den Betriebsverhältnissen sicher begrenzt bleibt.

### 5.2.5 Schutzmaßnahmen für Zone 2

- (1) In Zone 2 darf beim Normalbetrieb die Temperatur von Oberflächen die Zündtemperatur nicht überschreiten.
- (2) Arbeitsmittel mit Oberflächentemperaturen oberhalb der Zündtemperatur sind insbesondere in Freianlagen in Sonderfällen zulässig, wenn hinreichende Sicherheit durch die betrieblichen Verhältnisse (z. B. erhöhte Strömung der explosionsfähigen Atmosphäre durch Windbewegung) gewährleistet ist (siehe Nummer 5.2.1 Abs. 2).

### 5.2.6 Schutzmaßnahmen für Zone 20

- (1) In Zone 20 muss die Temperatur sämtlicher Oberflächen, die mit Staubwolken in Berührung kommen können, ausreichend niedrig sein. Dies ist erfüllt, wenn 2/3 der Mindestzündtemperatur der betreffenden Staubwolke nicht überschritten wird, auch nicht bei selten auftretenden Betriebsstörungen.
- (2) Darüber hinaus muss die Temperatur von Oberflächen, auf denen sich Staub ablagern kann, um einen Sicherheitsabstand niedriger sein als die Mindestzündtemperatur der dicksten Schicht, die sich aus dem betreffenden Staub bilden kann; dies muss auch bei selten auftretenden Betriebsstörungen gewährleistet sein. Falls die Schichtdicke unbekannt ist, muss die dickste vorhersehbare Schicht angenommen werden. Wenn in der Gefährdungsbeurteilung nichts anderes festgelegt wurde, ist ein Sicherheitsabstand von 75 K zwischen der Mindestzündtemperatur einer Staubschicht und der Oberflächentemperatur des Arbeitsmittels ausreichend.

*Hinweis 1: Bei dickeren Staubschichten tritt ein größerer isolierender Effekt auf, welcher zu höheren Oberflächentemperaturen des Arbeitsmittels führt.*

*Hinweis 2: Der Abstand von 75 K gilt nur für Staubbicken von max. 5 mm.*

### 5.2.7 Schutzmaßnahmen für Zone 21

- (1) In Zone 21 muss die Temperatur sämtlicher Oberflächen, die mit Staubwolken in Berührung kommen können, ausreichend niedrig sein. Dies ist erfüllt, wenn 2/3 der Mindestzündtemperatur in °C der betreffenden Staubwolke nicht überschritten wird, auch nicht bei Betriebsstörungen.
- (2) Darüber hinaus muss die Temperatur von Oberflächen, auf denen sich Staub ablagern kann, um einen Sicherheitsabstand niedriger sein als die Mindestzündtemperatur der dicksten Schicht, die sich aus dem betreffenden

Staub bilden kann; dies muss auch bei Betriebsstörungen gewährleistet sein.

Wenn in der Gefährdungsbeurteilung nichts anderes festgelegt wurde, ist ein Sicherheitsabstand von 75 K zwischen der Mindestzündtemperatur einer Staubschicht und der Oberflächentemperatur des Arbeitsmittels ausreichend.

*Hinweis 1: Bei dickeren Staubschichten tritt ein größerer isolierender Effekt auf, welcher zu höheren Oberflächentemperaturen des Arbeitsmittels führt.*

*Hinweis 2: Der Abstand von 75 K gilt nur für Staubdicken von max. 5 mm.*

### 5.2.8 Schutzmaßnahmen für Zone 22

- (1) In Zone 22 muss beim Normalbetrieb die Temperatur von Oberflächen, die mit Staubwolken in Berührung kommen können, ausreichend niedrig sein. Dies ist erfüllt, wenn 2/3 der Mindestzündtemperatur nicht überschritten wird.
- (2) Darüber hinaus muss die Temperatur von Oberflächen, auf denen sich Staub ablagern kann, um einen Sicherheitsabstand niedriger sein als die Mindestzündtemperatur der dicksten Schicht, die sich aus dem betreffenden Staub bilden kann.

Wenn in der Gefährdungsbeurteilung nichts anderes festgelegt wurde, ist ein Sicherheitsabstand von 75 K zwischen der Mindestzündtemperatur einer Staubschicht und der Oberflächentemperatur des Arbeitsmittels ausreichend.

*Hinweis 1: Dicke Staubschichten können wegen ihrer thermischen Isolationswirkung zu einer Erhöhung der Oberflächentemperatur führen.*

*Hinweis 2: Der Abstand von 75 K gilt nur für Staubdicken von max. 5 mm.*

### 5.3 Flammen und heiße Gase

Heiße Gase, die eine wirksame Zündquelle bilden können, und Flammen sind zu vermeiden.

#### 5.3.1 Hinweise für die Gefährdungsbeurteilung

- (1) Flammen sind das Ergebnis exothermer chemischer Reaktionen, die bei Temperaturen von etwa 1000 °C und mehr schnell ablaufen. Sowohl die Flammen selbst als auch die heißen Reaktionsprodukte können explosionsfähige Atmosphäre entzünden.
- (2) Befindet sich explosionsfähige Atmosphäre sowohl innerhalb als auch außerhalb einer Apparatur oder in benachbarten Anlagenteilen, so kann bei Entzündung in einem der Bereiche die Flamme durch Öffnungen wie z. B. Entlüftungsleitungen in den anderen Bereich übertragen werden. Das Verhindern eines Flammendurchschlages erfordert spezielle konstruktive Schutzmaßnahmen (siehe TRBS 2152 Teil 4).

*Hinweis: Besondere Vorsicht ist beim Vorhandensein von sublimationsfähigen Stoffen, z. B. Schwefel, geboten (durch Sublimation wird Wiederentzünden, z. B. hinter einer flammendurchschlagsicheren Einrichtung, möglich).*

#### 5.3.2 Schutzmaßnahmen für Zonen 0 und 20

- (1) In den Zonen 0 und 20 dürfen Einrichtungen mit Flammen nicht verwendet werden. Gase aus Flammenreaktionen, z. B. Abgase zum Zweck des Inertisierens und sonstige erwärmte Gase dürfen in die Zonen 0 und 20 nur unter Anwendung von für den Einzelfall festzulegenden speziellen Schutzmaßnahmen eingeleitet werden.

*Hinweis: Diese speziellen Schutzmaßnahmen beziehen sich neben dem Begrenzen der Temperatur auch auf das Abscheiden von zündfähigen Partikeln und das Verhindern von Gasrückströmung und Flammendurchschlägen.*

### 5.3.3 Schutzmaßnahmen für Zonen 1 und 2 sowie 21 und 22

(1) In Zone 1 und 2 sowie 21 und 22 sind Einrichtungen mit Flammen nur zulässig, wenn die Flammen sicher eingeschlossen sind und die in Nummer 5.2 festgelegten Temperaturen an den Außenflächen der Anlagenteile nicht überschritten werden. Bei Arbeitsmitteln mit eingeschlossenen Flammen (z. B. Flammen-Ionisations-Detektoren oder spezielle Heizungsanlagen) ist ferner zu gewährleisten, dass der Einschluss gegen die Einwirkung von Flammen ausreichend beständig ist und einen Flammendurchschlag in den Gefahrenbereich sicher verhindert.

Die bei Verbrennungsprozessen benötigte Luft darf aus der Zone 1 oder 2 bzw. 21 oder 22 nur entnommen werden, wenn die durch die Entnahme explosionsfähiger Atmosphäre bedingten Gefahren (z. B. ein Flammrückschlag in den explosionsgefährdeten Bereich) durch entsprechende Schutzmaßnahmen vermieden werden (siehe TRBS 2152 Teil 4).

(2) Heiße Gase dürfen in die Zonen 1 und 2 sowie 21 und 22 eingeleitet werden, wenn sie an der Eintrittsstelle die explosionsfähige Atmosphäre nicht entzünden können. Dies ist z. B. gewährleistet, wenn die Temperatur der heißen Gase die Zündtemperatur der explosionsfähigen Atmosphäre nicht überschreitet. Auch abgelagerte Stäube dürfen nicht entzündet werden. Als Kriterium für diese Forderung können die Mindestzündtemperaturen bzw. die Glühmtemperaturen der Stäube dienen.

*Hinweis: Hinsichtlich der Schutzmaßnahmen bei glühenden Feststoffpartikeln (Funkenflug) wird auf Nummer 5.4 (mechanisch erzeugte Funken) und hinsichtlich Flammendurchschlag auf TRBS 2152 Teil 4 verwiesen.*

### 5.4 Mechanisch erzeugte Funken

Mechanisch erzeugte Funken, die eine wirksame Zündquelle bilden können, sind zu vermeiden.

#### 5.4.1 Hinweise für die Gefährdungsbeurteilung

- (1) Durch Reib-, Schlag- und Abtragvorgänge, z. B. beim Schleifen, können aus festen Materialien Teilchen abgetrennt werden, die eine erhöhte Temperatur auf Grund der beim Trennvorgang aufgewandten Energie annehmen. Bestehen die Teilchen aus oxidierbaren Stoffen, wie Eisen oder Stahl, können sie einen Oxidationsprozess durchlaufen, wobei sie sich weiter erhitzen können. Diese Teilchen (Funken) können brennbare Gase und Dämpfe sowie Staub-/Luft-Gemische (insbesondere Metallstaub-/Luft-Gemische) entzünden. In abgelagertem Staub können darüber hinaus durch Funken Glimmnester entstehen, die dann zur Zündquelle für eine explosionsfähige Atmosphäre werden können.
- (2) Das Eindringen von Fremdmaterialien, z. B. von Steinen oder Metallstücken, in Anlagenteile muss als Ursache von Funken berücksichtigt werden.
- (3) Reibung, sogar zwischen einander ähnlichen Eisenmetallen und zwischen bestimmten keramischen Materialien, kann örtliches Erhitzen und Funken ähnlich den Schleiffunken verursachen. Dadurch kann explosionsfähige Atmosphäre entzündet werden.
- (4) Ein einzelner durch einfache Werkzeuge (z. B. Schraubenschlüssel, Zange, Schraubendreher) und einfache Geräte (z. B. Leiter) erzeugter Funke führt nur in seltenen Fällen zur Entzündung explosionsfähiger Atmosphäre. Davon abweichend ist in explosionsfähigen Atmosphären aus einem oder mehreren der Gasen der Explosionsgruppe IIC (Acetylen, Schwefelkohlenstoff, Wasserstoff) sowie Schwefelwasserstoff, Kohlenmonoxid und Ethylenoxid jedoch stets die Möglichkeit einer Entzündung zu unterstellen.

- (5) Reib-, Schlag- und Abtragvorgänge, bei denen Rost und Leichtmetalle (z. B. Aluminium und Magnesium) und ihre Legierungen beteiligt sind, können stark exotherme, funkenbildende Reaktionen auslösen, durch die explosionsfähige Atmosphäre entzündet werden kann.
- (6) Auch beim Schlagen oder Reiben von Titan oder Zirkonium gegen ausreichend harte Materialien können zündfähige Funken entstehen, sogar bei Abwesenheit von Rost.
- (7) Beim Schweißen und Schneiden entstehende Schweißperlen sind Funken mit sehr großer Oberfläche, sie gehören zu den besonders wirksamen Zündquellen. Ähnliche Funken entstehen auch beim Schleifen oder Trennen. Es ist dabei zu beachten, dass diese zündfähigen Funken über weite Strecken auch in explosionsgefährdete Bereiche getragen werden können.
- (8) Eine erhöhte Zündgefahr besteht in allen Zonen dann, wenn mit einer aluminothermischen Reaktion (Thermitreaktion) zu rechnen ist. Schlägt man z. B. auf eine rostige Stahlfläche, die mit einer Aluminiumfolie bedeckt ist, mit einem Anstrich von Aluminiumfarbe versehen ist oder auf der Aluminiumabrieb oder Aluminiumspäne liegen, bilden sich sehr leicht Funken von großer Zündwirksamkeit aus. So entstehen auch Funken, wenn auf Bauteile aus Aluminium rostige Teile schlagen oder auf solchen Bauteilen Flugrost liegt und Schläge auf diese Stellen geführt werden.
- (9) Wenn zur Erreichung einer besseren elektrostatischen Ableitfähigkeit von Fußböden Aluminiumfarben oder Aluminiumbeschichtungen verwendet werden, ist die Bildung zündfähiger Funken nicht zu unterstellen, sofern der Aluminiumgehalt der Farben und Beschichtungen in gealtertem, trockenem Zustand unter 25 % Massenanteile liegt. In Abhängigkeit der verschiedenen Bindemittel und Füllstoffe kann diese Grenze auch bis zu einem Anteil von 45 % Massenanteile ausgedehnt werden.

#### **5.4.2 Schutzmaßnahmen für alle Zonen**

- (1) Wenn die in 5.4.1 Absatz 9 genannten Grenzwerte überschritten werden können oder die genaue Zusammensetzung des Aluminiumanstrichs nicht bekannt ist, ist dafür Sorge zu tragen, dass während Arbeitsvorgängen mit Stahlgegenständen gewährleistet ist, dass explosionsfähige Atmosphäre in gefahrdrohender Menge nicht vorhanden ist oder entstehen kann.
- (2) Beispiele für den Einsatz von Werkzeugen in explosionsgefährdeten Bereichen sind im Anhang aufgeführt.

#### **5.4.3 Schutzmaßnahmen für Zonen 0 und 20**

- (1) In den Zonen 0 und 20 dürfen selbst bei selten auftretenden Betriebsstörungen keine zündfähigen Reib-, Schlag- oder Schleiffunken auftreten.
- (2) In den Zonen 0 und 20 sind Reibvorgänge zwischen Aluminium, Magnesium, Zirkonium und Titan (ausgenommen Legierungen mit weniger als insgesamt 10 % Massenanteile der genannten Metalle und insgesamt nicht mehr als 7,5 % Massenanteile Mg, Zr, Ti) und Eisen oder Stahl (ausgenommen nicht rostender Stahl, wenn die Anwesenheit von Rostpartikeln ausgeschlossen werden kann) auszuschließen. Reib- und Schlagvorgänge zwischen Titan oder Zirkonium und jeglichem harten Werkstoff sind zu vermeiden.

#### **5.4.4 Schutzmaßnahmen für Zonen 1 und 21**

In den Zonen 1 und 21 sind nach Möglichkeit die Forderungen für die Zonen 0 und 20 zu erfüllen. Werkstoffe dürfen nicht mehr als 7,5 % Massenanteile Magnesium enthalten. Sind jedoch Arbeitsvorgänge, bei denen zündfähige Reib-, Schlag- oder Schleiffunken auftreten können, erforderlich, so müssen Funken durch geeignete Maßnahmen vermieden oder abgeschirmt werden.

Dies gilt beispielsweise bei Einhaltung der folgenden Maßnahmen als erfüllt:

- Wasserkühlung an der Schleifstelle,
- Abscheiden zündfähiger Partikel in Abgasen z. B. in Wasservorlagen.

*Hinweis: Die Entstehung zündfähiger Reib- und Schlagfunken lässt sich durch Wahl günstiger Materialkombinationen einschränken. Bei Arbeitsmitteln mit bewegten Teilen ist an den möglichen Reib-, Schlag- oder Schleifstellen die Materialkombination Leichtmetall und Stahl (ausgenommen nicht rostender Stahl) grundsätzlich zu vermeiden.*

#### **5.4.5 Schutzmaßnahmen für Zonen 2 und 22**

In den Zonen 2 und 22 ist es in der Regel ausreichend, die für die Zonen 1 und 21 beschriebenen Schutzmaßnahmen lediglich gegen ständig oder häufig zu erwartende zündfähige Funken durchzuführen.

#### **5.5 Elektrische Anlagen**

Zündquellen durch elektrische Anlagen müssen vermieden werden.

Hinweis: Elektrische Anlagen im Sinne dieser TRBS sind einzeln installierte oder zusammenschaltete Geräte, Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtungen sowie deren Verbindungsvorrichtungen, die elektrische Energie erzeugen, umwandeln, speichern, fortleiten, verteilen, messen, steuern oder verbrauchen. Hierzu können auch Einrichtungen der Prozessleittechnik und Informationstechnik gehören. Bei den nachstehenden Anforderungen ist vorausgesetzt, dass die grundlegenden elektrotechnischen und sicherheitstechnischen Anforderungen an solche Anlagen und Einrichtungen eingehalten sind.

#### **5.5.1 Hinweise für die Gefährdungsbeurteilung**

Bei elektrischen Anlagen können - selbst bei geringen Spannungen - elektrische Funken (z. B. beim Öffnen und Schließen elektrischer Stromkreise und bei Ausgleichsströmen (vgl. Nummer 5.6)) und heiße Oberflächen (vgl. Nummer 5.2) als wirksame Zündquellen auftreten.

*Hinweis: Die Verwendung von Schutzkleinspannung (z. B. 42 Volt) ist keine Maßnahme des Explosionsschutzes, da auch bei kleineren Spannungen die Entzündung explosionsfähiger Atmosphäre möglich ist.*

#### **5.5.2 Allgemeine Schutzmaßnahmen**

##### **5.5.2.1 Allgemeine Anforderungen**

Abschnitt 5.5.2.1 gilt nicht für Conduit-Systeme, Anforderungen an Montage, Installation und Betrieb dieser Systeme sind im Einzelfall festzulegen.

*Hinweis: Auch ortsveränderliche Betriebsmittel und Prüfeinrichtungen sind Arbeitsmittel oder überwachungsbedürftige Anlagen im Sinne der BetrSichV. Dazu gehören auch Steckverbindungen und Kupplungen.*

- (1) Elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen müssen auch den Anforderungen für elektrische Anlagen in nichtexplosionsgefährdeten Bereichen entsprechen.
- (2) Elektrische Betriebsmittel und Leitungsverbindungen in explosionsgefährdeten Bereichen sowie Einrichtungen, die zu deren sicherem Betrieb dienen, müssen in Übereinstimmung mit den Abschnitten 5.5.2.2 bis 5.5.2.6 und den zusätzlichen Anforderungen an die jeweilige Zündschutzart (Abschnitte 5.5.3 bis 5.5.6) ausgewählt, montiert und installiert sein.

- (3) Kabel- und Leitungseinführungen müssen für die jeweilige Zündschutzart geeignet sein.
- (4) Elektrische Anlagen müssen so ausgelegt und elektrische Betriebsmittel so montiert und installiert werden, dass ein leichter Zugang für die Prüfung und Instandhaltung gewährleistet ist.
- (5) Elektrische Kabel und Leitungen sind von Rohrleitungen, mit Ausnahme von elektrischen Begleitheizungen, getrennt zu verlegen.

#### 5.5.2.2 Auswahl elektrischer Betriebsmittel

Elektrische Betriebsmittel müssen so ausgewählt und installiert sein, dass sie gegen äußere Einflüsse geschützt sind, die ihre erforderliche Zündquellenfreiheit nachteilig beeinflussen können (z. B. chemische, mechanische, thermische und elektrische/elektromagnetische Einwirkung, Schwingung oder Feuchte, Ansammlung elektrisch leitfähiger Stäube).

*Bemerkung: Zur Vermeidung von Funken und Überlast müssen bei drehenden elektrischen Maschinen in senkrechter Anordnung Vorkehrungen getroffen werden, die das Hineinfallen von Fremdkörpern in die Lüftungsöffnungen verhindern.*

#### 5.5.2.3 Schutz gegen das Auftreten gefährlicher (zündfähiger) Funken

##### 5.5.2.3.1 Gefährdung durch aktive Teile

Um die Bildung von Funken zu vermeiden, durch die eine explosionsfähige Atmosphäre entzündet werden kann, muss die mögliche ungewollte Berührung blanker aktiver Teile - ausgenommen Teile eigensicherer Stromkreise - verhindert werden.

##### 5.5.2.3.2 Gefährdung durch Körper elektrischer Betriebsmittel und fremde leitfähige Teile

- (1) Betriebliche und fremde Ströme sind auf Konstruktionsteilen und Umhüllungen zur Vermeidung von Potentialanhebungen durch geeignete Maßnahmen zu verhindern. Dies gilt als erfüllt, wenn z. B.
  - bei Vorhandensein eines TN-Systems dieses nur als TN-S-System genutzt wird,
  - bei Vorhandensein eines TT-Systems in der Zone 1 bzw. 21 dieses durch eine Fehlerstromschutzeinrichtung geschützt ist,
  - bei Vorhandensein eines IT-Systems dessen Isolation überwacht wird.
- (2) Bei der Verwendung einer Schutztrennung darf nur ein einziges elektrisches Betriebsmittel an einen Trenntrafo angeschlossen sein.

##### 5.5.2.3.3 Schutzmaßnahme Potentialausgleich

Alle leitfähigen Anlagenteile sind in den Potentialausgleich einzubeziehen, sofern man mit einer gefährlichen Potentialverschiebung oder -verschleppung rechnen muss. Auf eine ausreichende Dimensionierung der Einrichtungen des Potentialausgleichs hinsichtlich der elektrischen und der mechanischen Eigenschaften ist zu achten. Leitfähige Körper elektrischer Betriebsmittel sind in der Regel in den Potentialausgleich einzubeziehen. Verbindungen zum Potentialausgleich sind gegen selbsttätiges Lockern zu sichern.

##### 5.5.2.3.4 Elektromagnetische Felder

Bei der Auslegung elektrischer Anlagen müssen Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern auf ein ungefährliches Maß beschränkt werden.

##### 5.5.2.3.5 Ansammlung elektrisch leitfähiger Stäube

Gefährliche Ansammlungen elektrisch leitfähiger Stäube in oder an elektrischen Betriebsmitteln sind zu vermeiden, z. B. durch erhöhte Staubdichtheit der Betriebsmittel.

#### **5.5.2.4 Elektrische Schutzmaßnahmen**

- (1) Elektrische Betriebsmittel, Kabel und Leitungen sowie deren Verbindungen müssen so ausgewählt und installiert werden, dass elektrische, mechanische, thermische und chemische Beanspruchungen nicht zu einer Zündgefahr führen.
- (2) Drehende elektrische Maschinen müssen gegen Überlast auch bei Ausfall eines Außenleiters geschützt werden, ausgenommen Motoren, die den Anlaufstrom bei Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz, oder Generatoren, die den Kurzschlussstrom dauernd führen können, ohne sich unzulässig zu erwärmen.
- (3) Transformatoren müssen gegen Überlast geschützt werden, sofern sie nicht dauernd den Sekundär-Kurzschlussstrom bei Primär-Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz ohne unzulässige Erwärmung führen können oder wenn keine Überlastung durch die angeschlossenen Verbraucher zu erwarten ist.
- (4) Überstrom- und Erdschluss-Schutzeinrichtungen müssen so ausgelegt werden, dass eine automatische Wiedereinschaltung vor Beseitigung des Fehlers, der zum Abschalten geführt hat, verhindert wird.

#### **5.5.2.5 Freischalten**

- (1) Für jeden Stromkreis oder jede Stromkreisgruppe müssen geeignete Einrichtungen zum Freischalten vorgesehen werden, die alle aktiven Leiter einschließlich Neutralleiter erfassen.
- (2) Unmittelbar an oder neben jeder Trennvorrichtung muss eine Kennzeichnung angebracht werden, die eine eindeutige Zuordnung des zugehörigen Stromkreises oder der zugehörigen Stromkreisgruppe gestattet.

#### **5.5.2.6 Kabel und Leitungen**

##### **5.5.2.6.1 Allgemeines**

Es sind geeignete Maßnahmen vorzusehen, die einen Zündquelleneintrag in explosionsgefährdete Bereiche über Brände von Kabeln und Leitungen verhindern.

##### **5.5.2.6.2 Aluminiumleiter**

Bei der Verwendung von Leitern aus Aluminium müssen dafür geeignete Klemmen verwendet werden.

##### **5.5.2.6.3 Aderleitungen**

Aderleitungen dürfen als spannungsführende Leiter nur in Schalttafeln oder -gehäusen verwendet werden. Dies gilt auch für Leitungen in eigensicheren Stromkreisen.

##### **5.5.2.6.4 Anschlüsse**

Der Anschluss von Kabeln und Leitungen muss den Anforderungen der jeweiligen Zündschutzart genügen. Die Kaltfließeigenschaften der Kabel sind dabei zu berücksichtigen.

##### **5.5.2.6.5 Unbenutzte Öffnungen**

Unbenutzte Öffnungen für Kabel- und Leitungseinführungen müssen mit Verschlusselementen verschlossen sein, die für die betreffende Zündschutzart geeignet sind.

##### **5.5.2.6.6 Verbindungsstellen**

Kabel und Leitungen sind in explosionsgefährdeten Bereichen ohne Unterbrechung zu verlegen. Ist dies nicht möglich, sind die Verbindungen in Gehäusen einer der Zone entsprechenden Zündschutzart anzuordnen oder sie sind durch geeignete Muffen zu sichern.

#### **5.5.2.6.7 Steckdosen in staubexplosionsgefährdeten Bereichen**

- (1) Um das Eindringen von Staub in dem Fall, dass eine Staubschutzkappe unbeabsichtigt fortgelassen wurde, so gering wie möglich zu halten, müssen Steckdosen so angeordnet werden, dass die Öffnung nach unten gerichtet ist.
- (2) Bei Steckdosen ist zu verhindern, dass während des Schließens oder Trennens der Steckverbindung ein Zündfunke entstehen kann, z. B. durch mechanische oder elektrische Verriegelungen.

#### **5.5.2.6.8 Schutz mehrdrahtiger Leiterenden**

Mehr- oder feindrähtige Leiterenden sind gegen Aufspießen zu schützen. Das Verlöten der Leiterenden zum direkten Anschluss ist nicht zulässig.

#### **5.5.2.6.9 Unbenutzte Aderleitungen**

Jede unbenutzte Aderleitung in mehradrigen Kabeln muss in explosionsgefährdeten Bereichen am Ende entweder mit Erde verbunden oder durch geeignete Abschlussmittel ausreichend isoliert werden.

#### **5.5.2.6.10 Oberflächentemperatur von Kabeln und Leitungen**

Bei Kabeln und Leitungen ist die maximal zulässige Oberflächentemperatur der Anlage nach 5.2 zu beachten.

#### **5.5.2.6.11 Anschluss der Bewehrung und Abschirmung von Kabeln und Leitungen**

Bewehrungen und Abschirmungen müssen in den Potentialausgleich eingebunden sein.

#### **5.5.2.6.12 Kabel und Leitungen in Zone 0**

Kabel und Leitungen dürfen grundsätzlich nicht durch Zone 0 geführt werden. Ist dies nicht möglich, sind Maßnahmen im Einzelfall festzulegen.

#### **5.5.3 Zusätzliche Anforderungen bei Anwendung der Zündschutzart „d“ - druckfeste Kapselung**

##### **5.5.3.1 Schutz zünddurchschlagssicherer Spalte**

Bei Zündschutzart „druckfeste Kapselung“ sind Spalte gegen Korrosion und das Eindringen von Wasser zu schützen.

##### **5.5.3.2 Motoren, die mit veränderlicher Spannung und Frequenz betrieben werden**

Werden Motoren in der Zündschutzart „druckfeste Kapselung“ mit veränderlicher Frequenz und Spannung betrieben, müssen die relevanten Oberflächen so überwacht werden, z. B. mit Temperaturfühler, dass eine Schutzeinrichtung den Motor vor Erreichen der kritischen Oberflächentemperatur abschaltet.

Alternativ kann der Motor mit den vorgesehenen Schutzeinrichtungen auch als Ganzes einem Konformitätsbewertungsverfahren gemäß Explosionschutzverordnung (11. GPSGV) i. V. mit der Richtlinie 94/9/EG unterzogen worden sein.

*Hinweis: Mögliche Überspannungsspitzen - ausgelöst durch den Umrichter - sind zu beachten.*

##### **5.5.4 Zusätzliche Anforderungen bei Anwendung der Zündschutzart „e“ - erhöhte Sicherheit - und „tD“ - staubsicheres Gehäuse**

Motoren der Zündschutzarten „erhöhte Sicherheit“ und „staubsicheres Gehäuse“ sind so gegen Überlast zu schützen, dass auch bei Festbremsung die angegebene Temperaturklasse nicht überschritten wird. Bei Motoren in Dreieckschaltung ist auch der Ausfall eines Außenleiters zu beherrschen. Bei Verwendung eines Sanftanlaufes sind die erforderlichen Maßnahmen im Einzelfall festzulegen.

*Hinweis: Bei Motoren in der Zündschutzart „erhöhte Sicherheit“ oder „staub-*

*sicheres Gehäuse“ mit veränderlicher Frequenz und Spannung muss die Zündquellenfreiheit für den Motor mit den vorgesehenen Schutzeinrichtungen als Ganzes betrachtet sein, in der Regel durch ein Konformitätsbewertungsverfahren gemäß Explosionschutzverordnung (11. GPSGV) i. V. mit der Richtlinie 94/9/EG.*

### **5.5.5 Zusätzliche Anforderungen bei Anwendung der Zündschutzart „i“ - Eigensicherheit - in Anlagen für die Zonen 1, 21, 2 und 22**

*Hinweis: Installationsanforderungen für Zone 1 und 2 können bei Verwendung von Geräten der Schutzart „iD“ ohne weiteres auch für Zone 21 und 22 angewendet werden.*

#### **5.5.5.1 Betriebsmittel**

- (1) Für an einen eigensicheren Stromkreis angeschlossene, zugehörige Betriebsmittel, Kabel und Leitungen, die außerhalb explosionsgefährdeter Bereiche installiert werden, gelten bezüglich der sicheren elektrischen Installation die gleichen Anforderungen wie für den explosionsgefährdeten Bereich.
- (2) Der Betrieb einfacher elektrischer Betriebsmittel ist zulässig, wenn sie den Anforderungen der Zündschutzarten „Eigensicherheit i“ oder „Eigensicherheit iD“ genügen.
- (3) Elektrische Betriebsmittel, die an nichteigensichere Anschlussklemmen eines zugehörigen Betriebsmittels angeschlossen sind, dürfen nicht mit einer Speisespannung versorgt werden, die größer ist, als die auf dem Typenschild des zugehörigen Betriebsmittels angegebene Spannung  $U_m$ . Der maximal zu erwartende (prospektive) Kurzschlussstrom der Versorgung darf nicht größer als 1.500 A bei max. AC 250 V sein.

#### **5.5.5.2 Kabel und Leitungen**

##### **5.5.5.2.1 Allgemeines**

- (1) In eigensicheren Stromkreisen dürfen nur isolierte Kabel und Leitungen verwendet werden, deren Prüfspannung zwischen Leiter-Erde, Leiter-Schirmung und Schirmung-Erde mindestens AC 500 V oder DC 750 V beträgt.
- (2) Der Durchmesser einzelner Leiter im explosionsgefährdeten Bereich darf nicht weniger als 0,1 mm betragen. Dies gilt auch für die einzelnen Drähte von feindrätigen Leitern.
- (3) Eigensichere Stromkreise sind so zu errichten, dass die sichere Trennung von anderen Stromkreisen auch unter anzunehmenden Fehlerbedingungen sichergestellt ist.

##### **5.5.5.2.2 Installation von Kabeln und Leitungen**

- (1) Anlagen mit eigensicheren Stromkreisen müssen so errichtet werden, dass deren Eigensicherheit nicht durch äußere elektrische oder magnetische Felder beeinträchtigt wird.
- (2) Jede unbenutzte Ader eines mehradrigen Kabels muss abweichend von 5.5.2.6.9
  - an beiden Enden entweder ausreichend gegen Erde oder von den anderen Adern durch den Einsatz von geeigneten Abschlüssen isoliert sein oder
  - falls andere Stromkreise in dem mehradrigen Kabel eine Erdverbindung besitzen (z. B. über zugehörige Betriebsmittel), an dem Erdpunkt angeschlossen werden, der zur Erdung aller eigensicheren Stromkreise in demselben Kabel verwendet wird. Sie müssen am anderen Ende durch geeignete Abschlüsse ausreichend von Erde und gegeneinander isoliert sein.

(3) Aderleitungen von eigensicheren und nichteigensicheren Stromkreisen dürfen nicht in derselben Leitung geführt werden.

#### **5.5.5.2.3 Erdung leitender Schirme**

Ist eine Schirmung im Kabel oder in der Leitung erforderlich, ist der Schirm so zu erden, dass dadurch keine Zündquelle entstehen kann. Dabei ist insbesondere darauf zu achten, dass die Stromtragfähigkeit der Schirmung nicht überschritten werden kann.

#### **5.5.5.2.4 Kennzeichnung von Kabeln und Leitungen**

Kabel und Leitungen für eigensichere Stromkreise müssen eindeutig gekennzeichnet sein. Falls Mäntel oder Umhüllungen durch eine Farbe gekennzeichnet sind, muss die verwendete Farbe hellblau sein.

#### **5.5.5.2.5 Mehradrige Kabel und Leitungen mit mehr als einem eigensicheren Stromkreis**

In mehradrigen Leitungen dürfen mehrere eigensichere Stromkreise zusammen verlegt sein, wenn eine gegenseitige schädliche Beeinflussung so verhindert wird, dass die Eigensicherheit in allen eigensicheren Stromkreisen erhalten bleibt. Mehradrige Kabel und Leitungen ohne leitende Schirme für die einzelnen Stromkreise müssen zusätzlich zu 5.5.5.2.1 von einem Typ sein, der einer Isolationsprüfung von wenigstens AC 1.000 V (Effektivwert) oder DC 1.500 V standhält, angelegt zwischen einem Bündel, das die eine Hälfte der miteinander verbundenen Leitungsadern enthält und einem anderen Bündel, das die andere Hälfte der miteinander verbundenen Leitungsadern enthält.

#### **5.5.5.2.6 Fehlerbetrachtungen bei mehradrigen Kabeln und Leitungen**

Mehradrige Leitungen sind entsprechend der Konstruktion der Leitungen bzw. der in ihnen enthaltenen eigensicheren Stromkreise hinsichtlich der Möglichkeit fehlerhafter Zusammenschaltungen zu beurteilen.

#### **5.5.5.3 Anschluss eigensicherer Stromkreise**

In elektrischen Anlagen mit eigensicheren Stromkreisen müssen die Klemmstellen zuverlässig von den nichteigensicheren Stromkreisen getrennt sein (z. B. durch eine Trennplatte mit mindestens 50 mm Fadenmaß oder einen Abstand von mindestens 50 mm). Die Anschlussklemmen eigensicherer Stromkreise müssen als solche gekennzeichnet sein. Bei eigensicheren Klemmstellen müssen die Mindestabstände zwischen den blanken leitenden Teilen der an die Anschlussklemmen angeschlossenen externen Leiter und geerdeten oder anderen nicht spannungsführenden leitfähigen Teilen 3 mm betragen. Die Abstände zwischen blanken leitenden Teilen von Anschlussklemmen getrennter eigensicherer Stromkreise müssen mindestens 6 mm zwischen den blanken leitenden Teilen von angeschlossenen äußeren Leitern betragen.

Steckverbinder für den Anschluss äußerer eigensicherer Stromkreise müssen getrennt von und unverwechselbar mit solchen sein, die für nichteigensichere Stromkreise verwendet werden.

#### **5.5.5.4 Erdung eigensicherer Stromkreise**

Wenn eigensichere Stromkreise geerdet werden sollen, sind sie an ein Potentialausgleichssystem anzuschließen, das sich über den gesamten Bereich des eigensicheren Stromkreises erstreckt. Eine Mehrfacherdung eines eigensicheren Stromkreises ist nur unter besonderen Bedingungen zulässig.

#### **5.5.5.5 Nachweis der Eigensicherheit**

(1) Sofern keine Systembescheinigung mit Angabe der Parameter für den kompletten eigensicheren Stromkreis vorliegt, ist bei der Errichtung eigensicherer Stromkreise die Zusammenschaltung der Geräte einschließlich

Kabel und Leitungen dahingehend zu beurteilen, ob die Anforderungen der Zündschutzart „Eigensicherheit“ erfüllt sind. Bei zwei oder mehreren zusammenschalteten, eigensicheren Stromkreisen ist entsprechend zu verfahren.

*Hinweis: Die maximal zulässige Oberflächentemperatur nach 5.2 darf nicht überschritten werden.*

(2) Der Nachweis der Eigensicherheit ist zu dokumentieren.

#### **5.5.5.6 Kabel- und Leitungseinführungen**

Anschlusskästen für die Zündschutzart „i“ müssen der Schutzklasse **IP 54**, in trockenen und sauberen Räumen der Schutzklasse **IP 20**, entsprechen.

#### **5.5.6 Zusätzliche Anforderungen bei Anwendung der Zündschutzart „i“ - Eigensicherheit - in Anlagen für die Zonen 0 und 20**

- (1) Eigensichere Stromkreise müssen nach 5.5.5 installiert sein; abweichend oder ergänzend gelten die folgenden speziellen Anforderungen.
- (2) Wenn die Erdung des Stromkreises aus Funktionsgründen erforderlich ist, muss die Erdverbindung außerhalb der Zone 0 angeschlossen sein, jedoch so nah wie möglich am Zone-0-Betriebsmittel. Eine mehrfache Erdung des Stromkreises ist nicht zulässig.
- (3) Wenn mit Überspannungen in Zone 0 zu rechnen ist, sind geeignete Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

(4) Das Kabel oder die Leitung zwischen dem eigensicheren elektrischen Betriebsmittel in Zone 0 und der Überspannungsschutzeinrichtung muss so errichtet werden, dass es/sie gegen Einflüsse durch Blitzschlag geschützt ist.

*Hinweis: Die vorstehend genannten Maßnahmen für Zone 0 können unter bestimmten Voraussetzungen auch für Zone 20 angewendet werden.*

#### **5.6 Elektrische Ausgleichsströme, kathodischer Korrosionsschutz**

Zündfähige elektrische Funken sowie zündfähige Erwärmung von Stromwegen durch elektrische Ausgleichsströme oder kathodischen Korrosionsschutz sind entsprechend den nachstehenden Anforderungen zu vermeiden.

##### **5.6.1 Hinweise für die Gefährdungsbeurteilung**

- (1) In elektrischen Anlagen oder anderen leitfähigen Anlagenteilen können zeitweise oder dauernd Ausgleichsströme (auch Streu- oder Leckströme genannt) fließen:
  - als Rückströme zu Stromerzeugungsanlagen (insbesondere im Bereich von elektrischen Bahnen, großen Schweißanlagen und Anlagen mit kathodischem Korrosionsschutz), wenn z. B. im Erdreich verlegte elektrisch leitfähige Anlagenteile wie Schienen, Rohre und Kabelmäntel den Widerstand dieses Rückstromweges verringern,
  - infolge von Körper- oder Erdschluss bei Fehlern in elektrischen Anlagen,
  - infolge von Induktion (z. B. in der Nähe von elektrischen Anlagen mit großen Stromstärken oder hohen Frequenzen) (siehe Nummer 5.9) und
  - infolge von Blitzschlag (siehe Nummer 5.8).

(2) Werden derartige Anlagenteile getrennt, verbunden oder überbrückt, kann - selbst bei geringen Potentialdifferenzen - durch elektrische Funken explosionsfähige Atmosphäre entzündet werden. Ferner sind Entzündungen durch Erwärmung dieser Stromwege möglich (siehe Nummer 5.2).

## **5.6.2 Schutzmaßnahmen bei Ausgleichsströmen**

### **5.6.2.1 Schutzmaßnahmen für alle Zonen**

- (1) Alle leitenden Anlagenteile sind in den Potentialausgleich einzubeziehen, sofern man mit einer gefährlichen Potentialverschiebung rechnen muss. Hierzu gehören auch ortsveränderliche Anlagenteile.
- (2) Der Potentialausgleichsleiter muss einen ausreichenden Querschnitt aufweisen und gegen mechanische Belastungen geschützt verlegt sein.
- (3) Vor dem Öffnen und Schließen der Verbindungen von leitfähigen Anlagenteilen, z. B. beim Ausbau von Armaturen und Rohrteilen, sind Überbrückungen durch Verbindungsleitungen mit ausreichendem Querschnitt erforderlich.
- (4) Verbindungen zu ortsveränderlichen Anlagenteilen müssen entweder
  - in einem nicht explosionsgefährdeten Bereich oder
  - mit einer Verbindung, die den Zonenanforderungen des Einsatzortes entsprechenoder
  - nach einem dokumentierten Verfahren, mit dem das Risiko der Funkenbildung auf ein annehmbares Maß verringert wird, hergestellt werden.
- (5) Potentialausgleichsverbindungen müssen gegen Selbstlockern gesichert werden.

### **5.6.2.2 Schutzmaßnahmen für Zone 2 und 22**

In den Zonen 2 und 22 kann in der Regel auf einen zusätzlichen Potentialausgleich verzichtet werden, es sei denn, Lichtbögen oder Funken, die von Ausgleichsströmen herrühren, treten im Normalbetrieb auf.

### **5.6.3 Schutzmaßnahmen für kathodisch geschützte Anlagen**

Kathodisch geschützte Metallteile, die sich in explosionsgefährdeten Bereichen befinden, sind aktive fremde leitfähige Teile, die im Regelfall nicht in den Potentialausgleich einbezogen werden können (Ausnahme: Lokale Kathodische Korrosionsschutzanlagen LKS). Sie sind dauerhaft gegen zufälliges Überbrücken zu isolieren. Isolierkupplungen und Isolierflansche sind nach Möglichkeit außerhalb des explosionsgefährdeten Bereiches anzuordnen. Ist dies nicht möglich, müssen sie außer in der Zone 2 und 22 durch explosionsgeschützte Funkenstrecken geeigneter Ansprechspannung gegen Durch- und Überschlag gesichert werden, wenn mit gefährlichen Überspannungen zu rechnen ist.

#### **5.6.3.1 Schutzmaßnahmen für die Zonen 0, 20, 1 und 21**

(1) Wenn elektrische Einrichtungen innerhalb von kathodisch geschützten Behältern (Tanks, Rohrleitungen etc.) mit äußeren Anoden (KKS) von außen mit Anschlussleitungen versehen sind, muss ein ungeerdeter Potentialausgleich zwischen allen Leitungen untereinander und gegen die kathodisch geschützte Wandung über blitzstromtragfähige Überspannungsschutzgeräte in der unmittelbaren Nähe der Zone, aber möglichst außerhalb derselben durchgeführt werden.

Der Überspannungsschutz ist auf die Isolationsfestigkeit der Leitung und der Geräte im explosionsgefährdeten Bereich abzustimmen. Der Installationsort muss gegen direkte Blitzeinschläge geschützt sein.

Der ungeerdete Potentialausgleichsleiter muss einen ausreichenden Querschnitt aufweisen und gegen Beschädigungen geschützt verlegt sein.

Die gefährliche Einkopplung von elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldern ist zu verhindern.

- (2) Werden leitfähige Anlagenteile in die Zonen eingebracht, z. B. Lüftungs- und Saugrohre in Tanks, so sind sie vorher in den Potentialausgleich einzubeziehen.
- (3) In Zone 0 und 20 darf für Metallteile kein innerer kathodischer Schutz (IKS) vorgesehen werden. Abweichend von Satz 1 ist IKS zulässig, wenn durch Maßnahmen sichergestellt ist, dass
  - die Anoden während des Schutzanlagenbetriebes dauerhaft unter Flüssigkeit gehalten werden oder
  - eine Unterschreitung eines Mindestflüssigkeitsspiegels zur Abschaltung der IKS-Anlage und zur Herstellung der Potentialgleichheit zwischen Anoden und Schutzobjekt führt.

*Hinweis: Abhängig vom Elektrolyten besteht die Möglichkeit der Wasserstofffreisetzung.*

Bemerkung:

IKS dient zum Schutz der inneren Oberflächen (z. B. Behälter) und besteht aus einer geeigneten Stromquelle und einer im Elektrolyten im Inneren isoliert aufgestellten Anode. Die Kathode wird durch die zu schützenden Oberfläche gebildet.

### **5.6.3.2 Schutzmaßnahmen für Zonen 2 und 22**

In den Zonen 2 und 22 kann auf zusätzliche Schutzmaßnahmen des Abschnittes 5.6.3.1 verzichtet werden.

## **5.7 Statische Elektrizität**

Entladungen statischer Elektrizität müssen vermieden werden, soweit sie wirksame Zündquellen sein können. Für die Beurteilung und die Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen in explosionsgefährdeten Bereichen und für die Auswahl und Durchführung von Schutzmaßnahmen zum Vermeiden dieser Gefahren gilt TRBS 2153 „Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen“.

## **5.8 Blitzschlag**

Ein Blitzschlag kann sowohl durch einen direkten Einschlag, aber auch durch die Auswirkungen eines Einschlags in größerer Entfernung explosionsfähige Atmosphäre entzünden.

### **5.8.1 Hinweise für die Gefährdungsbeurteilung**

- (1) Erfolgt ein Blitzeinschlag in explosionsfähige Atmosphäre, wird durch den Blitz die Atmosphäre unmittelbar entzündet. Daneben besteht eine Zündgefahr durch starke Erwärmung der Ableitwege des Blitzes.
- (2) Von Blitzeinschlagstellen aus fließen starke Ströme, die auch in größerer Entfernung von der Einschlagstelle zündfähige Funken und Sprühfeuer auslösen können. Auswirkungen durch Blitzschlag können in Folge von Überspannungen auch in größerer Entfernung von der Einschlagstelle auftreten.
- (3) Bei Blitzschlag außerhalb der Zonen können Rückwirkungen auf die explosionsgefährdeten Bereiche auftreten.

### 5.8.2 Schutzmaßnahmen für alle Zonen

- (1) Der Blitzeinschlag in explosionsfähige Atmosphäre ist zu verhindern, da es sonst zu einer Entzündung der explosionsfähigen Atmosphäre kommt.
- (2) Zusätzlich müssen die Ableitwege des Blitzes so ausgeführt werden, dass eine Erwärmung oder zündfähige Funken bzw. Sprühfunken nicht zur Zündquelle der explosionsfähigen Atmosphäre werden können.
- (3) Die schädlichen Auswirkungen auf explosionsgefährdete Bereiche auch von Blitzeinschlägen, die in größerer Entfernung erfolgen, müssen vermieden werden.
- (4) Anlagen sind durch geeignete Blitzschutzmaßnahmen zu schützen, wenn Gefahren durch Blitzeinschlag zu erwarten sind. Die Maßnahmen sind mindestens so zu treffen, dass eine Blitzkugel mit einem Radius von 30 m beherrscht wird.
- (5) Blitzschutzmaßnahmen dürfen durch ihre Wirkung bzw. Konfiguration andere Schutzmaßnahmen, z. B. kathodischen Korrosionsschutz, nicht beeinträchtigen.
- (6) Als Verbindungsleitungen zwischen Metallteilen und Erdern gelten außer elektrischen Leitungen auch Anlagenteile aus Metall, die sicher elektrisch leitend verbunden sind.

### 5.8.3 Schutzmaßnahmen für Zonen 0 und 20

- (1) Schädliche Einwirkungen auf die Zonen 0 und 20 von Blitzen, die außerhalb der Zonen 0 und 20 einschlagen, sind zu verhindern. Dies gilt z. B. als er-

füllt, wenn Überspannungsableiter an geeigneten Stellen, also außerhalb explosionsgefährdeter Bereiche, eingebaut werden.

- (2) Anschlüsse und Verbindungen mit Rohrleitungen sind so auszubilden, dass beim Blitzstromdurchgang keine Funken bzw. unzulässig hohe Erwärmungen entstehen. Geeignete Anschlüsse an Rohrleitungen sind angeschweißte Fahnen oder Bolzen oder Gewindebohrungen in den Flanschen zur Aufnahme von Schrauben. Diese Verbindungsstellen müssen so dimensioniert werden, dass sie blitzstromtragfähig sind.

### 5.8.4 Schutzmaßnahmen für Zonen 1 und 21

Potentialausgleich sowie Anschlüsse und Verbindungen mit Anlagenteilen aus Metall sind so auszubilden, dass beim Blitzstromdurchgang keine Funken bzw. unzulässig hohe Erwärmungen entstehen. Geeignete Anschlüsse an Rohrleitungen sind angeschweißte Fahnen oder Bolzen oder Gewindebohrungen in den Flanschen zur Aufnahme von Schrauben.

### 5.8.5 Schutzmaßnahmen für Zonen 2 und 22

Blitzschutzanlagen als Maßnahmen für die Zonen 2 und 22 sind nicht erforderlich, da die Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen eines Blitzes mit dem Auftreten von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre als äußerst gering angesehen werden kann. Gegebenenfalls können organisatorische Maßnahmen (z. B. bei Instandsetzungsarbeiten) zur Anwendung kommen.

## **5.9 Elektromagnetische Felder im Bereich der Frequenzen von $9 \times 10^3$ Hz bis $3 \times 10^{11}$ Hz**

### **5.9.1 Hinweise für die Gefährdungsbeurteilung**

- (1) Elektromagnetische Felder gehen von allen Anlagen aus, die hochfrequente elektrische Energie erzeugen und benutzen (Hochfrequenzanlagen). Dazu gehören beispielsweise Funksender (z. B. für Mobil- oder CB-Funk) oder medizinische, wissenschaftliche und industrielle Hochfrequenzgeneratoren zum Erwärmen, Trocknen, Härten und zum Schweißen oder Schneiden.
- (2) Sämtliche im Strahlungsfeld befindlichen leitfähigen Teile wirken als Empfangsantenne (so genanntes Empfangsgebilde). Bei ausreichender Stärke des Feldes und genügender Größe des Empfangsgebildes kann eine explosionsfähige Atmosphäre entzündet werden. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, dass die empfangene Hochfrequenzleistung dünne Drähte zum Glühen bringt oder dass bei Kontakt bzw. Unterbrechung leitfähiger Teile Funken erzeugt werden. Bei besonders starken elektromagnetischen Feldern, wie in der unmittelbaren Nähe von Hochfrequenzgeneratoren hoher Leistung, können sogar nicht leitfähige Materialien sich stark erwärmen und zur Zündquelle werden. Die vom Empfangsgebilde aufgenommene Energie, die zur Zündung führen kann, ist bei gegebener Frequenz und Sendeleistung in erster Linie abhängig vom Abstand Strahler - Empfangsgebilde und den Abmessungen des Empfangsgebildes.

### **5.9.2 Schutzmaßnahmen für alle Zonen**

- (1) Durch Begrenzung der eingesetzten Sendeleistung/Strahlungsleistung sind Funkenbildungen innerhalb des explosionsgefährdeten Bereiches entsprechend den nachstehenden Anforderungen für die entsprechenden Zonen zu vermeiden.

- (2) Sollte sich die strahlungserzeugende Quelle (Sender/Antenne) außerhalb des explosionsgefährdeten Bereiches befinden, so ist das Vermeiden der Bildung wirksamer Zündquellen durch Einhaltung eines ausreichenden Sicherheitsabstandes zu erreichen.
- (3) Als allgemeine Schutzmaßnahme gegen die Zündwirkung unbeabsichtigt einwirken der elektromagnetischer Felder ist nach allen Richtungen ein Sicherheitsabstand zwischen Sendeantenne und einem sich im explosionsgefährdeten Bereich befindlichen Empfangsgebilde zu beachten. Bei Sendeantennen mit Richtcharakteristik ist zu beachten, dass der Sicherheitsabstand richtungsabhängig sein kann. Der Sicherheitsabstand kann durch Rechnung oder Messung ermittelt werden. Kann ein ausreichender Sicherheitsabstand nicht eingehalten werden, sind geeignete Schutzmaßnahmen, sender- oder empfangsseitig, festzulegen.
- (4) Die Zeit bis zum Einsetzen der selbständigen Flammenausbreitung ist die Zündinduktionszeit. Sie ist für verschiedene Stoffe unterschiedlich.

#### **Bemerkung:**

In zündwilligster Zusammensetzung mit Luft beträgt die Zündinduktionszeit für Wasserstoff etwa 20  $\mu$ s, für Propan und Ethylen etwa 100  $\mu$ s. Die während der Zündinduktionszeit eingespeiste Energie kann praktisch als voll zündwirksam betrachtet werden. Eine spätere Energiezufuhr kann nicht mehr voll zündwirksam werden, da die für die Entzündung zur Verfügung stehende Energie bereits durch eintretende Wärmeverluste an das umgebende Gas gemindert wird.

Bei kontinuierlicher Energiezufuhr stellt sich schließlich ein Zustand ein, bei dem sich Energiezufuhr und Verluste an die Umgebung die Waage halten. In diesem Fall ist die dem Funken zugeführte elektrische Leistung maßgeblich für die Entzündung. Bei einer einmaligen Energiezufuhr in

Form eines kurzzeitigen Impulses, bei der die Impulsdauer kleiner als die Zündinduktionszeit des Gemisches ist, ist jedoch die im Impuls enthaltene Energie als die maßgebliche Größe für die Entzündung anzusehen.

- (5) Für direkte Einwirkung des Strahlungsfeldes einer kontinuierlichen Hochfrequenzquelle mit einem Frequenzbereich von  $9 \times 10^3$  Hz bis  $3 \times 10^{10}$  Hz auf eine explosionsfähige Atmosphäre der Zonen 1 und 2 gilt in Abhängigkeit von der Explosionsgruppe, dass bei einer eingestrahelten Spitzenleistung von nicht mehr als

- 2 W bei Explosionsgruppe IIC, gemittelt über 20  $\mu$ s
- 3,5 W bei Explosionsgruppe IIB, gemittelt über 80  $\mu$ s und
- 6 W bei Explosionsgruppe IIA, gemittelt über 100  $\mu$ s

eine Zündgefahr nicht zu erwarten ist. In der Zone 0 dürfen 80 % dieser Leistungen nicht überschritten werden. Sollte kontinuierliche elektromagnetische Strahlung im Frequenzbereich von  $3 \times 10^{10}$  Hz bis  $3 \times 10^{11}$  Hz nicht zu vermeiden sein, ist die Zündgefahr im Einzelfall zu bewerten.

- (6) Bei explosionsfähigen Staub/Luft-Gemischen der Zonen 21 und 22 darf eine Leistung von maximal 6 W eingestrahlt werden, wenn dabei die Mindestzündenergie des explosionsfähigen Staub/Luft-Gemisches größer oder gleich 1 mJ beträgt. In der Zone 20 dürfen 80 % dieser Leistung nicht überschritten werden.

*Hinweis: Die allgemeine Betriebserlaubnis, das Funkchutzzeichen des VDE, die Angabe des Funkentstörgrades oder die CE-Kennzeichnung nach EMV-Richtlinie enthalten keine Aussagen darüber, ob durch das Gerät oder sein Strahlungsfeld eine Zündgefahr besteht.*

- (7) Für gepulste elektromagnetische Felder mit einem Frequenzbereich von  $9 \times 10^3$  Hz bis  $3 \times 10^{10}$  Hz (z. B. Radar), bei denen die Impulsdauer kürzer als die Hälfte der Zündinduktionszeit, die Zeitspanne zwischen zwei aufeinander folgenden Impulsen jedoch länger als die dreifache Zündinduktionszeit ist, stellt die dem Einzelimpuls entnehmbare Energie ein geeigneteres Zündkriterium dar. Unter diesen Bedingungen ist eine Entzündung durch eine gepulste Hochfrequenz-Entladung nicht zu erwarten, wenn die dem Empfangsgebilde maximal entnehmbare Energie des Einzelimpulses die in **Tabelle 3** angegebenen Zündgrenzwerte nicht überschreitet.

Die Mittelung hat sich über die Zeitspannen der angegebenen Zündinduktionszeiten zu erstrecken.

**Tabelle 3:** Maximal entnehmbare Energie und Zündgrenzwerte

Explosionsgruppe	Zündgrenzwerte der Energie des Einzelimpuls
IIA	950 $\mu$ J
IIB	250 $\mu$ J
IIC	50 $\mu$ J

Bei der Auswahl und Anwendung von Schutzmaßnahmen werden in der Regel Stäube mit einer Mindestzündenergie unter 3 mJ bezüglich ihres Entzündungsverhaltens mit Gas/Luftgemischen gleichgesetzt.

Sollte gepulste elektromagnetische Strahlung im Frequenzbereich von  $3 \times 10^{10}$  Hz bis  $3 \times 10^{11}$  Hz nicht zu vermeiden sein, ist die Zündgefahr im Einzelfall zu bewerten.

### 5.10 Elektromagnetische Strahlung im Bereich der Frequenzen von $3 \times 10^{11}$ Hz bis $3 \times 10^{15}$ Hz bzw. Wellenlängen von 1000 $\mu\text{m}$ bis 0,1 $\mu\text{m}$ (optischer Spektralbereich)

Strahlung im optischen Spektralbereich, die eine wirksame Zündquelle bilden kann, ist entsprechend den nachstehenden Anforderungen für die entsprechenden Zonen zu vermeiden.

#### 5.10.1 Hinweise für die Gefährdungsbeurteilung

- (1) Strahlung im optischen Spektralbereich kann - insbesondere bei Fokussierung - durch Absorption in explosionsfähiger Atmosphäre oder an festen Oberflächen zur Zündquelle werden.
- (2) Sonnenlicht kann eine Zündung auslösen, wenn Gegenstände eine Bündelung der Strahlung herbeiführen (z. B. gefüllte Spritzflasche, Hohlspiegel usw.).
- (3) Die Strahlung von Blitzlichtquellen wird unter Umständen durch Staubpartikel so stark absorbiert, dass diese Partikel zur Zündquelle für explosionsfähige Atmosphäre oder für Staubbagerungen werden.
- (4) Bei Laserstrahlung kann auch in großer Entfernung noch die Energie- bzw. Leistungsdichte selbst des unfokussierten Strahles so groß sein, dass Zündung möglich ist.  
Die Erwärmung entsteht auch hier hauptsächlich beim Auftreffen des Laserstrahles auf eine Festkörperoberfläche oder bei Absorption an Staubpartikeln in der Atmosphäre oder an verschmutzten lichtdurchlässigen Teilen; ferner kann die Übereinstimmung von Absorptionsbanden des Gases mit der Laserwellenlänge Zündursache sein.
- (5) Es ist zu beachten, dass auch die Strahlung erzeugenden Arbeitsmittel selbst (z. B. Lampen, Lichtbogen, Laser usw.) Zündquellen im Sinne der Nummern 5.2 oder 5.5 sein können.

### 5.10.2 Schutzmaßnahmen für alle Zonen

- (1) Einrichtungen, die durch Resonanzabsorption eine Zündung bewirken können, sind nicht zulässig.
- (2) Die Energie eines Strahlungsimpulses oder die Leistung bzw. Bestrahlungsstärke einer Dauerstrahlung ist so zu begrenzen, dass sie die explosionsfähige Atmosphäre nicht entzünden kann.
- (3) Beispielsweise sind die folgenden Strahlungsleistungen nicht als Zündquelle anzusehen, wenn angenommen wird, dass die Strahlung an einem Festkörper vollkommen absorbiert und in eine Erwärmung umgesetzt wird und so eine heiße Oberfläche erzeugt wird. Die in **Tabelle 4** genannten Werte sind grobe Vereinfachungen mit großem Sicherheitsabstand. Bei geringerer Absorption oder guter Wärmeableitung an die Umgebung oder aber auch bei fehlendem Absorber sind auch höhere Leistungen ohne Entzündungen möglich.

**Tabelle 4:** Beispiele für sichere Strahlungsleistungen für Dauerstrahlung

Explosionsgruppe	I	IIA	IIB	IIC	IIC
Temperaturklasse	-	T1-T3	T4	T1-T4	T1-T6
Leistung in mW	150	150	35	35	15
Bestrahlungsstärke in mW/mm <sup>2</sup> (bei Flächen < 400 mm <sup>2</sup> )	20 *)	20 *)	5	5	5

\*) bei Flächen > 30 mm<sup>2</sup> gilt der 5mW/mm<sup>2</sup>-Grenzwert, wenn sich brennendes Material (z. B. Kohlenstaub) im Strahl befinden kann.

- (4) Alternativ ist die Strahlung so einzuschließen, dass
- jegliches Entweichen von Strahlung, die explosionsfähige Atmosphäre zünden könnte, aus der Umschließung in den gefährdeten Bereich sicher verhindert wird und keine durch die Strahlung erhitzten Oberflächen auftreten, an denen sich explosionsfähige Atmosphäre außerhalb der Umschließung entzünden könnte und
  - die explosionsfähige Atmosphäre nicht in die Umschließung eindringen kann oder eine im Innern der Umschließung auftretende Explosion nicht in den gefährdeten Bereich übergreifen kann.
- (5) In den Zonen 2 und 22 müssen die Bedingungen gemäß der Absätze 2 bis 4 bei Normalbetrieb gewährleistet sein, in den Zonen 1 und 21 auch bei selten eintretenden Situationen (z. B. Betriebsstörungen) und in den Zonen 0 und 20 sogar bei sehr selten eintretenden Situationen (z. B. bei seltenen Betriebsstörungen).

## 5.11 Ionisierende Strahlung

Ionisierende Strahlung, die eine wirksame Zündquelle sein kann, ist in ausreichendem Maße zu vermeiden.

### 5.11.1 Hinweise für die Gefährdungsbeurteilung

- (1) Eine Gefährdung durch ionisierende Strahlung liegt dann vor, wenn die z. B. durch
- kurzwellige UV-Strahler,
  - Röntgenröhren,
  - kurzwellige Laser,
  - radioaktive Stoffe,

- Beschleuniger oder
- Kernreaktoren

erzeugte Strahlung explosionsfähige Atmosphäre (insbesondere explosionsfähige Atmosphäre mit Staubpartikeln) infolge der Energieabsorption entzünden kann.

- (2) Darüber hinaus kann sich auch eine radioaktive Quelle selbst durch Eigenabsorption von Strahlungsenergie so hoch erwärmen, dass die Zündtemperatur umgebender explosionsfähiger Atmosphäre überschritten wird.
- (3) Unter Einwirkung ionisierender Strahlung können durch Radiolyse und chemische Zersetzung oder Umwandlung, insbesondere bei Bildung sehr reaktionsfähiger Radikale, explosionsfähige Stoffe und Gemische erzeugt und damit weitere Explosionsgefahren geschaffen werden.
- (4) Grenzwerte, unterhalb derer *keine* Schutzmaßnahmen erforderlich sind:

In allen Zonen sind gasdicht umschlossene radioaktive Stoffe mit Aktivitäten bis  $4 \times 10^{10}$  Bq zulässig. Bei Gewährleistung hinreichender Wärmeableitung können diese Werte auch überschritten werden. In Zweifelsfällen ist die zulässige Grenze der Aktivität festzulegen. Die Ionendosisleistung bei Bestrahlungseinrichtungen darf 3 mA/kg (etwa 400 Gy/h) nicht überschreiten.

Die zulässigen Mengen radioaktiver Stoffe sowie die zulässige Bestrahlungsstärke (Dosisleistung) sind im Einzelnen festzulegen, sofern die angegebenen Werte überschritten werden können. Bei der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung mit den vielfach benutzten Iridium-192- und Selen-75-Quellen können Aktivitäten bis zur Größenordnung von  $10^{12}$  Bq ohne besondere Berücksichtigung der Wärmeableitungsbedingungen als unbedenklich angesehen werden.

### 5.11.2 Schutzmaßnahmen für alle Zonen

- (1) In allen Zonen sind Arbeitsmittel zulässig, die ionisierende Strahlung, UV-Strahlung oder Laserstrahlung erzeugen, wenn
- a) die Energie eines Strahlungsimpulses oder der Energiefluss (Leistung) einer Dauerstrahlung so gering ist, dass sie die explosionsfähige Atmosphäre nicht zünden kann oder
  - b) die Strahlung so eingeschlossen wird, dass
    - jegliches Austreten von Strahlung, die explosionsfähige Atmosphäre zünden könnte, aus der Umschließung in den gefährdeten Bereich sicher verhindert wird und dass keine durch die Strahlung erhitzten Oberflächen auftreten, an denen sich explosionsfähige Atmosphäre außerhalb der Umschließung entzünden könnte und
    - die explosionsfähige Atmosphäre nicht in die Umschließung eindringen oder eine im Innern der Umschließung auftretende Explosion nicht in den gefährdeten Bereich übergreifen kann.

*Hinweis: In den Zonen 2 und 22 müssen obige Bedingungen bei Normalbetrieb gewährleistet sein, in den Zonen 1 und 21 auch bei selten eintretenden Situationen (z. B. Betriebsstörungen) und in den Zonen 0 und 20 sogar bei sehr selten eintretenden Situationen (z. B. bei seltenen Betriebsstörungen).*

### 5.12 Ultraschall

Ultraschall, der eine wirksame Zündquelle sein kann, ist entsprechend den nachstehenden Anforderungen für die entsprechenden Zonen zu vermeiden.

#### 5.12.1 Hinweise für die Gefährdungsbeurteilung

Bei Anwendung von Ultraschall werden große Anteile der vom Schallwandler abgegebenen Energie von festen oder flüssigen Stoffen absorbiert. Im beschallten Stoff tritt dabei infolge innerer Reibung eine Erwärmung auf, die in Extremfällen bis über die Zündtemperatur führen kann.

#### 5.12.2 Schutzmaßnahmen für alle Zonen

- (1) In allen Zonen sind Ultraschallwellen mit einer Frequenz über 10 MHz unzulässig, es sei denn, es wird nachgewiesen, dass im gegebenen Fall keine Entzündungsgefahr besteht, weil keine Absorption durch Molekularresonanz auftritt.
- (2) Für Ultraschallwellen einer Frequenz bis 10 MHz gilt:
- In allen Zonen sind Ultraschallwellen nur dann zulässig, wenn die Sicherheit des Arbeitsverfahrens gewährleistet ist.
  - Die Leistungsdichte des erzeugten Schallfeldes darf 1 mW/mm<sup>2</sup> nicht überschreiten, es sei denn, es wird nachgewiesen, dass im gegebenen Fall keine Entzündungsgefahr besteht.

### 5.13 Adiabatische Kompression, Stoßwellen, strömende Gase

Adiabatische Kompression, Stoßwellen und strömende Gase, die eine wirk-  
same Zündquelle sein können, sind gemäß den nachstehenden Anforderungen  
für die entsprechenden Zonen zu vermeiden.

#### 5.13.1 Hinweise für die Gefährdungsbeurteilung

- (1) In Stoßwellen und bei adiabatischer Kompression können so hohe Tempe-  
raturen auftreten, dass explosionsfähige Atmosphäre (auch abgelagerter  
Staub) entzündet werden kann. Die Temperaturerhöhung hängt im Wesent-  
lichen vom Druckverhältnis, nicht aber von der Druckdifferenz ab.
- (2) Stoßwellen bilden sich z. B. beim plötzlichen Entspannen von Hochdruckga-  
sen in Rohrleitungen aus. Sie dringen dabei mit Überschallgeschwindigkeit  
in Gebiete niedrigeren Druckes vor. Bei ihrer Beugung oder Reflektion  
an Rohrkrümmungen, Verengungen, Abschlussflanschen, geschlossenen  
Schiebern oder dergleichen treten besonders hohe Temperaturen auf. In  
Abgangsleitungen von Luftverdichtern und in nach- und zwischengeschal-  
teten Behältern können durch Kompressionszündung von Schmierölnebeln  
Explosionen auftreten.
- (3) Beim Bruch von Leuchtstofflampen kann sich z. B. ein in das evakuierte  
Rohr einströmendes explosionsfähiges Wasserstoff/Luft- oder Acetylen/  
Luft-Gemisch durch Kompression so hoch erhitzen, dass eine Entzündung  
möglich ist.

- (4) Eine zusätzliche Zündquelle tritt beim Umgang mit strömendem Sauer-  
stoff unter Druck auf; mitgerissene Teilchen, wie z. B. Rost, schleifen bei  
hinreichend großer Geschwindigkeit Eisenpartikel aus der Rohrwand ab,  
die dann im verdichteten Sauerstoff mit hoher Temperatur verbrennen und  
den Brand auf die Rohrleitung oder Armatur übertragen können. Besonders  
gefährdet sind Sauerstoffschieber- und -ventile wegen der beim Öffnen und  
Schließen in ihnen auftretenden hohen Strömungsgeschwindigkeiten.

#### 5.13.2 Schutzmaßnahmen für alle Zonen

- (1) Arbeitsvorgänge, die zündfähige Kompressionen oder Stoßwellen auslösen  
können, sind zu vermeiden. Gefährliche Kompressionen und Stoßwellen  
lassen sich in der Regel ausschließen, wenn sich z. B. Schieber und Ventile  
zwischen Anlagenabschnitten mit hohen Druckverhältnissen nur langsam  
öffnen lassen.
- (2) Bei Verwendung von Arbeitsmitteln, die stark oxidierende Gase enthalten,  
sind, soweit nach der Gefährdungsbeurteilung erforderlich, besondere  
Schutzmaßnahmen zu durchzuführen, um eine Entzündung der Werkstoffe  
und Hilfsstoffe zu vermeiden.

*Hinweis: In den Zonen 2 und 22 müssen obige Bedingungen bei Normalbe-  
trieb gewährleistet sein, in den Zonen 1 und 21 auch bei selten eintretenden  
Situationen (z. B. Betriebsstörungen) und in den Zonen 0 und 20 sogar bei  
sehr selten eintretenden Situationen (z. B. bei seltenen Betriebsstörungen).*

## 5.14 Chemische Reaktionen

Die Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre durch chemische Reaktionen ist zu vermeiden.

### 5.14.1 Hinweise für die Gefährdungsbeurteilung

- (1) Durch chemische Reaktionen mit Wärmeentwicklung (exotherme Reaktionen) können sich Stoffe oder Stoffsysteme erhitzen und dadurch zur Zündquelle werden. Diese Selbsterhitzung ist dann möglich, wenn die Wärmeproduktionsrate größer ist als die Wärmeverlustrate zur Umgebung.
- (2) Die der Selbsterhitzung zugrunde liegenden chemischen Reaktionen können schon bei Raumtemperatur oder darunter ablaufen. Sie verlaufen dann in der Regel so langsam, dass die dabei freigesetzte Wärme im Allgemeinen so schnell an die Umgebung abgegeben wird, dass das System nicht gefährlich aufgeheizt wird. Durch Behinderung der Wärmeableitung und durch erhöhte Umgebungstemperatur (z. B. bei der Lagerung) kann jedoch die Reaktionsgeschwindigkeit derart zunehmen, dass die zur Entzündung notwendigen Voraussetzungen erreicht werden.
- (3) Entscheidend sind neben anderen Parametern
  - die Stoffmenge,
  - das Volumen/Oberflächen-Verhältnis des Reaktionssystems,
  - die Umgebungstemperatur sowie
  - die Verweilzeit.
- (4) Die entstehende hohe Temperatur kann sowohl zur Entzündung explosionsfähiger Atmosphäre als auch zur Entstehung von Glimmnestern und Bränden führen. Möglicherweise bei der Reaktion entstehende brennbare

Stoffe (z. B. Gase oder Dämpfe) können selbst wieder mit der Umgebungsluft explosionsfähige Atmosphäre bilden und so die Gefährlichkeit solcher Systeme als Zündquelle beträchtlich erhöhen. Zur Selbsterhitzung führende Reaktionen können sowohl in Mehrstoff- als auch in Einstoffsystemen unter Beteiligung aller Aggregatzustände ablaufen.

- (5) Eine Kombination mehrerer Wirkungen kann z. B. bei Ablagerung selbstentzündlicher Stäube eintreten, wenn die zunächst durch Selbstentzündung gebildeten Glimmnester zu Zündquellen für explosionsfähige Atmosphäre werden.
- (6) Chemische Zündquellen können auch durch Schlägeinwirkung oder Reibung aktiviert werden.
- (7) Unter bestimmten Bedingungen können pyrophore Stoffe entstehen, z. B. bei der Lagerung schwefelhaltiger Erdölprodukte oder beim Mahlen von Leichtmetallen in einer inerten Atmosphäre.
- (8) Die Zündung explosionsgefährlicher Atmosphäre kann erfolgen z. B. durch
  - Oxidation (z. B. Autooxidation överschmutzter Putzwolle),
  - Zersetzung (z. B. von organischen Peroxiden, biologische Prozesse),
  - Polymerisation,
  - spontane exotherme Reaktion beim Zusammentreffen starker Oxidationsmittel oder anderer besonders reaktionsfreudiger Stoffe (z. B. Salpetersäure, Chlorate, Fluor) mit brennbaren Stoffen,
  - Reaktion pyrophorer Stoffe mit Luft (z. B. einige metallorganische Verbindungen),
  - Alkalimetalle mit Wasser,
  - Kupfer mit Acetylen,

- Schwermetalle mit Wasserstoffperoxid,
- langsame Selbsterwärmung mit anschließender Selbstentzündung (z. B. Polybutadien, Alkoholate, Eisen-II-oxid),
- Glimmen an der Luft (Schwefeleisen, verschiedene Metalle in feinverteilter Form, Raneynickel),
- spontane Reaktion bei Berührung mit katalytisch wirkenden Oberflächen (z. B. Wasserstoff/Luft-Gemisch mit Platin),
- instabile Stoffe, selbst wenn sie mit Stabilisatoren haltbar gemacht wurden, die durch katalytisch wirkende Verunreinigungen spontan und unter Freisetzung beträchtlicher Energie reagieren,
- Schlageinwirkung oder Reibung, z. B. bei feinverteilten Stoffkombinationen wie Aluminium/Rost.

#### **5.14.2 Schutzmaßnahmen für alle Zonen**

- (1) In allen Zonen sind Stoffe und Stoffsysteme möglichst zu vermeiden, die
  - a) zur Selbstentzündung neigen oder
  - b) unter gewählten oder nicht auszuschließenden Verfahrensbedingungen zu einer gefährlichen Temperaturerhöhung durch chemische Reaktionen führen können.
- (2) Wenn mit solchen Stoffen und Stoffsystemen umgegangen wird, sind die erforderlichen Schutzmaßnahmen auf den Einzelfall abzustimmen. Geeignete Schutzmaßnahmen können sein:
  - Inertisierung,
  - Stabilisierung,
  - Verbesserung der Wärmeableitung, z. B. durch Aufteilung der Stoffmengen in kleinere Einheiten, Lagerungstechniken mit Zwischenräumen,
  - Temperatur- und Druckregelung,
  - Mengen- und Verhältnisregelung,
  - Lagerung bei abgesenkter Temperatur,
  - Begrenzung der Verweilzeiten,
  - getrennte Lagerung von Reaktionskomponenten,
  - Einsatz von Inhibitoren und Kettenabbrechern.

## Anhang

### Zu Nr. 5.4 Schutzmaßnahmen beim Einsatz von Werkzeugen

- (1) Beim Gebrauch von Werkzeugen ist zu unterscheiden zwischen solchen, bei deren Einsatz in der Regel nur ein einzelner Funke entstehen kann, z. B. Schraubendreher oder Schraubenschlüssel, und solchen, bei denen bei der Bearbeitung des Werkstückes eine Vielzahl von Funken, z. B. bei Stemmarbeiten, oder sogar Funkengarben, z. B. beim Einsatz von Trenn- und Schleifgeräten, erzeugt werden.
- (2) In explosionsgefährdeten Bereichen der Zone 0 oder 20 dürfen keine Arbeitsmittel verwendet werden, bei deren Einsatz mit dem Auftreten auch von einzelnen Funken gerechnet werden muss.
- (3) In explosionsgefährdeten Bereichen der Zonen 1 und 2 dürfen Stahlwerkzeuge verwendet werden, sofern beim Gebrauch weder Funkengarben noch heiße Oberflächen (z. B. beim Bohren) entstehen.
- (4) Ein Verwendungsverbot in Zone 1 gilt jedoch für jegliche Art von metallischen Werkzeugen, wenn Explosionsgefahr durch Stoffe der Explosionsgruppe IIC (Acetylen, Schwefelkohlenstoff, Wasserstoff) sowie Schwefelwasserstoff, Kohlenmonoxid und Ethylenoxid gegeben sein kann, sofern keine besonderen Maßnahmen gegen das Entstehen zündwirksamer mechanischer Funken getroffen werden.
- (5) In explosionsgefährdeten Bereichen der Zonen 21 und 22 können Stahlwerkzeuge verwendet werden, sofern weder Funkengarben noch heiße Oberflächen (z. B. beim Bohren) entstehen. Andernfalls ist die Arbeitsstelle

gegenüber dem übrigen Bereich der Zonen 21 und 22 abzuschirmen und zusätzlich ist eine der folgenden Maßnahmen durchzuführen:

- Staubablagerungen sind an der Arbeitsstelle zu entfernen oder
  - die Arbeitsstelle ist so feucht zu halten, dass der Staub weder aufwirbeln kann noch Glimmnesten entstehen können.
- (6) Bei Arbeiten mit Funkenflug, z. B. beim Schleifen oder Trennen, in den Zonen 21 und 22 oder deren Umgebung ist hinsichtlich der Bildung von Glimmnesten auch der weitere Bereich um die Arbeitsstelle in die genannten Schutzmaßnahmen einzubeziehen.

## Haftungsausschluss und Copyright

Diese Ausgabe ist gewissenhaft und sorgfältig zusammengestellt worden. Dennoch kann nicht gewährleistet werden, dass die Informationen genau dem angenommenen Text entsprechen und unbedingt vollständig, genau und aktuell sind. Es wird keine Verantwortung für den angebotenen Inhalt übernommen. Die Verantwortung für die richtige Auswahl und die Folgen der Benutzung oder Nichtbenutzung der dargebotenen Informationen, sowie die damit beabsichtigten oder erzielten Ergebnissen trägt der Anwender selbst. Insbesondere wird keine Haftung für die aus der Nutzung der Informationen entstehenden Folgeschäden (einschließlich und ohne Einschränkung für direkte und indirekte Schäden aufgrund von Personenschäden, eingegangenen Gewinn, Betriebsunterbrechung oder irgendwelchen finanziellen Schaden) übernommen. Rechtlich verbindlich sind die offiziellen Fassungen der amtlichen Bekanntmachungen.

Impressum:

KÜPPERS Engineering

Dipl.-Ing. Andreas Küppers

An der Flachsroth 32

52525 Waldfeucht