

# Umgang mit Magnesium – Gefahren und Schutzkonzepte



## Zusammenfassung

Diese Publikation zur Schadenverhütung beschreibt die Brand- und Explosionsgefahren bei der Be- und Verarbeitung sowie bei der Lagerung von Magnesium und zeigt angemessene Schutzkonzepte auf.

Folgende Zielgruppen sollen bei der Gefahreneinschätzung und -bewertung unterstützt werden:

- Verarbeiter von Magnesium (insbesondere in kleinen und mittelständischen Unternehmen - KMU);
- Firmen, die Magnesiumbauteile und Komponenten lagern oder in ihren Produkten verwenden;
- Hersteller von Bearbeitungsmaschinen und zugehörigen Einrichtungen;
- Versicherer (Schadenverhütung und Versicherungstechnik).

Die vorliegende Publikation ist unverbindlich. Die Versicherer können im Einzelfall auch andere Sicherheitsvorkehrungen oder Installations- oder Wartungsunternehmen zu nach eigenem Ermessen festgelegten Konditionen akzeptieren, die diesen technischen Spezifikationen oder Richtlinien nicht entsprechen.

# Umgang mit Magnesium – Gefahren und Schutzkonzepte

## Inhalt

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>2</b>
<b>Einleitung</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Anwendungsbereich und Aufbau des Merkblatts</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Magnesium – Eigenschaften und Anwendungen</b> .....	<b>5</b>
<b>3 Brand- und Explosionsgefahr</b> .....	<b>6</b>
3.1 Reaktionsfähigkeit von Magnesium .....	6
3.2 Zündquellen .....	7
3.3 Schadenursachen .....	7
<b>4 Gefährdungs- und Risikobeurteilung</b> .....	<b>8</b>
<b>5 Brandschutzmaßnahmen</b> .....	<b>8</b>
5.1 Baulicher Brandschutz .....	8
5.2 Anlagentechnischer Brandschutz .....	8
5.2.1 Brandmeldeanlagen .....	9
5.2.2 Löschanlagen .....	9
5.2.3 Löschmittel für Magnesium .....	10
<b>6 Explosionsschutzmaßnahmen</b> .....	<b>11</b>
6.1 Vermeidung oder Einschränkung explosionsfähiger Atmosphäre .....	12
6.2 Vermeidung wirksamer Zündquellen .....	12
6.3 Konstruktiver Explosionsschutz .....	12
<b>7 Organisatorische Maßnahmen</b> .....	<b>13</b>
<b>8 Lagerung von Magnesium</b> .....	<b>14</b>
8.1 Masseln, Formate und Halbzeuge .....	14
8.2 Halbfertig- und Fertigteile .....	15
8.3 Späne, Flitter, Stäube und Schlämme .....	15
8.4 Krätze und Abschaum .....	16
8.5 Reststoffe .....	16
<b>9 Gießen von Magnesium</b> .....	<b>17</b>
9.1 Gießverfahren .....	17
9.2 Verfahrenssicherheit .....	18
<b>10 Mechanische Bearbeitung von Magnesium</b> .....	<b>19</b>
10.1 Spanende Verfahren .....	19
10.1.1 Trockenbearbeitung bzw. Minimalmengenschmierung .....	21
10.1.2 Nassbearbeitung mit Öl .....	22
10.1.3 Nassbearbeitung mit Emulsion .....	24
10.2 Spanlose Verfahren .....	25

<b>11</b>	<b>Thermisches Fügen und Trennen von Magnesium .....</b>	<b>26</b>
<b>12</b>	<b>Absauganlagen .....</b>	<b>26</b>
12.1	Stationäre Absauganlagen.....	26
12.1.1	Absauganlagen für die Nassbearbeitung.....	27
12.1.2	Absauganlagen für die Trockenbearbeitung.....	29
12.2	Mobile Absauganlagen.....	31
<b>13</b>	<b>Vorschriften und Technische Regelwerke .....</b>	<b>32</b>
13.1	Gesetze und Verordnungen .....	32
13.2	Technische Regeln .....	32
13.3	GDV-/VdS-Publikationen.....	33
13.4	Berufsgenossenschaftliche Regeln, Normen und Empfehlungen .....	33
<b>Anhänge</b>	<b>.....</b>	<b>35</b>
<b>A1</b>	<b>Definitionen und Begriffsbestimmungen .....</b>	<b>35</b>
<b>A2</b>	<b>Reaktion von Magnesium mit anderen Stoffen .....</b>	<b>36</b>
<b>A3</b>	<b>Sicherheitstechnische Kenngrößen.....</b>	<b>36</b>
<b>A4</b>	<b>Ausgewählte Zündquellen .....</b>	<b>39</b>
<b>A5</b>	<b>Ausgewählte Schadenfälle .....</b>	<b>41</b>
<b>A6</b>	<b>Inertisierung .....</b>	<b>43</b>
<b>A7</b>	<b>Konstruktive Explosionsschutzmaßnahmen .....</b>	<b>43</b>
<b>A8</b>	<b>Klassifizierung von Reststoffen .....</b>	<b>44</b>

## Einleitung

Magnesium ist ein extrem leicht und schnell zu bearbeitender Werkstoff. Magnesiumlegierungen gewinnen daher immer mehr an Bedeutung als Werkstoff im industriellen Leichtbau. Neue Fertigungsverfahren machen Magnesium heute zu einem besonders wertvollen Werkstoff.

Im Vergleich zu Aluminium, dem derzeit am häufigsten verwendeten Leichtmetall, zeichnet sich Magnesium durch einige Besonderheiten aus. So besitzt Magnesium beispielsweise deutlich kritischere Brand- und Explosionskenngrößen.

Während manche Magnesiumverarbeiter, wie z. B. Automobilhersteller und Maschinenbauer, bereits umfassende Schutzkonzepte entwickelt und dadurch den Umgang mit Magnesium beherrschbar gemacht haben, ist nicht sichergestellt, dass solche Kenntnisse bei allen Anwendern vorliegen. So entsteht ein nicht unerhebliches Gefährdungspotential, wenn z. B. ein konventioneller Metallverarbeiter ohne entsprechende sicherheitstechnische Anpassung die vorhandenen Maschinen und Anlagen für die Bearbeitung von Werkstücken aus Magnesium verwendet.

Ausgewählte Definitionen und Begriffsbestimmungen werden im Glossar (Anhang A1) erläutert.

## 1 Anwendungsbereich und Aufbau des Merkblatts

Dieses Merkblatt findet Anwendung auf Magnesium und dessen Legierungen mit einem überwiegenden Anteil von Magnesium. Im Folgenden wird aus Gründen der Vereinfachung nur noch von Magnesium gesprochen.

Das Merkblatt beschreibt die Brand- und Explosionsgefahren beim Umgang (Be- und Verarbeitung, Lagerung, Entsorgung) mit Magnesium und zeigt angemessene Schutzkonzepte auf. Hinsichtlich der Entsorgung werden jedoch nur die Lagerung und Bereitstellung für den Transport behandelt, nicht aber das eigentliche Recycling bzw. die Abfallentsorgung.

Folgende Zielgruppen sollen bei der Gefahreinschätzung und -bewertung unterstützt werden:

- Verarbeiter von Magnesium (insbesondere in kleinen und mittelständischen Unternehmen – KMU);
- Firmen, die Magnesiumbauteile und Komponenten lagern oder in ihren Produkten verwenden;

- Hersteller von Bearbeitungsmaschinen und zugehörigen Einrichtungen;
- Versicherer (Schadenverhütung und Versicherungstechnik).

Die nachfolgend dargestellten Maßnahmen, die sich aus den derzeit vorliegenden Erkenntnissen, Schadenerfahrungen und vorausschauenden sicherheitstechnischen Betrachtungen ergeben, erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Im Vordergrund dieses Merkblattes stehen der Sachwertschutz sowie die Vermeidung von Betriebsunterbrechungsschäden. Hinsichtlich des Personenschutzes ist insbesondere die Berufsgenossenschaftliche Regel DGUV R 109-011 (ehemals BGR 204) zu beachten.

Dieses Merkblatt gibt den derzeitigen Stand der Erfahrungen und Erkenntnisse wieder. Es sollte auch bei bestehenden Anlagen Anwendung finden. Die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften und einschlägiger Regelwerke wird vorausgesetzt. Verbindliche Vorschriften und untergesetzliche Regelwerke werden durch dieses Merkblatt nicht ersetzt.

Die hier aufgezeigten Schutzkonzepte für Magnesium sind nicht auf Aluminium und andere Leichtmetalle übertragbar.

## 2 Magnesium – Eigenschaften und Anwendungen

Elementares Magnesium ist das leichteste der festen Metalle, welche unter normalen atmosphärischen Bedingungen vorkommen. Aufgrund seiner niedrigen Dichte ( $1,738 \text{ g/cm}^3$ ) ist es ca. 35 % leichter als Aluminium und ca. 73 % leichter als Stahl.

Die am meisten verarbeiteten Magnesiumlegierungen enthalten einen Anteil von mehr als 90 % Magnesium.

Magnesium ist ein moderner Konstruktionswerkstoff mit großem Wachstumspotential, der sich hervorragend gießen und spanend bearbeiten lässt.

Bereits seit Beginn der 20er Jahre des 20. Jahrhunderts wurde Magnesium in der Luftfahrt und im Automobilbau eingesetzt. Einen Höhepunkt in der industriellen Anwendung markierte der VW-Käfer. In diesem Fahrzeug wurden ab dem Jahr 1938 bereits 21 kg Magnesium verbaut. In der Nachkriegszeit verlor Magnesium im Fahrzeugbau zunächst an Bedeutung.

Bauteile aus Magnesium werden heute in nahezu allen Branchen eingesetzt, wo hohe Gewichtersparnis mit hervorragender Festigkeit kombiniert werden muss, u. a.:

- Luft- und Raumfahrt;
- Automobilindustrie;
- Kommunikationstechnik;
- Profi- oder Heimwerkergeräte;
- Medizintechnik;
- Wehrtechnik;
- Sport- und Freizeitartikel.

### 3 Brand- und Explosionsgefahr

Brände und Explosionen im Zusammenhang mit Magnesium stellen ein hohes Risiko für Mensch und Umwelt dar. Weiterhin zu berücksichtigen ist der Sachschaden sowie die sich daraus ergebende Betriebsunterbrechung.

Voraussetzungen für einen Brand oder eine Explosion sind

- ein brennbarer Stoff,
- ausreichender Sauerstoff und
- eine wirksame Zündquelle.

#### 3.1 Reaktionsfähigkeit von Magnesium

Magnesium reagiert unterschiedlich mit

- Luftsauerstoff,
- Wasser/Luftfeuchtigkeit sowie mit
- anderen Stoffen.

Zudem ist die Staubexplosionsgefahr zu beachten.

#### Reaktion mit Luftsauerstoff

Magnesium hat die Eigenschaft, mit Luftsauerstoff zu oxidieren. Die Oxidation ist ein exothermer chemischer Vorgang, also eine Reaktion, bei der Wärme freigesetzt wird.

Kompaktes Magnesium ist bei Temperaturen unterhalb des Schmelzpunktes ungefährlich, kann sich aber ab 450 °C entzünden.

Flüssiges Magnesium entzündet sich je nach Zusammensetzung bei Zutritt von Luftsauerstoff von selbst. Deshalb muss Magnesium ab ca. 400 °C beim Schmelzen an der Badoberfläche mit einem geeignetem Schutzgasgemisch (unter anderem Schwefeldioxid) oder speziellem Schmelzsatz vor Luftzutritt geschützt werden.

Magnesiumspäne und -stäube sind im Kontakt mit Luftsauerstoff leichtentzündbar. In aufgewirbeltem Zustand können diese zusammen mit Luft eine explosionsfähige Atmosphäre bilden. Diese kann durch wirksame Zündquellen, z. B. Funken, heiße Oberflächen oder offene Flammen gezündet werden.

#### Reaktion mit Wasser/Luftfeuchtigkeit

Magnesium reagiert schon bei niedrigen Temperaturen mit Wasser unter Freisetzung von Wasserstoff. Für diese Reaktion spielen Parameter wie Temperatur, pH-Wert, Wasserinhaltsstoffe (z. B. wassermischbare Kühlschmierstoffe – KSS) sowie die Magnesiumteilchengröße eine entscheidende Rolle.

Bei kompakten Magnesiumteilen ist wegen der geringen spezifischen Oberfläche nicht mit einer Entwicklung von Wasserstoff zu rechnen. Dies gilt jedoch nicht für brikettierte Magnesiumspäne.

Bei Kontakt von schmelzflüssigem Magnesium mit Wasser ist aufgrund von Verdampfung und Zersetzung mit explosionsartigen Reaktionen zu rechnen.

Aufgrund der großen spezifischen Oberfläche von Magnesiumspänen und -stäuben wird bei Kontakt mit Wasser oder Luftfeuchtigkeit in kurzer Zeit soviel Wasserstoff freigesetzt, dass dieser in Mischung mit Luft ein explosionsfähiges Gemisch (Knallgas) bilden kann.

Wasserhaltige Magnesiumspäne und -schlämme können sich derart erhitzen (exotherme Reaktion, s. Anhang A2), dass die Gefahr der Selbstentzündung besteht, wenn die entstehende Wärme mit zunehmendem Abtrocknen der Späne und Schlämme nicht mehr ausreichend abgeführt werden kann. Zusätzlich zur Gefahr der Selbstentzündung ist auch hier mit einer Entwicklung von Wasserstoff zu rechnen.

#### Reaktion mit anderen Stoffen

Magnesium zeigt gegenüber einer Vielzahl von Stoffen eine hohe Reaktivität, die nachfolgend beispielhaft aufgezeigt wird. Insbesondere gilt dies für sauerstoffhaltige Verbindungen.

Magnesium brennt beispielsweise in Kohlendioxid, Stickstoffmonoxid und dergleichen weiter und entzieht diesen Verbindungen den Sauerstoff.

In gasförmigem Chlor verbrennt Magnesium beim Erhitzen unter Feuererscheinung. Gleichermaßen reagiert Magnesium mit Stickstoff beim Erhitzen

zu Magnesiumnitrid, das sich mit Wasser zu Magnesiumhydroxid und Ammoniak umsetzt.

Magnesium ist in Mischung mit sauerstoffabgebenden (oxidierend wirkenden) Stoffen (Peroxide, Chlorate, Nitrate, Perchlorate oder Permanganate) explosionsgefährlich.

Als spezielle Reaktion ist hier die Thermitreaktion (s. Anhang A1) zu nennen.

Ein Gemisch von Magnesium mit Salpetersäure explodiert; ein Gemisch mit flüssigem Sauerstoff ist detonationsfähig. Chlorkohlenwasserstoffe wie Chloroform, Tetrachlorkohlenstoff oder Methylchlorid reagieren bei Kontakt mit Magnesium spontan. Magnesium entzündet sich in feuchtem Chlor oder Fluor ebenfalls spontan. Verschiedene Metallcyanide reagieren mit Magnesium unter Aufglühen, wenn man das Gemisch erwärmt.

Weitere Reaktionen von Magnesium mit anderen Stoffen sind im Anhang A2 beschrieben.

### **Staubexplosionsgefahr**

Pulverförmiges Magnesium kann mit Luft im aufgewirbelten Zustand eine explosionsfähige Atmosphäre bilden. Hierzu muss die Staubkonzentration oberhalb der unteren Explosionsgrenze vorliegen. Durch wirksame Zündquellen kann dieses Gemisch gezündet werden.

Zur Abschätzung der Brand- und Explosionsgefahr und zur Festlegung des Schutzkonzepts sind für jeden einzelnen Anwendungsfall die relevanten sicherheitstechnischen Kenngrößen wie z. B. Brennzahl, Glimmtemperatur, maximaler Explosionsüberdruck, KSt-Wert, untere Explosionsgrenze, Mindestzündenergie und Sauerstoffgrenzkonzentration zu ermitteln.

Ausgewählte sicherheitstechnische Kenngrößen von Magnesium sind im Anhang A3 beschrieben.

### **3.2 Zündquellen**

In der Literatur (EN 1127-1; TRBS 2152 Teil 3) werden 13 Zündquellen beschrieben, von denen erfahrungsgemäß insbesondere folgende beim Umgang mit Magnesium zu Bränden und Explosionen führen können:

- Heiße Oberflächen;
- Mechanisch erzeugte Funken;
- Flammen und heiße Gase;
- Statische Elektrizität;

- Chemische Reaktionen.

Diese Zündquellen sind im Anhang 5 näher beschrieben.

### **3.3 Schadenursachen**

Bekannte Ursachen für Brände und Explosionen beim Umgang mit Magnesium sind u. a.:

Technischer Defekt oder Fehlsteuerung an der Bearbeitungsmaschine, z. B. durch

- Entzündung von Magnesiumspänen oder -stäuben bei einem Werkzeugbruch,
- Fehlbewegungen des Werkzeuges,
- unzureichende Kühlschmierstoffzufuhr an der Bearbeitungsstelle bzw. durch
- Entzündung eines brennbaren Kühlschmierstoffes und in Folge dessen Sekundärbrand von Magnesium.

Unsachgemäßer Umgang mit Magnesium, z. B. durch

- Freisetzung von Schmelze aus dem Tiegel (z. B. durch Tiegelbruch oder Reaktion von in die Schmelze gefallenem Zunder),
- Verwechslung mit anderen Leichtmetallen, z. B. Aluminium,
- Wasserstoffbildung durch Reaktion von Magnesium mit Feuchtigkeit bzw. durch
- Lagerung von Reststoffen.

Mangelndes Gefahrenbewusstsein, z. B. durch

- Ansammlung gefährlicher Mengen von Magnesiumspänen oder -stäuben im Arbeitsbereich bzw.
- Tragen von magnesiumstaubverschmutzter Arbeitskleidung.

Fehlende und unzureichende Qualifizierung bzw. Unterweisung, z. B. durch

- Löschversuch eines Magnesiumbrandes mit Wasser- oder ABC-Löscher bzw.
- mangelnde Erfahrung über die Gefahren beim Umgang mit Magnesium.

Ausgewählte Schadenfälle sind im Anhang A5 dargestellt.

## 4 Gefährdungs- und Risiko- beurteilung

Beim Umgang mit Magnesium ist gemäß dem Arbeitsschutzgesetz sowie der Gefahrstoff- und der Betriebssicherheitsverordnung eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen.

Ist in einem Unternehmen der Umgang mit Magnesium Bestandteil des Arbeitsprozesses, so ist die Gefährdungsbeurteilung auf alle Prozesse anzuwenden. Damit sind für Lagerung, Umschlag, Gießprozesse, mechanische und thermische Bearbeitung sowie für die Entsorgung separate Gefährdungsbeurteilungen durchzuführen und Schutzmaßnahmen festzulegen.

Zusätzlich bedürfen Anlagen zum Schmelzen, zum Legieren oder zur Raffination von Magnesium mit einer Schmelzleistung ab 2 Tonnen pro Tag einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung nach der 4. BImSchV. Dabei wird das Genehmigungsverfahren für Anlagen, die mehr als 2 Tonnen, aber weniger als 20 Tonnen pro Tag verarbeiten, nach § 19 BImSchG im vereinfachten Verfahren durchgeführt. Für Anlagen, die 20 Tonnen oder mehr pro Tag verarbeiten, ist nach § 10 BImSchG ein Verfahren mit Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen.

Die gleichen Mengenschwelen gelten für Magnesiumgießereien.

Weitergehende Risikoaspekte, wie z. B. Risiken, die den Sach- und Betriebsunterbrechungsschutz von Unternehmen gefährden, sind nicht Bestandteil der o. g. vom Gesetzgeber geforderten Gefährdungsbeurteilung. Diese zum Teil existenzgefährdenden Risiken für ein Unternehmen sind erst im Rahmen einer ganzheitlichen Risikobeurteilung erkennbar.

Das vorliegende Merkblatt soll eine Hilfestellung zur Durchführung von ganzheitlichen Risikobeurteilungen sein, die auf einer Gefährdungsbeurteilung des Personen- und Arbeitsschutzes aufbauen. Darüber hinaus werden für die erkannten Risiken wirksame Schutzkonzepte aufgezeigt mit dem Ziel, diese zu minimieren.

## 5 Brandschutzmaßnahmen

Vorbeugende Brandschutzmaßnahmen werden gemäß Bild 1 wie folgt unterteilt:

- baulicher Brandschutz (Abschnitt 5.1);
- anlagentechnischer Brandschutz (Abschnitt 5.2);
- organisatorischer Brandschutz (Abschnitt 7).



**Bild 1:** Strukturierung von Brandschutzmaßnahmen

Der abwehrende Brandschutz beinhaltet alle Aufgaben der Brandbekämpfung (Brandschutz Helfer, Selbsthilfekräfte, Feuerwehren) und wird in diesem Merkblatt nicht weiter behandelt.

### 5.1 Baulicher Brandschutz

Brennbare Baustoffe in Kombination mit hohen Brandlasten und der besonderen Brennbarkeit von Magnesium begünstigen die Brandausbreitung, erschweren die Brandbekämpfung und führen damit in vielen Fällen zu Totalschäden. Um dieser Gefahr zu begegnen, müssen zur Errichtung von Bauwerken nichtbrennbare Bauteile und Baustoffe verwendet werden. Weiterhin sind Einrichtungen zum Rauch- und Wärmeabzug erforderlich.

Die Wirksamkeit des baulichen Brandschutzes wird wesentlich beeinflusst von

- dem Brandverhalten der verwendeten Bauteile und Baustoffe,
- der Feuerwiderstandsfähigkeit der Tragwerke und baulicher Trennungen sowie
- der Anordnung räumlicher bzw. baulicher Trennungen.

### 5.2 Anlagentechnischer Brandschutz

Technische Schutzmaßnahmen dienen der Bekämpfung und Begrenzung der Auswirkungen von Bränden.

Schadenerfahrungen zeigen, dass aufgrund betrieblicher Anforderungen eine zuverlässige Schadenvermeidung durch vorbeugende Maßnahmen in der Praxis nicht immer sichergestellt werden kann. Deshalb sind Maßnahmen zur Schadenbegrenzung notwendig. Die Brandbekämpfung muss jederzeit ohne Gefährdungen für Personen möglich sein. Das Schadenausmaß muss dabei auf ein vertretbares Maß reduziert werden. Das erfordert, einen Brand in der Entstehungsphase sicher zu detektieren und zeitnah zu bekämpfen.



Bei der Auswahl der Schutzmaßnahmen sind neben dem normalen Betrieb die An- und Abfahrphasen, Störungen, der Stillstand sowie die Instandhaltung zu berücksichtigen.

### 5.2.1 Brandmeldeanlagen

Folgende Branderkennungselemente stehen zur Verfügung:

- Flammenmelder;
- Wärmemelder;
- Rauchmelder;
- Handfeuermelder.

Brandmeldeanlagen sind nach den anerkannten Regeln der Technik zu planen, zu errichten und zu betreiben, z. B. nach den Richtlinien VdS 2095, VdS 2496, VDE 0833, DIN 14675. (s. Abschnitt 13).

Für die Detektion von Bränden in Gebäuden können grundsätzlich alle genannten Meldertypen eingesetzt werden.

Bei Flammenmeldern wird unterschieden zwischen UV- und IR-Meldern oder einer Kombination aus beiden Detektionsarten. IR-Melder sind nur zur Detektion von Ölbränden geeignet und sind gegen Verunreinigungen durch Ölnebel wenig anfällig. Trotzdem ist darauf zu achten, dass durch Ölnebel die Sichtfähigkeit stark eingeschränkt sein kann. Durch zusätzliche Maßnahmen (Luftspülvoratz) kann die Sichtfähigkeit erhalten werden.

Bei der Branddetektion von reinen Magnesiumbränden ist eine schnelle Reaktionszeit entscheidend. Brennendes Magnesium emittiert überwiegend UV-Strahlung. Daher könnte ein reiner Magnesiumbrand durch einen UV-Melder detektiert werden. Versuche haben jedoch gezeigt, dass bei Flammenmeldern mit einem verzögerten Ansprechverhalten gerechnet werden muss. Die Wirksamkeit von Flammenmeldern zur Detektion von reinen Magnesiumbränden ist somit noch nicht eindeutig nachgewiesen und bedarf noch weiterer Untersuchungen.

Wärmemelder sind als Ergänzung dort angebracht, wo die Wirksamkeit von Flammenmeldern prozessbedingt eingeschränkt ist.

Rauchmelder können dort nicht eingesetzt werden, wo mit der Bildung von Staub/Luft-Gemischen oder Aerosolen gerechnet werden muss (z. B. bei Bearbeitungsmaschinen).

Zur Vermeidung von Täuschungsalarmen können Melder in Zwei-Meldungs-Abhängigkeit geschal-

tet werden. Das Signal des ersten Brandmelders führt dabei zu einem Voralarm (Kontrollmaßnahmen veranlassen). Beim Ansprechen eines zweiten Brandmelders sind sofort Maßnahmen zur Brandbekämpfung einzuleiten.

Zusätzlich zu den automatischen Meldern sind Handfeuermelder vorzusehen, die im Bereich der Maschinen sowie im Bereich der Fluchtwege anzuordnen sind.

Jede Brandmeldung muss eine Weitermeldung an eine ständig besetzte Stelle (innerbetrieblich oder extern) zur Folge haben, um zeitnah Brandbekämpfungsmaßnahmen einleiten zu können. Zudem sollte eine lokale Alarmierung (primär akustisch; ggf. optisch) vorgesehen werden.

Sollte sich im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung die Notwendigkeit einer automatischen Löscheinrichtung ergeben, so muss mit der automatischen Branderkennung und Alarmierung auch eine automatische Auslösung der Löschanlage erfolgen.

Beim Ansprechen der Brandmeldeanlage und/oder Auslösung der Löschanlage ist es erforderlich, bestimmte Betriebsmittel anzusteuern bzw. abzuschalten, um weitere Schäden (z. B. durch Brandausbreitung oder Rückzündung) zu vermeiden. Hierfür ist durch den Betreiber eine Abschaltmatrix zu erstellen und vor Inbetriebnahme zu überprüfen. Die ordnungsgemäße Funktion ist zu dokumentieren.

Stillstandszeiten von Maschinen dürfen nicht zur Energiefreischaltung der Brandmelde- und Ansteuerungsanlage führen. Eine netzunabhängige Stromversorgung ist vorzusehen.

### 5.2.2 Löschanlagen

Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen dem Schutz von Gebäuden und Betriebseinrichtungen im Umfeld der Magnesiumbearbeitung sowie Einrichtungen zur Bearbeitung von Magnesium (Einrichtungsschutz). Die Eignung der gewählten Brandbekämpfungseinrichtungen ist dem Schutzziel entsprechend auszuwählen.

Folgende stationäre Löschanlagen sind je nach Schutzbereich hier einsetzbar:

- Sprinkleranlagen;
- Sprühwasserlöschanlagen;
- Gaslöschanlagen;
- Pulverlöschanlagen.

Löschanlagen sind nach den anerkannten Regeln der Technik zu planen, zu errichten und zu betreiben, z. B. nach den Richtlinien von VdS Schadenverhütung (s. Abschnitt 13).

### **Sprinkleranlagen**

Sprinkleranlagen sind Feuerlöschanlagen mit ortsfest verlegten Rohrleitungen, die mit geschlossenen Löschdüsen versehen sind, die bei Einwirken von Wärme selektiv auslösen. Durch Zumischung von filmbildenden Schaummitteln (Aqueous Film Forming Foam – AFFF) lässt sich die Löschwirksamkeit von Sprinkleranlagen verbessern.

Weitere Hinweise: VdS CEA 4001

Lagerbereiche für Masseln, Fertig- und Halbfertigteile aus Magnesium mit nennenswerten Anteilen an brennbaren Verpackungsmaterialien (z. B. Kartonagen, Kunststoffe) und Lagerhilfen (z. B. Holzpaletten, KLTs, GLTs) sowie Produktionsbereiche können aufgrund der dort vorhandenen Umgebungsbrandlast durch Sprinkleranlagen geschützt werden. Eine unmittelbare Brandbekämpfung von Magnesiumbränden mit Wasser oder Wasser-Schaum-Gemisch ist jedoch nicht möglich!

### **Sprühwasserlöschanlagen**

Sprühwasserlöschanlagen sind Feuerlöschanlagen mit ortsfest verlegten Rohrleitungen, die mit offenen Löschdüsen versehen sind, die gleichzeitig in Betrieb gesetzt werden. Sie werden dort installiert, wo im Brandfall mit einer schnellen Brandausbreitung zu rechnen ist. Durch Zumischung von filmbildenden Schaummitteln (AFFF) lässt sich die Löschwirksamkeit von Sprühwasser-Löschanlagen verbessern.

Weitere Hinweise: VdS 2109

Sprühwasserlöschanlagen sind grundsätzlich für die gleichen Anwendungsbereiche wie Sprinkleranlagen geeignet, werden aber i. d. R. nur für Sonderanwendungen genutzt.

### **Gaslöschanlagen**

Gaslöschanlagen sind Löschanlagen mit Inertgasen (z. B. Kohlendioxid, Stickstoff, Argon und zugelassene Gasgemische) und synthetischen Gasgemischen (z. B. halogenierte Kohlenwasserstoffe). Das Löschprinzip der Inertgase beruht auf einer Verdrängung des zum Brand erforderlichen Sauerstoffes. Das Löschprinzip der synthetischen Löschgase beruht auf einem Kühleffekt und einer

daraus resultierenden Unterbrechung des Oxidationsvorgangs beim Brand.

Weitere Hinweise: VdS 2093, VdS 2380, VdS 2381, VdS 3518, BGR 134, BGI 888

Brände von Magnesium in Bearbeitungsmaschinen können nur mit dem Inertgas Argon gelöscht werden, wenn eine löschwirksame Konzentration des Gases über eine ausreichend lange Zeit aufrechterhalten wird.

Löschanlagen mit sonstigen Inertgasen sind nur zur Bekämpfung von Ölbränden im Maschinenarbeitsraum geeignet. Die Löschung eines Ölbrandes mit Inertgasen muss so frühzeitig erfolgen, dass die Zündung von Magnesium verhindert wird.

Löschanlagen mit halogenierten Kohlenwasserstoffen sind für die Bekämpfung von Magnesiumbränden nicht geeignet. Die Wirksamkeit der Bekämpfung von Ölbränden ist nachzuweisen.

Für einzelne Einrichtungsschutzbereiche, bei denen begrenzte Löschmittelmengen ausreichend sind, können Kleinlöschanlagen (s. Anhang A1) verwendet werden.

### **Pulverlöschanlagen**

Pulverlöschanlagen sind Löschanlagen mit pulverförmigen Löschmedien wie ABC-Löschpulver (für die Brandklassen A, B und C) sowie D-Löschpulver (für die Brandklasse D). Das Löschprinzip beruht auf der Abtrennung der brennenden Materialien vom Luftsauerstoff.

Magnesiumbrände können ausschließlich mit Löschpulver der Brandklasse D gelöscht werden.

Pulverlöschanlagen sind vorwiegend für Filtergeräte geeignet.

Für einzelne Einrichtungsschutzbereiche, bei denen begrenzte Löschmittelmengen ausreichend sind, können Kleinlöschanlagen (s. Anhang A1) verwendet werden.

#### **5.2.3 Löschmittel für Magnesium**

Magnesium ist in die Brandklasse D (Metallbrände) eingestuft.

Die hohen Verbrennungstemperaturen des Magnesiums von weit über 2.400 °C und seine Reaktionsfreudigkeit mit Wasser bedingen, dass ein einmal entstandener Magnesiumbrand mit Wasser oder wasserhaltigen Löschmitteln nicht gelöscht wer-

den kann. Statt des eigentlich erwarteten Löschvorgangs reagiert das brennende Magnesium mit Wasser zu Magnesiumoxid unter Freisetzung von Wasserstoff. Die Folge ist eine explosionsartig verlaufende Knallgasreaktion.

Darüber hinaus dürfen Magnesiumbrände auch nicht mit gängigen Löschmitteln wie Kohlenstoffdioxid oder Stickstoff gelöscht werden, da brennendes Magnesium mit diesen reagiert (s. Abschnitt 3.1).

Für das Ablöschen von brennendem Magnesium sind folgende Löschmittel geeignet:

- Löschpulver der Brandklasse D;
- trockene Magnesiumabdecksalze;
- trockene und rostfreie Graugussspäne;
- trockener Sand oder trockener Zement;
- Sonderlöschmittel mit nachgewiesener Löschwirksamkeit.

Zur manuellen Bekämpfung von Magnesiumbränden – auch zum Einsatz durch die Feuerwehr – haben sich "Zementlöschanlagen" bewährt. Diese bestehen aus einem meist außerhalb des Gebäudes aufgestellten Zementsilo, einer elektrisch betriebenen Fördereinrichtung mit Notstromversorgung und einem daran angeschlossenen Schlauch zur manuellen Verteilung des Löschmittels auf den Brandherd. Vorteil dieser Anlagen sind die sofortige Verfügbarkeit und die Möglichkeit der großflächigen Verteilung des Löschmittels auf den Brandherd.

Argon ist als Löschgas nur für die Anwendung in begrenzten, geschlossenen Räumen (Behälter, technische Anlagen) geeignet, wenn eine löschwirksame Konzentration des Gases über eine ausreichend lange Zeit aufrechterhalten wird. Dabei ist zu beachten, dass der für eine Löschwirkung zu unterschreitende Restsauerstoffgehalt bei Magnesiumbränden weit unter dem von Bränden organischer Stoffe (wie Öl) liegt. Die für eine Löschwirkung notwendige Lös-

dauer liegt bei Magnesiumbränden weit über der von Bränden organischer Stoffe (wie Öl).

Nicht geeignet für das Ablöschen von brennendem Magnesium sind:

- Löschpulver der Brandklassen A, B und C;
- Wasser und wasserhaltige Stoffe;
- Kohlendioxid;
- Stickstoff.

## 6 Explosionsschutzmaßnahmen

Aus der Gefährdungsbeurteilung hat der Arbeitgeber die erforderlichen Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten abzuleiten.

- a) Maßnahmen, welche eine Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre verhindern oder einschränken (Abschnitt 6.1);
- b) Maßnahmen, welche die Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre verhindern (Abschnitt 6.2);
- c) Maßnahmen, welche die Auswirkungen einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken (Abschnitt 6.3).

In der Regel ist den Maßnahmen nach a) Vorrang zu geben. Es ist deshalb zu überlegen, ob und wie diese Maßnahmen sinnvoll angewendet werden können. Führt diese Überlegung nicht zu einer befriedigenden Lösung, so sind nach sachkundigem Ermessen Maßnahmen nach b) oder c) oder geeignete Kombinationen von Maßnahmen nach a), b) oder c) anzuwenden.

Für die sachgerechte Auswahl und Auslegung von Schutzmaßnahmen ist die Kenntnis der sicherheitstechnischen Kenngrößen (s. Anhang A3) unerlässlich. In der folgenden Tabelle ist die Zuordnung der jeweiligen Schutzmaßnahmen zu den erforderlichen Kenngrößen dargestellt.

Schutzmaßnahmen		Zu beachtende Kenngrößen und Eigenschaften
a)	Vermeiden brennbarer Stäube	Brennbarkeit, Explosionsfähigkeit
	Konzentrationsbegrenzung	Explosionsgrenzen
	Inertisierung	Sauerstoffgrenzkonzentration (Gasinertisierung), Explosionsfähigkeit (Feststoffinertisierung)
b)	Vermeiden von Zündquellen	Mindestzündenergie, Zündtemperatur, Glimmtemperatur, Selbstentzündungsverhalten, elektrostatisches Verhalten
c)	Explosionsfeste Bauweise	Maximaler Explosionsüberdruck
	Explosionsdruckentlastung	$K_{St}$ -Wert und maximaler bzw. reduzierter Explosionsüberdruck
	Explosionsunterdrückung	
	Explosionstechnische Entkopplung	

**Tabelle 1:** Zuordnung von Schutzmaßnahmen und Kenngrößen

### 6.1 Vermeidung oder Einschränkung explosionsfähiger Atmosphäre

In Bearbeitungsmaschinen und zugehörigen Einrichtungen ist durch Objektabsaugung die Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre von Stäuben, Gasen und/oder Dämpfen möglichst zu vermeiden.

Eine weitere Möglichkeit zur Vermeidung explosionsfähiger Atmosphäre in Bearbeitungsmaschinen ist die Substitution der eingesetzten Hilfsstoffe:

- nicht wassermischbare Kühlschmierstoffe mit geringerem Gefährdungspotential;
- wassermischbare Kühlschmierstoffe – Emulsionen – mit geringerer Wasserstoffbildung.

Zusätzlich sind nicht erfasste abgelagerte Stäube in Bearbeitungsmaschinen und zugehörigen Einrichtungen durch Reinigungsmaßnahmen zu entfernen.

Speziell bei Entstaubungsanlagen als filternder Abscheider kann die staubexplosionsfähige Atmosphäre durch die Zugabe von inerten, nicht brennbaren Additiven vermieden werden. Diese Möglichkeiten einer Feststoffinertisierung sowie einer Gasinertisierung sind im Anhang A6 beschrieben.

In der Umgebung von Anlagen und Anlagenteilen zur Bearbeitung von Magnesium ist explosionsfähige Atmosphäre

- durch technische Lüftung (Raumabsaugung) und
- zusätzliche Reinigungsmaßnahmen

gering zu halten.

### 6.2 Vermeidung wirksamer Zündquellen

Beim Umgang mit Magnesium sind hinsichtlich der Entzündung von explosionsfähigen Staub- bzw. Gas/Luft-Gemischen (Wasserstoff) im Wesentlichen folgende Zündquellen zu betrachten:

Heiße Oberflächen, z. B.:

- unzureichende Zuführung des Kühlschmierstoffs;
- defekte Lager.

Flammen und heiße Gase, z. B.:

- Flammen in Feuerungsanlagen;
- Brände in Einrichtungen und Anlagen (z. B. Mahlanlagen, Mischern, mechanischen Förderorganen) entstehen.

Mechanisch erzeugte Funken, z. B.:

- heiße Partikel, z. B. durch unkontrolliert freigesetzte Funken bei Heißenarbeiten (z. B. beim Schweißen und Trennen);
- Werkzeugbruch bzw. abgenutztes/defektes Werkzeug;
- Fehlbewegungen/Fehlsteuerungen in Bearbeitungsmaschinen.

Statische Elektrizität, z. B.:

- fehlender Potenzialausgleich/fehlende Erdung aller leitfähigen Bauteile untereinander.

Chemische Reaktionen, z. B.:

- exotherme Reaktion – Selbstentzündung (zu große Lagermengen und Lagerzeiten der abgeschiedenen Stäube in Entstaubungsanlagen);
- Thermitreaktion als Folge von Zunder und Rost an Stahlteilen, die mit flüssigem Magnesium in Berührung kommen.

Zusätzliche Hinweise zu den Zündquellen sind in Anhang A4 angeführt.

### 6.3 Konstruktiver Explosionsschutz

Kann die Bildung und Entzündung explosionsfähiger Atmosphäre nicht vermieden werden, so sind weitere Explosionsschutzmaßnahmen erforderlich, mit denen die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß für Mensch und Umwelt begrenzt wird. Weiterhin kann der Sachschaden sowie die sich daraus ergebende Betriebsunterbrechung in Abhängigkeit von den ausgeführten Schutzmaßnahmen minimiert werden.

Diese Explosionsschutzmaßnahmen sind bei explosionsfähiger Atmosphäre im Innern von Anlagen anzuwenden. So sind z. B. bei Entstaubungsanlagen für die Trockenabscheidung von Magnesiumstäuben folgende Maßnahmen möglich:

- Explosionsfeste Bauweise;
- Explosionsdruckentlastung;
- Explosionsunterdrückung;

jeweils zusätzlich mit

- explosionstechnischer Entkopplung der vor- und nachgeschalteten Anlagenteile.

Diese konstruktiven Explosionsschutzmaßnahmen sind in Anhang A7 beschrieben.

## 7 Organisatorische Maßnahmen

Aufgrund von Gesetzen, Verordnungen, Bestimmungen und Richtlinien ist der Betreiber verpflichtet organisatorische Maßnahmen zu ergreifen und zu überwachen, so dass es nicht zu einer Gefährdung der Sicherheit, der Gesundheit der Beschäftigten oder anderer Beteiligter kommt.

Organisatorische Maßnahmen sind grundsätzlich immer notwendig, selbst wenn technische Maßnahmen zur Vermeidung von Brand- und Explosionsrisiken getroffen wurden (s. auch VdS 2000).

Wesentliche Eckpunkte sind:

### Explosionsschutzdokument

Wenn mit der Entstehung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre gerechnet werden muss, hat der Betreiber einer Anlage nach § 6 BetrSichV ein Explosionsschutzdokument zu erstellen.

Das Explosionsschutzdokument ist, unabhängig von der Anzahl der Beschäftigten, vor Aufnahme der Arbeit zu erstellen. Bei der Dokumentation muss nachgewiesen werden, dass die Explosionsgefährdungen ermittelt und einer Bewertung unterzogen worden sind und dass angemessene Vorkehrungen getroffen werden, um die Ziele des Explosionsschutzes zu erreichen.

### Erarbeitung von Betriebsanweisungen

Betriebsanweisungen sind tätigkeitsbezogene, verbindliche, schriftliche Anordnungen und Verhaltensregeln des Arbeitgebers. Sie beschreiben die arbeitsplatzspezifischen Gefahren und weisen auf die festgelegten bzw. einzuhaltenden Schutzmaßnahmen hin.

### Ausreichende Qualifikation der Beschäftigten

Für die Arbeitsplätze sollen ausreichend qualifizierte Mitarbeiter zur Verfügung stehen, die die notwendige Erfahrung und Ausbildung für die ihnen zugewiesene Aufgabe auf dem Gebiet des Brand- und Explosionsschutzes beim Umgang mit Magnesium besitzen.

### Unterweisung der Mitarbeiter

Die Beschäftigten sind durch Unterweisung über die am Arbeitsplatz auftretenden Gefahren und die zu ergreifenden Schutzmaßnahmen regelmäßig nachweisbar zu unterrichten. Grundlage dafür bildet die Gefährdungsbeurteilung und die Betriebsanweisung.

### Prüfung, Überwachung, Dokumentation und Instandhaltung

Arbeitsmittel und Arbeitsplätze sind vor der erstmaligen Nutzung, in regelmäßigen Abständen sowie nach wesentlichen Änderungen zu überprüfen. Prüfungen sind von einer befähigten Person durchzuführen und zu dokumentieren.

Instandhaltungsmaßnahmen beinhalten Inspektion, Wartung und Instandsetzung.

### Kennzeichnung gefährdeter Bereiche

Gefährliche Bereiche sind zu kennzeichnen (siehe Bilder 2, 3 und 4).



**Bild 2:** Warnung vor explosionsfähiger Atmosphäre.



**Bild 3:** Keine offene Flamme; Feuer, offene Zündquelle und Rauchen verboten.



**Bild 4:** Mit Wasser löschen verboten.

Wesentliche organisatorische Maßnahmen:

- Ordnung und Sauberkeit (keine unnötigen Brandlasten, nicht nur bezogen auf Magnesium);
- Reinigung des gesamten Bereichs der Magnesiumbearbeitung von Magnesiumstoffen (Späne, Flitter, Stäube und Schlämme) nach Bedarf (z. B. mindestens einmal pro Schicht); Reinigung von Hand oder mit geeignetem Staubsauger (Aufwirbelung von Staub durch manuelle Abreinigung mit Druckluft unterlassen);
- Regelmäßige (z. B. mindestens einmal pro Schicht) Entsorgung bzw. Abtransport der Behälter mit Spänen, Stäuben und Schlämmen zu geeigneten Lagerbereichen (s. Abschnitt 8.3);
- Für eine Zwischenlagerung von Magnesiumspänen usw. sind geeignete Behälter o. ä. in der Fertigung bereitzustellen. Diese sollten einen lose aufliegenden Deckel haben, um entstehenden Wasserstoff entweichen zu lassen und gleichzeitig das Magnesium abzudecken.
- Vermeidung von Zündquellen (Rauchverbot, defekte elektrische Anlagen, offenes Feuer usw.);
- Kein Transport von Magnesium im Freien während und ca. 30 min nach einem Gewitter (Regelung über Betriebsanweisung);
- Freigabe von feuergefährlichen Arbeiten nur mit Erlaubnisscheinverfahren;
- Kennzeichnung der Bereiche mit Magnesiumverarbeitung und Magnesiumlagerung;
- Brandschutz- und Feuerwehreinsatzplan (Handhabung, Aktualisierung, Verteilung usw.);
- Bewegungsflächen und Angriffswege für die Feuerwehr, Rettungsdienste usw. kennzeichnen und freihalten;
- Einsatzübungen mit der Feuerwehr durchführen und dabei den Feuerwehrplan und den Alarmplan überprüfen und evtl. anpassen;
- Bereitstellung geeigneter Löschmittel für Magnesium in ausreichender Menge (s. Abschnitt 5.2.3);
- Erstellung eines Wartungs- und Reinigungsplanes für Maschinen und Anlagen auf Basis der Betriebsanleitungen;
- Funktionsüberprüfung und Kontrolle von Absauganlagen einschl. Prüfung des Rohrleitungssystems auf Ablagerungen;
- Funktionsüberprüfung von technischen Schutzmaßnahmen wie z. B. von automatischen Brandmelde- und Feuerlöschanlagen gemäß Herstellerangaben;
- Festlegung von Regelungen zur In- und Außerbetriebnahme von Brandschutzanlagen.

## 8 Lagerung von Magnesium

Bei der Lagerung von Magnesium sind Zündquellen und Umgebungsbrandlasten zu vermeiden.

Auf keinen Fall darf Magnesium mit brennbaren Flüssigkeiten und Gasen sowie selbstentzündlichen Stoffen zusammengelagert werden. Brennbare Stoffe, z. B. bevorratete Verpackungs- und Transporthilfsmittel, sollten nicht im selben Lagerraum wie Magnesium gelagert werden.

Wenn andere brennbare Materialien im gleichen Brandabschnitt gelagert werden müssen, sollte ein Abstand von 7,5 Meter eingehalten werden (Angaben zu Abständen, Lagerhöhen, Gangbreiten sowie Lagervolumen siehe NFPA 484). Ob von einer Getrenntlagerung abgewichen werden kann, wird im Einzelfall Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung sein.

Grundsätzlich ist bei der Lagerung von Magnesium zu beachten:

- Kennzeichnung der Lagerbereiche für Magnesium;
- Kennzeichnung der Behälter mit Magnesiumstäuben, -spänen und -schlämmen entsprechend der Gefahrstoffverordnung;
- Hinweise für die Feuerwehr (z. B. Feuerwehrpläne, Verbotsschilder);
- Heiß- und Feuerarbeiten dürfen ohne spezielle Sicherheitsvorkehrungen in diesen Bereichen nicht ausgeführt werden (Erlaubnisscheinverfahren);
- Lagerbereiche regelmäßig reinigen, um eine Anhäufung von Magnesiumrückständen zu vermeiden;
- Magnesium in einem separaten Brandabschnitt lagern;
- Lagerung in Gebäuden aus nicht brennbaren Baustoffen;
- Die Gebäude sollten mit einer Blitzschutzanlage geschützt sein;
- Die Lagerung von Magnesium sollte unabhängig von der äußeren Form und dem Bearbeitungszustand in einem trockenen Bereich erfolgen (keine Wasserlachen).

### 8.1 Masseln, Formate und Halbzeuge

Magnesium wird als Rohstoff in Form von Masseln, Formaten und Halbzeugen angeliefert und weiterverarbeitet.

Die Masseln, Formate und Halbzeuge werden gewöhnlich auf Holzpaletten zu einem Stapel gepackt und mit einer Kunststoffolie umhüllt. Als Lagerhilfsmittel eingesetzte Holzpaletten, Kanthölzer und Kunststoffolien sind als Umgebungsbrandlast zu beachten.

Bei Masseln findet aufgrund unterschiedlicher Temperatur und Schwankungen der Luftfeuchtigkeit während Lagerung und Transport eine Feuchtigkeitsaufnahme in die poröse Oberfläche statt. Deshalb sind die Masseln vor dem Einschmelzen ausreichend vorzuwärmen. Das kann z. B. durch Einstellung von Verweilzeiten oberhalb der Öfen/Ofendeckel und durch an die Masselzufuhr integrierte Ofenanlagen erfolgen.

Die Lagerung sollte vorzugsweise in Gebäuden ebenerdig erfolgen.

Brandschutzmaßnahmen:

- brandlastfreie Bausubstanz;
- feuerbeständige Abtrennung zu angrenzenden Bereichen;
- automatische Brandmeldeanlage;
- geeignete Löschmittel für Umgebungsbrandlast (Brandklasse ABC) und Magnesium (Brandklasse D).

## 8.2 Halbfertig- und Fertigteile

Halbfertig- und Fertigteile sowie Ausschussteile sollten möglichst frei von brennbaren Verpackungen und Transporthilfsmitteln gelagert werden. Wenn dies nicht möglich ist, so sollten Verpackungen genutzt werden, die sich mit konventionellen Löschmaßnahmen – auch unter Einsatz von nicht für die Metallbrandbekämpfung geeigneten Löschmitteln – in der Entstehungsphase eines Brandes ablöschen lassen.

Lagerbereiche mit Holz- und Kartonagenverpackungen sollten durch eine Sprinkleranlage geschützt werden. Ziel ist die Löschung eines Stützfeuers, das zur Entzündung von Magnesium führen könnte. Bei sehr geringen Anteilen brennbarer Verpackungen kann eine Brandmeldeanlage ausreichend sein.

Kunststoffverpackungen sind weitgehend zu vermeiden, da sie eine vielfach höhere Brandlast aufweisen. Brände in Lägern mit Kunststoffanteilen (z. B. KLT, GLT, ABS-Trays) können mit Sprinkleranlagen beherrscht werden, wenn besondere Bedingungen (z. B. geringere Lagerhöhe) eingehalten werden. Die Möglichkeit der Übertragung des Brandes auf das Magnesium ist im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung in Abhängigkeit von der Geometrie und Masse der Halbfertig- und Fertigteile sowie des Kunststoffanteils zu prüfen.

Brandschutzmaßnahmen:

- brandlastfreie Bausubstanz;

- feuerbeständige Abtrennung;
- Sprinkleranlage; bei Nichteignung automatische Brandmeldeanlage.

## 8.3 Späne, Flitter, Stäube und Schlämme

Die Lagerung von Spänen, Flitter, Stäuben und Schlämmen sollte außerhalb des Produktionsbereiches, vorzugsweise im Freien, geschützt vor Regen und direkter Sonneneinstrahlung, räumlich getrennt zu Gebäuden erfolgen.

Brandschutzmaßnahmen:

- brandlastfreie Bausubstanz;
- Brandabschnittstrennung;
- Belüftung mit ausreichendem Luftwechsel;
- automatische Brandmeldeanlage;
- keine Sprinkleranlage oder andere wasserführenden Löscheinrichtungen;
- keine Zusammenlagerung mit anderen brennbaren Stoffen;
- keine Beimischung zum normalen Haus-/Industriemüll.

### Trockene Späne

Trockene Späne sind vorzugsweise in dicht verschlossenen, nicht brennbaren Behältern (z. B. Stahlfässern) zu lagern. Da die Bildung von Wasserstoff nicht ausgeschlossen werden kann, sollte im Verschlussdeckel immer eine Entlüftungsöffnung vorgesehen werden.

Eine trockene Lagerung ist erforderlich, da die Zuführung von Feuchtigkeit zur Bildung von Wasserstoff oder zu einer Selbstentzündung führen kann.

Werden verschiedene Werkstoffe bearbeitet, so ist eine Vermischung von Magnesiumspänen mit eisenhaltigen Spänen zu vermeiden, da es sonst zu einer chemischen Reaktion mit Brandfolge kommen kann.

### Ölhaltige Späne

Ölhaltige Späne sind vorzugsweise in dicht verschlossenen, nicht brennbaren Behältern (z. B. Stahlfässern) zu lagern.

### Emulsionshaltige Späne

Emulsionshaltige Späne sind vorzugsweise in verschlossenen, nicht brennbaren Behältern (z. B. Stahlfässern) zu lagern. Es ist sicherzustellen, dass entstehender Wasserstoff gefahrlos über geeignete Entgasungsöffnungen entweichen kann.

### **Trockene Flitter**

Trockene Flitter können in Behältern, wie z. B. beschichtete BigBags, Container, Stahlfässer, gelagert werden. Eine trockene Lagerung ist erforderlich, da die Zuführung von Feuchtigkeit zur Bildung von Wasserstoff führen kann.

### **Ölhaltige Flitter**

Ölhaltige Flitter sind aus wasserrechtlichen Gründen in dichten Behältern, wie z. B. beschichtete BigBags, Container, Stahlfässer, zu lagern.

### **Emulsionshaltige Flitter**

Emulsionshaltige Flitter sind vorzugsweise in verschlossenen, nicht brennbaren Behältern (z. B. Stahlfässern) zu lagern. Es ist sicherzustellen, dass entstehender Wasserstoff gefahrlos über geeignete Entgasungsöffnungen entweichen kann.

### **Stäube**

Bei Stäuben ist neben der Brennbarkeit auch die Explosionsfähigkeit zu berücksichtigen. Die Notwendigkeit zur Ermittlung der Brenn- und Explosionskenngrößen ist im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung durchzuführen.

Stäube sind vorzugsweise in dicht verschlossenen, nicht brennbaren Behältern (z. B. Stahlfässern) zu lagern. Eine trockene Lagerung ist erforderlich, da die Zuführung von Feuchtigkeit zur Bildung von Wasserstoff oder zu einer Selbstentzündung führen kann.

Werden verschiedene Werkstoffe bearbeitet, so ist eine Vermischung von Magnesiumstäuben mit ferritischen Stäuben zu vermeiden, da es sonst zu einer chemischen Reaktion mit Brandfolge kommen kann.

### **Ölhaltige Schlämme**

Ölhaltige Schlämme sind vorzugsweise in dicht verschlossenen, nicht brennbaren Behältern (z. B. Stahlfässern) zu lagern.

### **Emulsionshaltige Schlämme**

Emulsionshaltige Schlämme sind vorzugsweise in verschlossenen, nicht brennbaren Behältern (z. B. Stahlfässern) zu lagern. Es ist sicherzustellen, dass entstehender Wasserstoff gefahrlos über geeignete Entgasungsöffnungen entweichen kann.

## **8.4 Krätze und Abschaum**

Magnesium- und magnesiumhaltige Krätze und Abschaum sollten nach dem Verdichten (sofern möglich) in Blöcken oder Tiegeln außerhalb des Produktionsbereiches gelagert werden. Vorzugsweise sollte dies im Freien, geschützt vor Feuchtigkeit, Regen und direkter Sonneneinstrahlung sowie räumlich getrennt zu Gebäuden erfolgen.

Brandschutzmaßnahmen:

- brandlastfreie Bausubstanz;
- Brandabschnittstrennung;
- Belüftung mit ausreichendem Luftwechsel;
- ggf. automatische Brandmeldeanlage;
- keine Zusammenlagerung mit anderen brennbaren Stoffen;
- keine Beimischung zum normalen Haus-/Industriemüll.

Bei Krätze und Abschaum ist durch den teilweise hohen Feinanteil neben der Brennbarkeit auch die Explosionsfähigkeit infolge Wasserstoffbildung zu berücksichtigen. Eine Ermittlung der möglichen Gefahren ist im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung durchzuführen. Die daraus abzuleitenden chemischen Untersuchungen und die dabei gewonnenen Ergebnisse ermöglichen die abfallrechtliche Einstufung, die wesentlich den weiteren Umgang Verwertung/Entsorgung der Krätze und des Abschaums vorschreibt.

Krätze und Abschaum sind vorzugsweise in verschließbaren Behältern (z. B. Stahlfässer, Abfallsonderbehälter oder geeignete BigBags) zu lagern. Eine trockene Lagerung ist zwingend erforderlich, da es bei Zuführung von Feuchtigkeit zur Bildung von entzündlichen Gasen oder zu einer Selbstentzündung kommen kann. Durch geeignete Lagergebäude muss sichergestellt sein, dass sich bildende Gase entweichen können.

## **8.5 Reststoffe**

Als Reststoffe sind mit Magnesium mehr oder weniger verunreinigte Betriebs- und Hilfsstoffe zu verstehen. Um diese Reststoffe einer entsprechenden Verwertung/Entsorgung zuführen zu können, muss vorab eine abfallrechtliche Einstufung vorgenommen werden, die die möglichen Verwertungs-/Entsorgungswege aufzeigt. Da es sich hier um Abfallrecht handelt und bei Zuwiderhandlung Ordnungsstrafen verhängt bzw. Strafverfahren eingeleitet werden, ist es zwingend notwendig, dass sich der Unternehmensverantwortliche mit der zuständigen Abfallbehörde in Verbindung setzt.



In Zusammenarbeit mit der Behörde und den zugelassenen Laboren werden die anfallenden Reststoffe aufgelistet, beschrieben und die möglichen Verwertungs-/Entsorgungswege bestimmt.

Beispiele für magnesiumhaltige Reststoffe sind:

- Schlämme und Filtermedien aus Kühlschmierstoff-Filtern (z. B. Gleitschleifanlagen);
- verunreinigte Verpackungseinheiten (z. B. BigBags);
- Filtermaterial aus Absaugungsanlagen;
- Filterkuchen aus Pressen;
- verunreinigtes Strahlgranulat;
- verunreinigte Putztücher;
- metallhaltige Reste der Reinigung von Maschinen/-betten;
- Kehricht.

Die Lagerung von magnesiumhaltigen Reststoffen sollte außerhalb des Produktionsbereiches, vorzugsweise im Freien, geschützt vor Feuchtigkeit/Regen und direkter Sonneneinstrahlung, räumlich getrennt zu Gebäuden erfolgen. Ein Vermischen mit anderen Reststoffen ist erst nach Rücksprache mit dem zuständigen Entsorger/Verwerter ratsam, mit diesen werden auch die notwendigen Lager/Transportgebäude bestimmt.

Die Brandschutzmaßnahmen richten sich nach dem Grad der Verunreinigung der Betriebs- und Hilfsstoffe mit Magnesium. Bei Reststoffen mit hohem Verunreinigungsgrad gelten die bei Spänen, Flitter, Stäuben und Schlämmen genannten Brandschutzmaßnahmen (s. Abschnitt 8.3).

## 9 Gießen von Magnesium

Gießen zählt zu den Fertigungsverfahren und wird entsprechend DIN 8580 zur Hauptgruppe Urformen gerechnet. Beim Gießen wird flüssiger, teigiger oder pastenförmiger Werkstoff in eine Form eingeführt und darin zum Erstarren gebracht.

Für die Erzeugung von Bauteilen aus Magnesiumwerkstoffen steht eine Vielzahl unterschiedlicher Legierungen zur Verfügung, die ein relatives breites Eigenschaftsspektrum abdecken können. Zudem werden die Gießverfahren ständig weiterentwickelt, so dass Magnesiumguss fortlaufend weitere Einsatzgebiete erobern kann.

Für den innerbetrieblichen Transport von Magnesium in fester oder flüssiger Form sind die einschlägigen Vorschriften (z. B. Staplerbeschaffenheit, Geschwindigkeit, Fahrverbot bei Gewitter) zu beachten.

### 9.1 Gießverfahren

#### Druckgießverfahren

Das Druckgießverfahren besteht im Gegensatz zu anderen Gießverfahren darin, dass das Metall in eine zugehaltene Dauerform in einigen Millisekunden eingepresst wird. Die Vorteile bei der Verwendung von Magnesium im Druckgießverfahren sind das Gießen von dünnwandigen Teilen, kurze Gießzeiten sowie längere Lebensdauer der Gießform.

Druckgießmaschinen für Magnesium werden in der Regel in Gießzellen betrieben, die aus folgenden Komponenten bestehen:

- Ofen zur Vorwärmung und Trocknung der Masseln;
- System zur Chargierung der Masseln in den Schmelzofen;
- Schmelzofensystem, das sowohl ein Einofen-, Zweiofen- oder ein Einofensystem mit 2 separaten Kammern sein kann;
- Die Öfen sind mit Stahlriegeln ausgestattet. Zur Reduzierung der Verzunderung sind die Tiegel mit hitzebeständigem Oberflächenmaterial plattiert.
- Die Metallzuführung erfolgt in der Regel über beheizte, Ni-freie, hitzebeständige Stahlrohre.
- Die Metaldosierung zur Druckgießmaschine erfolgt durch Vorrichtungen, wie Handschöpfung, Syphonrohre, Druckgaspumpen, Kolbenpumpen, Zentrifugalpumpen, elektromagnetische Pumpen, o. ä..
- Die Öfen sind mit Deckeln ausgerüstet, die Temperatur-, Badspiegelmessung, Überfüllelektroden, Überführungsrohre, Dosierpumpe, Schutzgas-Verteilssystem aufnehmen sowie durch entsprechende Klappen Inspektionen und Ofenreinigung ermöglichen.
- System zur Versorgung der Öfen mit Schutzgas;
- Druckgießmaschine mit Entnahmeverrichtung, Abkühlstrecke und Stanzeinrichtung.

Der weitere Produktionsprozess hängt von den eingesetzten Gießmaschinen ab:

- bei Warmkammer-Druckgießmaschinen befindet sich im Gießofen ein Gießbehälter mit Presskolben, eingetaucht in flüssigem Magnesium. Beim Einspritzen presst der Hydraulikzylinder auf den Presskolben, der Magnesium aus dem Gießbehälter über die Düse in die Gießform einpresst. Gießgewichte bis 2 kg, Gießtemperatur bis 650 °C, Maschinenschließkraft bis 11 MN.

- bei Kaltkammer-Druckgießmaschinen wird Magnesium über die Eingießrinnen und das Pumpensystem direkt in die Füllkammer der Gießmaschine geleitet. Wenn dort genug Schmelze zugeführt ist, presst der Gießkolben die Schmelze direkt in die Gießform ein. Gießgewichte bis 40 kg, Gießtemperatur bis 750 °C, Maschinenschließkraft bis 50 MN.

### Weitere Gießverfahren

Weitere angewandte Magnesium-Gießverfahren sind z. B. Magnesium-Spritzgießen (Thixomolding), Sandguss oder Vakuum-Kokillenguss. Abhängig von der Größe der Gießteile, Menge der flüssigen Schmelze und weiteren Parametern, sind für diese Verfahren gesonderte Gefährdungsbeurteilungen erforderlich. Grundsätzlich gelten aber für alle Magnesium-Gießverfahren vergleichbare Sicherheitsmaßnahmen, wie diese im nächsten Kapitel beschrieben werden.

## 9.2 Verfahrenssicherheit

### Schutzgase

Da der ganze Produktionsprozess bei einer Temperatur von 630 °C bis 710 °C (je nach Legierung und Gießverfahren) verläuft, d. h. weit über der Zündtemperatur von Magnesium, muss das Zuführsystem für flüssiges Magnesium hermetisch abgedichtet sein und die Schmelzoberfläche mit Schutzgas geschützt werden. Wenn kein Schutzgas vorhanden ist, entstehen schwer zu beseitigende Oxide und es kommt zur Entzündung von flüssigem Magnesium.

Für die notwendige Schutzgasatmosphäre werden unterschiedliche Gasgemische, abhängig von den Arbeitsbedingungen und der Temperatur, eingesetzt.

Zur Bereitstellung dieser Schutzgasversorgung werden Mischanlagen eingesetzt, die hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit gewährleisten.

Schutzgasanlagen sollten redundant ausgeführt werden. Bei evtl. Störungen (z. B. Stromausfall, Leitungsbruch) muss immer eine sichere Notbegasung gewährleistet werden.

Die Lagerung und Bereitstellung des Schutzgases in Druckgasflaschen sollte in einem brandschutztechnisch getrennten Bereich oder zugelassenen Sicherheitsschränken erfolgen.

### Tiegelsicherheit

Da geschmolzenes Magnesium mit Eisenoxid exotherm reagiert, ist die Qualität und Kontrolle der Schmelztiegel von besonderer Bedeutung. Regelmäßige Kontrollen und Wanddickenmessungen müssen nach Herstellerangaben durchgeführt werden.

Zur Vermeidung von Thermitreaktionen (s. Abschnitt 3.1) muss die Bildung von Zunder und Rost an den Tiegelwänden und Stahlteilen, die mit flüssigen Magnesium in Berührung kommen, auf das geringste mögliche Maß reduziert werden. Rost und Zunderansätze können z. B. durch falsche Schutzgaskonzentrationen entstehen.

Bei einem evtl. Tiegelbruch kann das flüssige Magnesium in den Ofenzwischenraum laufen und sich dort zusammen mit dem Luftsauerstoff entzünden. Durch die sehr hohe Temperatur kann die Ofenverkleidung zerstört werden und es kann zum freien Auslaufen des brennenden flüssigen Magnesiums kommen. Für diesen Havariefall muss ein geeignetes Schutzkonzept vorgehalten werden. Eine Möglichkeit ist die Notbegasung des Ofenzwischenraumes mit Argon bis zur Temperaturabsenkung der Schmelze unter 400 °C. Dieser Prozess kann je nach Schmelzmasse mehrere Stunden dauern. Jeder Ofen sollte mit einem System (Kurzschlusssonde) zur Detektierung in den Ofenraum abgeflossener Schmelze ausgerüstet sein.

### Absaugung

Bei Vorhandensein von Absaugungen für die Gießmaschinen sind diese so anzuordnen, dass sich keine Kondensat-Ansammlungen in der Absaugverrohrung und den Filterpaketen bilden können.

Bei dem Einfüllen von flüssigem Magnesium in die Füllkammer, kommt es bedingt durch das Kolbensmiermittel zu kurzzeitigen Flammenentwicklung in diesem Bereich. Die Absaugöffnungen müssen deshalb so angeordnet werden, dass ein direktes Einschlagen von Flammen in die Absaugung verhindert wird. Daher müssen die Absauganlagen mit den Verrohrungen regelmäßig aus brandschutztechnischen Gründen gereinigt werden.

### Hilfsmittel

Es müssen alle notwendigen Maßnahmen getroffen werden, um den Kontakt zwischen flüssigen Magnesium und Wasser/Feuchtigkeit zu verhindern. Deshalb müssen alle Reinigungswerkzeuge,

Schöpfkellen u. ä. vor dem Einsatz gesäubert, vorgewärmt und trocken sein.

Werkzeuge sollen so beschaffen sein, dass sich keine Feuchtigkeit ansammeln kann. Besonders wenn Werkzeuge mit Hohlgriffen eingesetzt werden, darf keine Feuchtigkeit anhaften, die zu Reaktionen in der Schmelze führt. Hohl ausgeführte Griffstangen müssen einseitig offen ausgeführt werden, um Explosionen in der Griffstange zu vermeiden.

### Entgraten

Nach dem Druckgießen wird das Gussteil normalerweise einer Entgratpresse zugeführt. Beim Entgraten werden Anguss und andere Gießreste entfernt.

Hierbei ist besonders darauf zu achten, dass es zu keiner Anhäufung von Entgratabfällen kommt und besonders die leicht entzündlichen feinen Grat- und Flitterabfälle regelmäßig entfernt werden.

### Entsorgung

Die beim Reinigen der Schmelze anfallende Magnesiumkrätze ist in nicht brennbaren geeigneten Behälter mit dicht schließendem Deckel zu lagern oder mit speziellem Schmelzsatz abzudecken und nach Erkaltung der Entsorgung zuzuführen.

Die für die Tiegelreinigung verwendeten Werkzeuge sollten in geeigneten Gefäßen, in jedem Fall aber sauber und trocken aufbewahrt werden.

In der Produktion sollten nur die kurzzeitig anfallenden Gießabfälle zwischengelagert werden. Die Lagerung des Abfalls bis zum Abtransport sollte in einem separaten Gebäude oder Raum erfolgen (s. Abschnitt 8).

### Weitergehende Anforderungen

Die Absperrmöglichkeiten für die Medienversorgung sowie die Abschaltmöglichkeiten für die Spannungsversorgung sollten immer zentral von einer sicheren Stelle aus möglich sein.

Medien-, Steuer- und Elektroleitungen sollten möglichst nicht im Maschinenpodest frei verlegt werden. Sollte dies unumgänglich sein, so sind die Leitungen gegen evtl. austretendes Magnesium zu schützen. Das kann durch eine Ummantelung der Leitungen oder durch eine Verlegung in separaten, geschützten Kanälen erfolgen.

Das Maschinenbett und die Grube der Druckgießmaschine müssen so beschaffen sein, dass sich keine flüssigen Stoffe (z. B. Formentrennmittel, Kolbenschmiermittel, Hydraulikflüssigkeit) ansammeln können. Spezielle Drainagesysteme und regelmäßiges Reinigen sind deshalb immer erforderlich.

Grundsätzlich sind alle sicherheitstechnischen Einrichtungen in regelmäßigen Abständen zu prüfen. Auch hier sind die eingesetzten Thermoelemente zur Überwachung der Schmelze redundant auszuführen und regelmäßig zu warten.

Geschmolzenes Magnesium darf nie mit Stoffen in Berührung kommen, die Feuchtigkeit enthalten. Deshalb müssen auch Auffangbereiche und Fußböden für evtl. auslaufende Schmelze wegen der Gefahr von Kristallwasser im Beton mit Stahlplatten oder anderen geeigneten Materialien (beispielsweise Klinker-Fliesen) ausgekleidet bzw. belegt werden.

Bei der Überwachung von Gießereien mit automatischen Brandmeldeanlagen können die automatischen Melder während des Betriebes deaktiviert werden. Es ist sicherzustellen, dass diese bei Betriebsunterbrechungen bzw. -ende wieder eingeschaltet werden.

## 10 Mechanische Bearbeitung von Magnesium

Magnesium-Legierungen lassen sich mit allen gängigen spanenden und spanlosen Fertigungsverfahren bearbeiten. Die Bearbeitung erfolgt sowohl trocken als auch unter Zusatz von Kühlschmierstoffen.

Die nachfolgenden Verfahren und Schutzmaßnahmen erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Hier nicht genannte Verfahren und Schutzmaßnahmen sind gesondert zu beurteilen.

Für jedes Bearbeitungsverfahren ist die Notwendigkeit und Wirksamkeit der Schutzmaßnahme einzeln zu bewerten.

### 10.1 Spanende Verfahren

Hier wird unterschieden zwischen Bearbeitungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide und geometrisch unbestimmter Schneide.

Als geometrisch bestimmte Schneide werden Werkzeugschneiden bezeichnet, deren Winkel und

Längen exakt vorgegeben sind. Zu den Anwendungen mit geometrisch bestimmten Schneiden gehören:

- Bohren;
- Drehen;
- Fräsen;
- Räumen/Entgraten/Stanzen;
- Sägen.

Je nach Bearbeitungsart, Schnittgeschwindigkeit und Vorschub entstehen überwiegend Späne. Der Anfall von Magnesiumstaub ist in der Regel vernachlässigbar, aber nicht auszuschließen. Eine Prüfung im Einzelfall sollte erfolgen.

Beim Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide besitzen die verwendeten Werkzeuge Schneiden, die nach Zahl, Lage und geometrischer Form zufällig verteilt sind. Zu den Anwendungen mit geometrisch unbestimmten Schneiden gehören:

- Honen;
- Polieren;
- Bürsten;
- Schleifen;
- Strahlen.

Hierbei entstehen nur Stäube.

Die Bearbeitung kann grundsätzlich trocken oder nass erfolgen. Zu der Trockenbearbeitung zählt auch die Minimalmengenschmierung (MMS).

Bei der MMS verbraucht sich der Kühlschmierstoff (KSS) bei der Verarbeitung nahezu vollständig. Die einzusetzende Menge ist abhängig von der Bearbeitungsart (in der Regel 50 bis 150 ml pro Prozessstunde). Das Öl-Luftgemisch (Aerosol) wird gegenüber der klassischen Nassschmierung direkt an der Werkzeugwirkstelle zugeführt (Definition in Anlehnung an DIN 69090 Teil 1).

Als Nassbearbeitung wird jede Verwendung von KSS bezeichnet, bei der die Eingriffsstelle Werkzeug – Werkstück mit einer Flüssigkeitsmenge umspült wird, die zur Kühlung des Werkzeugs, zur Schmierung des spanabhebenden Schneidvorgangs und zum Abtransport der gebrochenen Späne beiträgt. Dieses Verfahren wird auch als „Schwalschmierung“ bezeichnet.

Als KSS werden Emulsionen oder Öle eingesetzt, die auf das Verfahren, das Werkzeug und das Werkstück abgestimmt sind. Es ist darauf zu achten, dass die KSS für die Bearbeitung von Magnesium

geeignet sind. Die Fertigungsqualität ist entscheidend abhängig von der Art der verwendeten KSS.

Die Kühlschmierstoffe werden generell unterschieden in

- wassermischbare Kühlschmierstoffe (Emulsion) und
- nicht wassermischbare Kühlschmierstoffe (Öl).

Wassermischbare Kühlschmierstoffe sind als Konzentrate oder anwendungsfertige Emulsionen verfügbar. Der Ölanteil bei Emulsionen liegt meist zwischen 5 und 8 Prozent. Die Eigenschaften wassermischbarer KSS sind gute Wärmeabfuhr, aber geringere Schmierwirkung. Mineralölfreie wassermischbare KSS sind keine Emulsionen sondern Lösungen, die zum Schmieren statt Öl zum Beispiel polymere Alkohole enthalten.

Nicht wassermischbare Kühlschmierstoffe sind unlegierte sowie legierte Öle. Verwendet werden mineralölhaltige oder synthetische Öle.

Bei einfachen Bearbeitungen werden „reine“ Mineralöle verwendet. Qualitativ höherwertigen Ölen werden Additive zugesetzt, um die Leistungsfähigkeit des Öls zu steigern. Nicht wassermischbare KSS kommen vornehmlich dann zum Einsatz, wenn hohe Schmierwirkung erwünscht ist. Insbesondere bei hohen Anforderungen an die mechanische Bearbeitung sowie bei speziellen Verfahren, z. B. Fräsen, Drehen, Honen, Räumen, kommen nicht wassermischbare KSS zum Einsatz.

Bei allen Verfahren besteht grundsätzlich eine Brand- und/oder Explosionsgefahr, die in der nachstehenden Tabelle dargestellt wird.

Bearbeitungsverfahren				Gefahren				
	Bearbeitung trocken bzw. mit MMS (Abschnitt 10.1.1)	Bearbeitung mit Öl (Abschnitt 10.1.2)	Bearbeitung mit Emulsion (Abschnitt 10.1.3)	Brandgefahr durch Magnesium (Späne und/oder Stäube)	Brandgefahr durch Öl/Additiv	Explosionsgefahr durch Öldämpfe	Explosionsgefahr durch Staub	Explosionsgefahr durch Wasserstoff
Bohren, Drehen, Fräsen, Sägen	+	-	-	+	-	-	+	-
	-	+	-	+	+	+	-	-
	-	-	+	+	-	-	-	+
Räumen/Entgraten/Stanzen	+	-	-	+	-	-	+	-
	-	+	-	+	+	-	-	-
Honen	-	+	-	-	+	-	-	-
Polieren	+	-	-	-	+	-	-	-
Bürsten	+	-	-	+	-	-	+	-
Schleifen	+	-	-	+	-	-	+	-
	-	+	-	-	+	+	-	-
	-	-	+	+	-	-	-	+
Strahlen	+	-	-	+	-	-	+	-

**Tabelle 2:** Bearbeitungsverfahren und deren Gefahren (+ zutreffend/- nicht zutreffend)

### 10.1.1 Trockenbearbeitung bzw. Minimalmengenschmierung

Bei der Trockenbearbeitung bzw. Minimalmengenschmierung (MMS) werden Späne und Stäube gebildet, die eine erhöhte Brand- und Explosionsgefahr haben. Bereits durch die Wärmeentwicklung beim Bearbeitungsvorgang sind hier Zündungen von Spänen und Stäuben nicht auszuschließen, da diese in relativ trockener Form vorliegen.

Ein wesentlicher Aspekt bei Bearbeitungsmaschinen ist die Optimierung des Handlings von Spänen und Staub. Da die Späne im Bearbeitungsprozess den größten Teil der thermischen Energie aufnehmen, muss das anfallende Spanmaterial in möglichst kurzer Zeit von der Wirkstelle und vor allem aus dem Maschinenarbeitsraum abtransportiert werden, um eine zu große Erwärmung an Werkstück und Werkzeug zu vermeiden.

Bearbeitungsverfahren trocken bzw. MMS	Gefahren				
	Brandgefahr durch Magnesium (Späne und/oder Stäube)	Brandgefahr durch Öl / Additiv	Explosionsgefahr durch Öldämpfe	Explosionsgefahr durch Staub	Explosionsgefahr durch Wasserstoff
Bohren, Drehen, Fräsen, Sägen	+	-	-	+	-
Räumen/Entgraten/Stanzen	+	-	-	+	-
Polieren	-	+	-	-	-
Bürsten	+	-	-	+	-
Schleifen	+	-	-	+	-
Strahlen	+	-	-	+	-

**Tabelle 3:** Bearbeitungsverfahren trocken bzw. mit MMS und deren Gefahren (+ zutreffend/- nicht zutreffend)

Für die in der Tabelle 3 aufgeführten Brand- und/oder Explosionsgefahren sind nachstehend entsprechende Schutzmaßnahmen beschrieben.

### Schutzmaßnahmen an der Bearbeitungsmaschine

Vorbeugende Brand- und Explosionsschutzmaßnahmen:

- Spänefluss- und wartungsfreundliche Gestaltung des Arbeitsraums, der Vorrichtungen, der Installationen (z. B. Rohre, Schläuche, Kabel, Halterungen) und der Fördereinrichtungen zur Verhinderung von Späneablagerungen;
- Fördereinrichtungen und/oder Absaugleitungen mit geeigneten Reinigungsöffnungen;
- Versorgungsleitungen innerhalb des Arbeitsraums sind beständig gegen mechanische, chemische und thermische Beschädigung zu verlegen.
- Geeignete Öffnungen zum manuellen Reinigen;
- Spezielle Öffnungen zum Löschen (s. Bild 5);
- Entfernung von Spänen und Stäuben aus dem Arbeitsraum durch geeignete Absaugleitung und Filtergerät (s. Abschnitt 12). Vorzugsweise ist der Arbeitsraum zu kapseln und mit geeigneten Nachströmöffnungen zu versehen.
- Potentialausgleich und Erdung aller leitfähigen Bauteile.

Organisatorische Maßnahmen:

- Bei Wechselnutzung (z. B. ferritische Materialien, Magnesium, Aluminium) gründliche Reinigung der Maschine sowie der nachgeschalteten Absauganlage;
- Regelmäßige Entfernung von Spänen und Stäuben durch Reinigung von Hand oder mit geeignetem Staubsauger (s. Abschnitt 12.2);
- Bei der manuellen Abreinigung mit Druckluft kann durch Aufwirbelung von Staub explosionsfähige Atmosphäre entstehen.
- Sammlung der Späne und Stäube in geeigneten verschließbaren Metallbehältern;
- Regelmäßige Kontrolle und ggf. Austausch der Schneidwerkzeuge;
- Bei Einrüstungen und Umrüstungen ist mit erhöhten Gefahren zu rechnen (Sicherheitskette unterbrochen; Fehlbewegungen/Fehlsteuerungen).

Abwehrende Brandschutzmaßnahmen:

- Automatische Branderkennung im Arbeitsraum mit Alarmweiterleitung. Geeignet sind Flammen- und Wärmemelder.

*Hinweis: Flammenmelder zeigen ein stark verzögertes Ansprechverhalten (s. Abschnitt 5.2.1).*

- Automatische Abschaltung der Maschine bei Branderkennung;
- Notentriegelung der Tür zum Arbeitsraum zur Einleitung von Löschmaßnahmen;
- Bereitstellung geeigneter Löschmittel im Bereich der Bearbeitungsmaschine zur manuellen Brandbekämpfung in ausreichender Menge.

### Schutzmaßnahmen bei Absaugung und Späneaustragung

- Einbau einer Absperrklappe an geeigneter Stelle in der Absaugleitung mit automatischer Auslösung über die Brandmeldeanlage der Bearbeitungsmaschine. Dies gilt nicht für in die Maschine integrierte Absauganlagen.
- Späne- und Staubablagerungen vermeiden durch Dimensionierung der Rohrleitung, ausreichende Strömungsgeschwindigkeit und regelmäßige Reinigung (Lagermenge und Lagerzeit reduzieren);
- Geeignete Öffnungen zum Reinigen;
- Reinigung mit einem geeigneten mobilen Staubsauger (s. Abschnitt 12.2);
- Potentialausgleich und Erdung aller leitfähigen Bauteile.

### 10.1.2 Nassbearbeitung mit Öl

Öle sind brennbar. Trotz hoher Flammpunkte können in Abhängigkeit vom Bearbeitungsverfahren Brand- und Explosionsgefahren durch die feine Verteilung hervorgerufen werden. Eine Entflammung des Öls kann eine Zündquelle für die nachfolgende Entzündung von Magnesiumspänen oder -stäuben sein.

Bearbeitungs- verfahren mit Öl	Gefahren				
	Brandgefahr durch Magnesium (Späne und/oder Stäube)	Brandgefahr durch Öl/Additiv	Explosionsgefahr durch Öldämpfe	Explosionsgefahr durch Staub	Explosionsgefahr durch Wasserstoff
Bohren, Drehen, Fräsen, Sägen	+	+	+	-	-
Räumen/Ent- graten/Stanzen	+	+	-	-	-
Honen	-	+	-	-	-
Schleifen	-	+	+	-	-

**Tabelle 4:** Bearbeitungsverfahren mit Öl und deren Gefahren  
(+ zutreffend/- nicht zutreffend)

Für die in der Tabelle 4 aufgeführten Brand- und/oder Explosionsgefahren sind nachstehend entsprechende Schutzmaßnahmen beschrieben.

#### Schutzmaßnahmen an der Bearbeitungsmaschine

Vorbeugende Brand- und Explosionsschutzmaßnahmen:

- Spänefluss- und wartungsfreundliche Gestaltung des Arbeitsraums, der Vorrichtungen, der Installationen (z. B. Rohre, Schläuche, Kabel, Halterungen) und der Fördereinrichtungen zur Verhinderung von Späneablagerungen;
- Fördereinrichtungen und/oder Absaugleitungen mit geeigneten Reinigungsöffnungen;
- Schwallspülung des Arbeitsraumes zur sofortigen Späneabführung;
- Überwachung der Kühlschmierstoffzufuhr (z. B. über Druck- oder Strömungswächter);
- Versorgungsleitungen innerhalb des Arbeitsraums sind beständig gegen mechanische, chemische und thermische Beschädigung zu verlegen.
- Geeignete Öffnungen zum manuellen Reinigen;
- Spezielle Öffnungen zum Löschen;
- Entfernung von Ölnebel aus dem Arbeitsraum durch geeignete Absaugleitung und Filtergerät (s. Abschnitt 12). Vorzugsweise ist der Arbeitsraum zu kapseln und mit geeigneten Nachströmöffnungen zu versehen.

- Kontrollierter Flammenaustritt durch geeignete Entlastungsöffnungen oder andere konstruktive Maßnahmen;
- Potentialausgleich und Erdung aller leitfähigen Bauteile.

Organisatorische Maßnahmen:

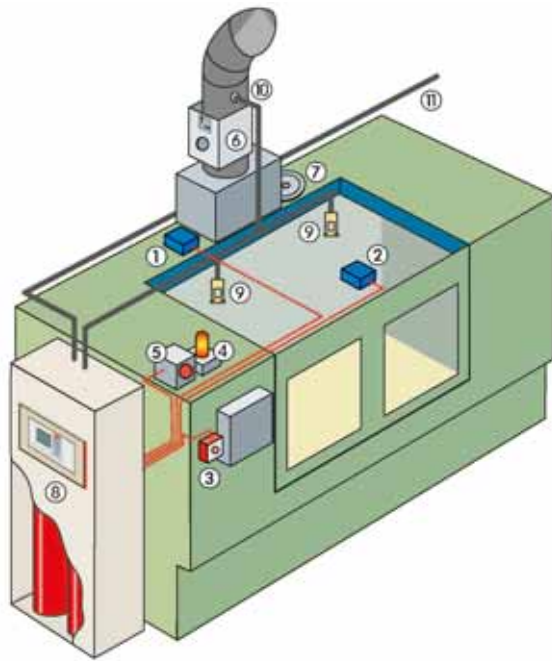
- Regelmäßige Entfernung von Späneablagerung durch Reinigung von Hand;
- Sammlung der Späne in geeigneten Metallbehältern. Die gelagerte Menge in der Produktion ist so gering wie möglich zu halten. Die Behälter sind regelmäßig zu entleeren.
- Regelmäßige Kontrolle und ggf. Austausch der Schneidwerkzeuge;
- Bei Einrüstungen und Umrüstungen ist mit erhöhten Gefahren zu rechnen (Sicherheitskette unterbrochen; Löschanlage außer Betrieb; Fehlbewegungen/Fehlsteuerungen).

Abwehrende Brandschutzmaßnahmen:

- Automatische Inertgas-Löschanlage zur Bekämpfung von Ölbränden im Maschinenarbeitsraum mit Branderkennung durch Flammen- und/oder Wärmemelder (s. Bild 6).

*Hinweis: Die Löschung eines Ölbrandes mit Inertgasen muss so frühzeitig erfolgen, dass die Zündung von Magnesium verhindert wird. Magnesiumbrände können nur mit dem Inertgas Argon unter bestimmten Bedingungen gelöscht werden (s. Abschnitt 5.2.2).*

- Automatische Abschaltung der Maschine bei Branderkennung; Verriegelung, so dass Anfahren der Maschine nur bei Betriebsbereitschaft der Löschanlage möglich ist;
- Notentriegelung der Tür zum Arbeitsraum zur Einleitung von Löschanlagen;
- Bereitstellung geeigneter Löschmittel im Bereich der Bearbeitungsmaschine zur manuellen Brandbekämpfung in ausreichender Menge.



- Komponenten**
- 1) Wärmemelder
  - 2) Flammmelder
  - 3) Handauslösung
  - 4) Blitzleuchte
  - 5) Hupe
  - 6) Abluft-/Brandschutzklappe
  - 7) Explosionsdruckentlastung
  - 8) Kompaktlöschanlage mit Löschmittelvorrat und Brandmelderzentrale
  - 9) Einrichtungsschutzdüse
  - 10) Einbaudüse im Abluftkanal
  - 11) Option für weitere Löschbereiche

**Bild 5:** Prinzipskizze bei einer Bearbeitungsmaschine mit automatischer Inertgas-Löschanlage (Quelle: Minimax GmbH&Co.KG)



**Bild 6:** Flammmelder, Wärmemelder und Löschdüsen im Bearbeitungsraum einer Werkzeugmaschine (Quelle: Minimax GmbH&Co.KG)

**Schutzmaßnahmen bei Absaugung und Späne-austragung**

- Einbau einer Absperrklappe an geeigneter Stelle in der Absaugleitung mit automatischer Auslösung über die Brandmeldeanlage der Bearbeitungsmaschine. Dies gilt nicht für in die Maschine integrierte Absauganlagen.

- Die Absaugung ist in den Löschanlagen-Objektschutz der Bearbeitungsmaschine einzu-beziehen.
- Die Fördereinrichtung zur Späneentsorgung ist in den Löschanlagen-Objektschutz der Bearbeitungsmaschine einzubeziehen.
- Regelmäßige Reinigung der Fördereinrichtung zur Späneentsorgung über geeignete Öffnungen;
- Sammlung der Späne in geeigneten Metallbe-hältern. Die gelagerte Menge in der Produk-tion ist so gering wie möglich zu halten. Die Behälter sind regelmäßig zu entleeren.
- Druckbandfilter zur Trennung von Mg-Spänen und KSS sollten mit einer Gaslöschanlage ge-schützt werden.
- Lagermenge und Lagerzeit der abgeschie-denen Späne sowie des Schlammes minimieren (Reinigungsintervalle);
- Potentialausgleich und Erdung aller leitfä-higen Bauteile.

**10.1.3 Nassbearbeitung mit Emulsion**

Aufgrund der geringen Alkohol- und Ölanteile sind Emulsionen nicht brennbar. Als Hauptgefahr ist die mögliche Bildung von Wasserstoff anzusehen.

Bearbeitungs- verfahren mit Emulsion	Gefahren				
	Brandgefahr durch Magnesium (Späne und/oder Stäube)	Brandgefahr durch Öl/Additiv	Explosionsgefahr durch Öldämpfe	Explosionsgefahr durch Staub	Explosionsgefahr durch Wasserstoff
Bohren, Drehen, Fräsen, Sägen	+	-	-	-	+
Schleifen	+	-	-	-	+

**Tabelle 5:** Bearbeitungsverfahren mit Emulsion und deren Gefahren (+ zutreffend/- nicht zutreffend)

Für die in der Tabelle 5 aufgeführten Brand- und/oder Explosionsgefahren sind nachstehend entsprechende Schutzmaßnahmen beschrieben.



### Schutzmaßnahmen an der Bearbeitungsmaschine

Vorbeugende Brand- und Explosionsschutzmaßnahmen:

- Spänefluss- und wartungsfreundliche Gestaltung des Arbeitsraums, der Vorrichtungen, der Installationen (z. B. Rohre, Schläuche, Kabel, Halterungen) und der Fördereinrichtungen zur Verhinderung von Späneablagerungen;
- Schwallspülung des Arbeitsraumes zur sofortigen Späneabführung;
- Überwachung der Kühlschmierstoffzufuhr (z. B. über Druck- oder Strömungswächter);
- Versorgungsleitungen innerhalb des Arbeitsraumes sind beständig gegen mechanische, chemische und thermische Beschädigung zu verlegen.
- Der Arbeitsraum muss so beschaffen sein, dass entstehender Wasserstoff über lufttechnische Maßnahmen sicher abgeführt wird.
- Geeignete Öffnungen zum manuellen Reinigen;
- Spezielle Öffnungen zum Löschen;
- Potentialausgleich und Erdung aller leitfähigen Bauteile.

Organisatorische Maßnahmen:

- Regelmäßige Entfernung von Spänen durch Reinigung von Hand oder mit geeignetem mobilem Staubsauger (s. Abschnitt 12.2);
- Sammlung der Späne in geeigneten Metallbehältern mit Entlüftungsöffnungen;
- Regelmäßige Kontrolle und ggf. Austausch der Schneidwerkzeuge;
- Bei Einrüstungen und Umrüstungen ist mit erhöhten Gefahren zu rechnen (Sicherheitskette unterbrochen; Fehlbewegungen/Fehlsteuerungen).

Abwehrende Brandschutzmaßnahmen:

- Bereitstellung geeignete Löschmittel im Bereich der Bearbeitungsmaschine zur manuellen Brandbekämpfung in ausreichender Menge;
- Notentriegelung der Tür zum Arbeitsraum zur Einleitung von Löschmaßnahmen;
- Brandfrüherkennung über automatische Brandmeldeanlage.

### Schutzmaßnahmen bei Absaugung und Späneentsorgung

- Einbau einer Absperrklappe an geeigneter Stelle in der Absaugleitung mit automatischer Auslösung über die Brandmeldeanlage der Bearbeitungsmaschine. Dies gilt nicht für in die Maschine integrierte Absauganlagen.

- Regelmäßige Reinigung der Fördereinrichtung zur Späneentsorgung über geeignete Öffnungen.
- Wasserstoffentstehung aus feuchten Spänen; je nach konstruktiver Ausführung der Späneentsorgung Einbindung in die Absaugung;
- Sammlung der Späne in geeigneten Metallbehältern, bei denen der Wasserstoff entweichen kann;
- Werden Späne in Behältern mit Siebeinsätzen gesammelt, so ist auf eine kontrollierte Abführung des Wasserstoffs unterhalb der Siebeinsätze zu achten.
- Lagermenge und Lagerzeit der abgeschiedenen Späne (Schlamm) minimieren (Reinigungsintervalle);
- Potentialausgleich und Erdung aller leitfähigen Bauteile.

### 10.2 Spanlose Verfahren

Bei der spanlosen Bearbeitung werden Werkstoffe ohne Materialverlust geformt. Die Formgebung kann im kalten oder warmen Zustand erfolgen.

Die wichtigsten Urform-/Umformverfahren dazu sind

- Gießen (s. Abschnitt 9)
- Strangpressen
- Schmieden
- Walzen

sowie die davon abgeleiteten Verfahren

- Biegen
- Prägen
- Richten
- Treiben
- Ziehen.

Bei diesen Bearbeitungsverfahren treten i. d. R. weder Mg-Späne noch Mg-Stäube auf. Somit ist auch kaum mit einer Wasserstoffentwicklung zu rechnen. Die bei spanenden Verfahren (Abschnitt 10.1) beschriebenen Magnesium-typischen Gefahren (z. B. Selbstentzündung, Explosionsgefahr durch Stäube, Öl oder Wasserstoff) kommen hier i. d. R. nicht zum Tragen. Von daher beinhalten diese Bearbeitungsverfahren kein besonderes Gefährdungspotential.

Gefahrenpotenziale ergeben sich jedoch bei dieser Art der Magnesiumbearbeitung durch das vorhandene Magnesium selbst und die zum Teil große Oberfläche (z. B. Auswalzen zu dünnen Blechen). Brandauslösend können dabei beispielsweise überhitzte Maschinenteile sein, welche brennbare Hilfs- und Betriebsstoffe entzünden. Hier sind

insbesondere die in den Abschnitten 5 und 7 beschriebenen Schutzmaßnahmen zu beachten.

Eine gewisse Sonderstellung nehmen die Bearbeitungsverfahren Stanzen und Entgraten ein, da hier Magnesiumflitter abgetrennt werden und dabei Späne entstehen können. Bei größerem Anfall von Flitter und/oder Spänen sind die Maßnahmen entsprechend Abschnitt 10.1 zu beachten.

## 11 Thermisches Fügen und Trennen von Magnesium

Beim thermischen Fügen und Trennen entstehen Stäube (Feinstäube/Rauche), die i. d. R. erfasst und abgeschieden werden. Diese Stäube liegen aufgrund des hohen thermischen Energieeintrags überwiegend als oxidiertes Magnesium vor. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ist die Brand- und Explosionsgefahr zu beurteilen.

Diese Stäube sind vorzugsweise in dicht verschlossenen, nicht brennbaren Behältern (z. B. Stahlfässern) zu lagern. Eine trockene Lagerung ist erforderlich, da die Zuführung von Feuchtigkeit zur Bildung von Wasserstoff oder zu einer Selbstentzündung führen kann.

Werden verschiedene Werkstoffe bearbeitet, so ist eine Vermischung von Magnesiumstäuben mit ferritischen Stäuben zu vermeiden, da es sonst zu einer chemischen Reaktion mit Brandfolge kommen kann.

Neben Stäuben entstehen auch Schweißperlen, die als wirksame Zündquellen einzustufen sind. Da bei der Erfassung der Stäube auch die Gefahr des Einsaugens der Schweißperlen besteht, sind in der Rohrleitung zum Abscheider beispielsweise die nachfolgenden genannten Schutzvorrichtungen vorzusehen:

- Funkenvorabscheider;
- Funkenerkennungsanlage;
- Funkenausscheidungsanlage;
- Funkenlöschanlage.

Details zur Brandverhütung finden sich in den Richtlinien „Brandschutz in Entstaubungsanlagen (VdS 3445)“.

Zusätzlich sind die Sicherheitsregeln des Deutschen Verbands für Schweißen und verwandte Verfahren (DVS) zu berücksichtigen.

## 12 Absauganlagen

### 12.1 Stationäre Absauganlagen

Aufgrund der Kenngrößen von Magnesiumstäuben besteht in Absauganlagen eine besondere Brand- und Explosionsgefahr.

Unter dem Begriff Absauganlage wird ein System zur Erfassung, Förderung und Abscheidung von Emissionen aus Bearbeitungsmaschinen und deren zugehörigen Einrichtungen verstanden.

Die Absauganlage muss für die Absaugung und Abscheidung von brand- und explosionsfähigen Magnesiumstäuben geeignet sein. Bei der Gestaltung und Auslegung des Explosionsschutzkonzeptes sind insbesondere die Brand- und Explosionskenngrößen der auftretenden Magnesiumstäube zu beachten.

Für alle Absauganlagen sind daher folgende Auslegungskriterien zu beachten um das Risiko eines Brand- oder eines Explosionsereignis zu minimieren.

#### Allgemeine Auslegungskriterien für Absauganlagen

- Der Start einer Bearbeitungsmaschinen darf nur bei laufender Absauganlage unter Einhaltung des Mindestvolumenstroms erfolgen. Die Überwachung des Mindestvolumenstroms kann z. B. über eine Druckmessung erfolgen, die den Unterdruck in der Saugleitung überwacht. Bei Über- bzw. Unterschreiten eines oberen bzw. unteren Grenzwertes oder bei Störungen an der Absauganlage muss die Bearbeitungsmaschine, spätestens nach Taktende des Bearbeitungsprozesses außer Betrieb gehen.
- Alle Anlagenteile müssen aus leitfähigen bzw. ableitfähigen Werkstoffen bestehen und geerdet sein.
- Anlagenteile, die mit Magnesiumstäuben, -spänen oder -schlämmen in Kontakt kommen, sind entweder aus nichtrostenden Werkstoffen oder aus Normalstahl mit einem Korrosionsschutz auszuführen, damit kein Rost gebildet werden kann. Ansonsten besteht die Gefahr einer metallothermischen Reaktion (z. B. Thermitreaktion).
- Für alle Anlagenteile, in denen sich Wasserstoff ansammeln kann, muss eine wirksame Entlüftung im Stillstand sichergestellt werden.
- Für eine ausreichende Raumlüftung am Aufstellort der Bearbeitungsmaschine und der

Absauganlage ist aufgrund einer möglichen Wasserstoffansammlung zu achten.

- Die Ablagerung von Magnesiumstäuben, -spänen oder -schlämme ist in der kompletten Absauganlage zu vermeiden.
- Die Absaugleistung ist so zu bemessen, dass die Luftbewegung immer von außen in die Bearbeitungsmaschine gerichtet ist und bei allen Betriebszuständen ein Unterdruck in der Bearbeitungsmaschine vorliegt.
- In der Rohrleitung ist ca. alle 6 Meter bzw. nach jeder Rohrkrümmung eine Revisionsöffnung für Kontroll- und Wartungsarbeiten vorzusehen, um Ablagerungen von Magnesiumstäuben, -späne oder -schlämme erkennen und ggf. beseitigen zu können.

### 12.1.1 Absauganlagen für die Nassbearbeitung

Für die Nassbearbeitung werden Kühlschmierstoffe als Öle oder Emulsionen eingesetzt.

#### **Absauganlagen für Kühlschmierstoffnebel bei Einsatz von Öl in Bearbeitungsmaschinen**

Beim Einsatz von Öl bei der spanenden Bearbeitung von Magnesium, entstehen Kühlschmierstoffnebel und -dämpfe. Um eine Anreicherung der brennbaren und ggf. explosionsfähigen Emissionen in der Bearbeitungsmaschine zu vermeiden, müssen diese mittels einer Absauganlage erfasst, abgesaugt und abgeschieden werden. Der wesentliche Vorteil bei der Bearbeitung von Magnesium mit Öl ist, dass Magnesium nicht mit dem Öl reagiert und bei einer ausreichenden Benetzung der Partikel keine explosionsfähige Staubatmosphäre bilden kann. Damit ist ausgeschlossen, dass explosionsfähige Staubpartikel in die Absauganlage verschleppt werden. Sollte dies jedoch nicht sichergestellt sein, so ist eine zusätzliche Benetzung z. B. durch eine Bedüsung mit Öl unmittelbar nach der Erfassungstelle in der Absaugleitung erforderlich.

#### **Absauganlagen für Kühlschmierstoffnebel bei Einsatz von Emulsion in Bearbeitungsmaschinen**

Beim Einsatz von Emulsion bei der spanenden Bearbeitung von Magnesium entstehen Kühlschmierstoffnebel und -dämpfe. Diese werden vorwiegend aus Arbeitsschutzgründen mittels einer Absauganlage erfasst, abgesaugt und abgeschieden. Zusätzlich ist aber zu beachten, dass Magnesiumstäube, -späne oder -schlämme mit dem Wasser in der Emulsion reagieren und sich Wasserstoff bildet. Daher muss sichergestellt sein, dass sich weder in der Bearbeitungsmaschine noch in der kompletten

Absauganlage Wasserstoff ansammeln kann, da ansonsten Explosionsgefahr besteht.

Ausgehend davon, dass bei der spanenden Bearbeitung die Stäube in der Emulsion durch Benetzung vollständig gebunden werden, ist es ausgeschlossen, dass explosionsfähige Staubpartikel in die Absauganlage verschleppt werden. Sollte dies jedoch nicht sicher auszuschließen sein, so ist eine zusätzliche Benetzung z. B. durch eine Bedüsung von Emulsion unmittelbar nach der Erfassungstelle in der Absaugleitung erforderlich. Zusätzlich müssen Ansammlungen von Magnesiumschlamm und -spänen innerhalb der Bearbeitungsmaschine und der kompletten Absauganlage unterbunden werden, da ansonsten die Gefahr einer Selbstentzündung besteht. Die Gefahr einer Selbstentzündung von Magnesium besteht insbesondere dann, wenn Magnesiumschlamm nicht mehr vollständig mit Wasser bedeckt sind und dadurch die Reaktionswärme durch die Oxidation nicht mehr ausreichend abgeführt wird.

Verunreinigung von Spänen durch andere Metalle z. B. Eisen, Zunder oder Rost erhöhen das Potenzial einer Selbstentzündung durch eine metallothermische Reaktion (z. B. Thermitreaktion). Durch Sicherstellung einer ausreichenden Befeuchtung bzw. einer ausreichenden Wärmeabfuhr oder Verdichtung der abgeschiedenen Stäube kann die Selbstentzündung und die damit verbundene Gefahr eines Brandes bzw. einer Explosion wesentlich reduziert werden.

Beispielhafte Auslegungskriterien für Absauganlagen für die Nassbearbeitung mit Kühlschmierstoffen sind in Tabelle 6 aufgeführt.

<b>Beispielhafte Auslegungskriterien von Absauganlagen für Kühlschmierstoffnebel bei Einsatz von Öl bzw. Emulsion in Bearbeitungsmaschinen</b>	<b>Öl</b>	<b>Emulsion</b>
Die Absaugleitungen müssen aus einem nicht brennbaren Werkstoff gefertigt sein.	+	-
Bei der Verlegung von Rohrleitungen ist darauf zu achten, dass sich z. B. aufgrund der Rohrleitungsführung kein Kühlschmierstoff ansammeln kann. Dies könnte z. B. durch ein durchgehendes Gefälle gewährleistet werden.	+	+
Idealerweise erfolgt eine regelmäßige Spülung des Rohgasraumes und Bedüsung der Filterelemente sowie eine Spülung der Rohrleitung mit Kühlschmierstoff.	-	+
Die Absauganlage ist auf der Rohgasseite in zündquellenfreier Bauart auszuführen.	+	+
Der Ventilator ist nach der Absauganlage auf der Reinluftseite anzuordnen.	+	+
Ist die Benetzung der Staubpartikel innerhalb der Bearbeitungsmaschine nicht gewährleistet, so ist eine zusätzliche Bedüsung mit Kühlschmierstoff unmittelbar nach der Erfassungsstelle in der Absaugleitung erforderlich.	+	+
Die Abluft nach der Absauganlage ist ins Freie zu führen, um Verunreinigungen der Bausubstanz durch Restemissionen des Kühlschmierstoffs zu vermeiden. Diese Verunreinigungen begünstigen die Brandausbreitung im Gebäude.	+	+
Wenn die Bearbeitungsmaschine mit einem Brandschutzkonzept (Detektion und/oder Löschung) ausgeführt ist, so ist die Absauganlage in das Brandschutzkonzept der Bearbeitungsmaschine mit einzubinden.	+	+
In den Absaugleitungen sind Maßnahmen vorzusehen (z. B. schnell-schließende Absperrklappen oder Einrichtungen mit flammensperrender Wirkung), um im Falle eines Brandes die Brandausbreitung zu vor- und nachgeschalteten Anlagenteilen zu unterbinden (s. Bild 8).	+	-
Bei vollgekapselten Bearbeitungsmaschinen ist durch geeignete Zuluftöffnungen ein optimaler Luftaustausch zu gewährleisten, so dass eine Anreicherung der brennbaren und ggf. explosionsfähigen Öl-Emissionen ausgeschlossen ist.	+	-
Bei Bearbeitungsmaschinen mit dem Kühlschmierstoff Öl bzw. Emulsion ist der Absaugvolumenstrom gemäß der VDI 3802 Bl. 2 zu ermitteln.	+/-	+
Die Erfassungsstelle (Anschlussstutzen Bearbeitungsmaschine) sollte so gestaltet werden, dass keine größeren Mengen an Kühlschmierstoff, größere Partikel oder Späne erfasst und verschleppt werden.	+	+
Die Luftgeschwindigkeit an der Erfassungsstelle sollte kleiner als 8 m/s sein und in der Absaugleitung mindestens 16-18 m/s betragen.	+	+
Potentialausgleich und Erdung aller leitfähigen Bauteile.	+	+

**Tabelle 6:** Beispielhafte Auslegungskriterien für Kühlschmierstoff-Absauganlagen (+ zutreffend/- nicht zutreffend)



**Bild 7:** Schnellschließende Absperrklappe mit automatischer Auslösung (Quelle: Handte APC GmbH)

### 12.1.2 Absauganlagen für die Trockenbearbeitung

Bei der Trockenbearbeitung kommen Nassabscheider und Trockenabscheider als Absauganlagen zum Einsatz.

#### Absauganlagen für Magnesiumspäne und -stäube

Bei der spanenden Trockenbearbeitung mit oder ohne Minimalmengenschmierung (MMS) entstehen Späne und Stäube, die eine erhöhte Brand- und Explosionsgefahr darstellen. Um eine Anreicherung der brennbaren und explosionsgefährlichen Stäube in der Bearbeitungsmaschine zu vermeiden, müssen diese getrennt von oder gemeinsam mit den Spänen auf geeignete Art und Weise (z. B. Absauganlage) aus dem Arbeitsraum der Bearbeitungsmaschine entfernt werden.

#### Absauganlagen für Magnesiumstäube

Beim mechanischen Bearbeiten von Magnesium (wie z. B. die spanende und spanlose Bearbeitung) entstehen Stäube, die eine erhöhte Brand- und Explosionsgefahr darstellen. Um eine Anreicherung der brennbaren und explosionsfähigen Stäube in der Bearbeitungsmaschine zu vermeiden, müssen diese mittels einer Absauganlage abgesaugt und abgeschieden werden.

#### Auslegungskriterien für Absauganlagen

- Die Absaugleitungen müssen aus einem nicht brennbaren Werkstoff gefertigt sein.
- Die Absauganlage ist auf der Rohgas- und Reingasseite in zündquellenfreier Bauart auszuführen.
- Der Ventilator ist nach der Absauganlage auf der Reinluftseite anzuordnen.
- Durch einen ausreichenden Luftwechsel ist in allen Bereichen der Maschine eine ausreichende Staubabsaugung zu gewährleisten,

damit die Anreicherung einer explosionsfähigen Staubatmosphäre in allen Betriebszuständen ausgeschlossen werden kann.

- Bei Absaugung von Stäuben sollte die Luftgeschwindigkeit sowohl an der Erfassungsstelle als auch in der Absaugleitung mindestens 20-22 m/s betragen.
- Vermeidung von Drossel- und Absperreinrichtungen in horizontalen Abschnitten der Absaugleitung um Ablagerungen durch Verwirbelungen zu vermeiden.
- Verwendung eines für Magnesiumstaub und -späne geeigneten Nassabscheiders mit geeigneten Entgasungseinrichtungen.
- Verwendung eines Trockenabscheiders mit geeigneten Explosionsschutzmaßnahmen, die auf die Explosionskenngrößen der Stäube abgestimmt sind.
- Bei Trockenabscheidern sind unabhängig von der installierten Explosionsschutzmaßnahme beim Eintrag von Zündquellen Einrichtungen für eine automatische Branderkennung und ggf. Löschung zu installieren (s. VdS 3445).
- Trockenabscheider sollten bevorzugt im Freien an einer feuerbeständigen Außenwand oder alternativ im Gebäude feuerbeständig abgetrennt aufgestellt werden.
- Bei getrennter Staubabsaugung und Späneentsorgung ist die Erfassungsstelle für die Stäube (Anschlussstutzen Bearbeitungsmaschine) so zu gestalten, dass keine größeren Mengen an Spänen erfasst und verschleppt werden.
- Bei einer kombinierten Staub- und Späneabsaugung ist die Erfassungsstelle für Stäube und Späne (Anschlussstutzen Bearbeitungsmaschine) so zu gestalten, dass es zu keinen Ablagerungen von Spänen und Staub kommen kann. Die Luftgeschwindigkeit sowohl an der Erfassungsstelle als auch in der Absaugleitung sollte mindestens 25 m/s betragen.
- Potentialausgleich und Erdung aller leitfähigen Bauteile.

#### Auslegungskriterien für Nassabscheider

Beim Einsatz von Nassabscheidern tritt bei der Abscheidung von Stäuben und Spänen kein brand- und explosionsfähiges Staub/Luft-Gemisch auf, da die Stäube und Späne mit Wasser benetzt werden. Voraussetzung ist aber, dass eine ausreichende Benetzung mit Wasser zu jeder Zeit sichergestellt ist und gefährliche Staubanbackungen oder -ansammlungen ausgeschlossen sind.

Nassabscheider werden mit oder ohne Pumpenbedüsung ausgeführt. Tabelle 7 zeigt die beispielhaften Auslegungskriterien für solche Nassabscheider.

<b>Beispielhafte Auslegungskriterien für Nassabscheider</b>	<b>Nassabscheider ohne Pumpenbedüsung (Wirbelwäscher)</b>	<b>Nassabscheider mit Pumpenbedüsung</b>
Automatische Niveauregulierung mit mind. 2 unabhängigen Füllstandsmeldern zur Messung der Niveaus „Minimum“ und „Untersoll“ in der Wasservorlage. Bei Erreichen des Niveaus „Minimum“ hat die Nachspeisung von Wasser automatisch zu erfolgen. Wenn das Niveau „Untersoll“ (Trockenlaufschutz) unterschritten wird oder bei Störung muss eine automatische Anlagenabschaltung erfolgen.	+	+
Überwachung des Förderdrucks oder der Durchflussleistung der Pumpe. Bei Über- bzw. Unterschreiten eines oberen bzw. unteren Grenzwertes oder bei Störung muss eine Anlagenabschaltung erfolgen.	-	+
Überwachung des Mindestvolumenstroms z. B. über eine Druckmessung, die den Unterdruck in der Saugleitung überwacht. Bei Über- bzw. Unterschreiten eines oberen bzw. unteren Grenzwertes oder bei Störung muss eine Anlagenabschaltung erfolgen.	+	+
Tropfenabscheider des Nassabscheiders derart konstruktiv gestaltet, dass gefährliche Staubanbackungen und -ansammlungen weitestgehend vermieden werden. Einfache Reinigungsmöglichkeit vorsehen.	+	+
Alle Anlagenteile sollten mit geeigneten Entgasungseinrichtungen versehen werden, so dass eine Wasserstoffansammlung ausgeschlossen ist.	+	+
Für eine ausreichende Raumlüftung am Aufstellort ist aufgrund der Wasserstoffbildung zu achten.	+	+

**Tabelle 7:** Beispielhafte Auslegungskriterien für Nassabscheider  
(+ zutreffend / - nicht zutreffend)

### Auslegungskriterien für Trockenabscheider

Bei der Abscheidung von Stäuben bzw. deren Abreinigung kann in filternden Abscheidern (Trockenabscheider) ein explosionsfähiges Staub/Luft-Gemisch entstehen. Abhängig vom Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung gemäß VDI 2263 Blatt 6 sind Schutzmaßnahmen zur Vermeidung eines Explosionsereignisses ausreichend oder zusätzlich konstruktive Schutzmaßnahmen anzuwenden. Werden zusätzlich Späne mit abgesaugt, so erhöhen diese insbesondere die Brandlast im Abscheidesystem.

Grundsätzlich ist ein kontinuierlicher Späne- und Staubaustrag zu empfehlen, um die Brandlast im Abscheider zu minimieren.

Aufgrund der permanenten Brandlast im Abscheider und der Problematik der Löschung eines Magnesiumbrandes ist eine Aufstellung der Absaug-

anlage außerhalb des Gebäudes im Freien erforderlich. Beim Einsatz der Feststoffinertisierung ist eine Aufstellung innerhalb des Gebäudes unter Einhalten der erforderlichen Explosionsschutzmaßnahmen möglich.

Beispiele Explosionsschutzmaßnahmen	Vermeidung oder Einschränkung explosionsfähiger Atmosphäre	Vermeidung wirksamer Zündquellen	konstruktiv
Abreinigung des Abscheiders im Offlinebetrieb	+	-	-
Feststoffinertisierung des Abscheider mit Inertstoff z. B. Calciumcarbonat	+	-	-
Gasinertisierung des Abscheiders mit Inertgas z. B. Argon (als Kreislaufanlage mit der Bearbeitungsmaschine)	+	-	-
Automatische Funkenerkennung und -löschung in der Absaugleitung	-	+	-
Abscheider in zündquellenfreier Bauart	-	+	-
Abscheider in druckstoßfester Ausführung mit Druckentlastungs- und Entkoppelungseinrichtung	-	-	+
Abscheider in druckfester Ausführung mit Explosionsentkoppelung	-	-	+

**Tabelle 8:** Beispiele für Explosionsschutzmaßnahmen an Trockenabscheidern  
(+ zutreffend / - nicht zutreffend)

## 12.2 Mobile Absauganlagen

Wie bei den stationären Absauganlagen sind auch bei den mobilen Absauganlagen die Brand- und Explosionsgefahr zu beachten.

Unter mobilen Absauganlagen versteht man motorbetriebene elektrische Staubsauger für die Nass- und/oder Trockenreinigung, auch als sog. Industriestaubsauger bezeichnet.

Mobile Absauganlagen müssen gemäß DIN EN 60335-2-69 zur Absaugung und Abscheidung von brennbarem und explosionsfähigem Magnesium geeignet sein.

### Auslegungskriterien für mobile Absauganlagen

- Die Eignung der mobilen Absauganlage muss in der Betriebsanleitung beschrieben sein (z. B. mit sicherheitstechnischen Kenngrößen der Gefahrstoffe).
- Zur Verhinderung der Anreicherung von Wasserstoff im Gerät muss in der Absauganlage eine Entgasungseinrichtung installiert sein, die beim Stillstand automatisch öffnet.
- Es ist sicherzustellen, dass keine Zündquellen in den Industriestaubsauger eingetragen

werden. Das Gerät muss dauerhaft mit zwei Gefahrensymbolen (s. Bilder 8 und 9) gekennzeichnet sein.

- Der Staubbehälter ist nach jedem Einsatz zu leeren.
- Staubablagerungen in der Erfassungseinrichtung und im Absaugschlauch sind zu vermeiden.
- Der Absaugschlauch muss innen glatt ausgeführt sein.
- Die Strömungsgeschwindigkeit im Absaugschlauch muss mindestens 20 m/s betragen.
- Die Strömungsgeschwindigkeit muss über eine Anzeige am Gerät erkennbar sein.
- Zusätzliche Verlängerungen des Absaugschlauchs sind grundsätzlich nicht zulässig.
- Mobile Absauganlagen (Industriestaubsauger) sind nicht für den stationären Betrieb geeignet.
- Potentialausgleich und Erdung aller leitfähigen Bauteile.



**Bild 8:** Symbol: Kein glühender Staub oder andere Zündquellen aufnehmen (DIN EN 60335-2-69 Anlage CC)



**Bild 9:** Symbol: Nicht in Verbindung mit funkenerzeugenden Maschinen einsetzen (DIN EN 60335-2-69 Anlage CC)

## 13 Vorschriften und Technische Regelwerke

Gesetze, Verordnungen und technische Regelwerke sind in ihrer jeweils aktuellen Fassung zu berücksichtigen. Nachstehende Auflistung beschränkt sich im Wesentlichen auf diejenigen Vorschriften und Technischen Regelwerke, die im Text dieser Publikation VdS 3537 genannt werden.

### 13.1 Gesetze und Verordnungen

*Hinweis: Bei nachfolgender Auflistung ist zu berücksichtigen, dass Gesetze und Verordnungen lediglich den Rahmen vorgeben, die konkrete Ausgestaltung jedoch vielfach über länderspezifische Regelungen erfolgt.*

**Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)** – Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge

**Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)** – Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen

**Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV)** – Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis

**Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)** – Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes

**Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)** – Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen

**Nachweisverordnung (NachwV)** – Verordnung über Verwertungs- und Beseitigungsnachweise

**Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV)** – Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes

Internet: [www.bundesanzeiger.de](http://www.bundesanzeiger.de)

### 13.2 Technische Regeln

#### Technische Regeln für Betriebssicherheit

**TRBS 1111** – Gefährdungsbeurteilung und sicherheitstechnische Bewertung

**TRBS 2152** – Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Allgemeines

**TRBS 2152 Teil 1** – Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Beurteilung der Explosionsgefährdung

**TRBS 2152 Teil 2** – Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre

**TRBS 2152 Teil 3** – Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre

**TRBS 2152 Teil 4** – Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes, welche die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken

**TRBS 2153** – Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen

Internet: [www.baua.de](http://www.baua.de)



**Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS)**

**TRGS 001** – Allgemeines, Aufbau, Anwendung und Wirksamwerden der TRGS

**TRGS 002** – Übersicht über den Stand der TRGS

**TRGS 003** – Allgemein anerkannte sicherheitstechnische und hygienische Regeln

**TRGS 500** – Schutzmaßnahmen

**TRGS 510** – Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern

**TRGS 555** – Betriebsanweisung und Information der Beschäftigten

Internet: [www.baua.de](http://www.baua.de)

**13.3 GDV-/VdS-Publikationen**

**CEA 4001** – Sprinkler Systems, Planning and Installation

**VdS 2000** – Leitfaden für den Brandschutz im Betrieb

**VdS 2008** – Feuergefährliche Arbeiten, Richtlinien für den Brandschutz

**VdS 2036SD** – Erlaubnisschein für feuergefährliche Arbeiten

**VdS 2093** – CO<sub>2</sub>-Feuerlöschanlagen, Planung und Einbau

**VdS 2095** – Automatische Brandmeldeanlagen, Planung und Einbau

**VdS 2106** – Funkenerkennungs-, Funkenausscheidungs- und Funkenlöschanlagen, Planung und Einbau

**VdS 2108** – Schaum-Löschanlagen, Planung und Einbau

**VdS 2109** – Sprühwasser-Löschanlagen, Planung und Einbau

**VdS 2234** – Brand- und Komplextrennwände, Merkblatt für die Anordnung und Ausführung

**VdS 2380** – Feuerlöschanlagen mit nicht verflüssigten Inertgasen, Planung und Einbau

**VdS 2381** – Feuerlöschanlagen mit halogenierten Kohlenwasserstoffen, Planung und Einbau

**VdS 2395-1** – Halbstationäre Sprühwasser-Löschanlagen, Planung und Einbau

**VdS 2496** – Ansteuerung von Feuerlöschanlagen, Richtlinien

**VdS 3445** – Brandschutz in Entstaubungsanlagen, Merkblatt zur Schadenverhütung

**VdS 3518** – Sicherheit und Gesundheitsschutz beim Einsatz von Feuerlöschanlagen mit Löschgasen

Internet: [www.vds.de](http://www.vds.de) bzw. [www.vds-industrial.de](http://www.vds-industrial.de)

**13.4 Berufsgenossenschaftliche Regeln, Normen und Empfehlungen**

**DGVU Regel 113-001 (ehemals BGR 104)** – Explosionsschutz-Regeln – EX-RL

**DGVU Regel 105-001 (ehemals BGR 134)** – Einsatz von Feuerlöschanlagen mit sauerstoffverdrängenden Gasen

**DGVUR Regel 109-011 (ehemals BGR 204)** – Umgang mit Magnesium

**DGVU Information 205-004 (ehemals BGI 888)** – Sicherheitseinrichtungen beim Einsatz von Feuerlöschanlagen mit Löschgasen

**GESTIS-STAUB-EX des IFA** (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung)

Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de) bzw. [www.carl-heymanns.de](http://www.carl-heymanns.de)

**DIN EN 1127-1** – Explosionsfähige Atmosphären; Explosionsschutz; Teil 1: Grundlagen und Methodik

**DIN 14675** – Brandmeldeanlagen, Aufbau und Betrieb

**DIN EN 60335-2-69** – Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Teil 2-69: Besondere Anforderungen für Staub- und Wassersauger einschließlich kraftbetriebener Bürsten für den gewerblichen Gebrauch (IEC 611J/507/CD:2012)

**DIN EN 60335-2-69 Anlage CC** – Besondere Anforderung für Staubsauger und Entstauber für die Aufnahme von Stäuben, die eine Explosionsgefahr darstellen)

**DIN 69090-1** – MMS-Bearbeitungstechnologie – Teil 1: Begriffe und Definitionen

**DIN VDE 0833-1** – Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall – Teil 1: Allgemeine Festlegungen

**NFPA 484** – Standard for Combustible Metals

**VDG Merkblatt S 700** – Schmelzen und Schmelzbehandlung von Magnesiumlegierungen

**VDI 2263, Blatt 1** – Staubbrände und Staubexplosionen, Gefahren-Beurteilung-Schutzmaßnahmen, Untersuchungsmethoden zur Ermittlung von sicherheitstechnischen Kenngrößen von Stäuben

**VDI 2263, Blatt 6** – Staubbrände und Staubexplosionen; Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen; Brand- und Explosionsschutz an Entstaubungsanlagen

Internet: [www.beuth.de](http://www.beuth.de) bzw.  
[www.nfpa.org](http://www.nfpa.org) bzw. [www.vdi.de](http://www.vdi.de)

## Anhänge

### A1 Definitionen und Begriffsbestimmungen

ABS-Tray	Als ABS-Tray bezeichnet man ein Verpackungsmittel aus Kunststoff auf Acrylnitril-Butadien-Styrol-Basis.
Abschaum	Unter Abschaum versteht man die von der Oberfläche der Metallschmelze entfernte Krätze.
BigBag	Ein BigBag ist ein flexibler Schüttgutbehälter. Die international gebräuchliche Kurzbezeichnung lautet FIBC (Flexible Intermediate Bulk Container).
Brandklassen	Als Brandklasse bezeichnet man eine Klassifizierung der Brände nach ihrem brennenden Stoff. Löschmittel werden entsprechend der Brandklasse unterteilt. Brandklasse A: feste Stoffe Brandklasse B: flüssige und flüssig werdende Stoffe Brandklasse C: Gase Brandklasse D: Metalle Brandklasse F: Speiseöle, Fette
Erlaubnisscheinverfahren	Vor Aufnahme feuergefährlicher Arbeiten ist eine schriftliche Genehmigung des auftraggebenden Unternehmers oder eines Verantwortlichen einzuholen. Der Erlaubnisschein für feuergefährliche Arbeiten (z. B. VdS 2036 Erlaubnisscheine für feuergefährliche Arbeiten) ist an einen konkreten Arbeitsauftrag sowie gleichbleibende Umgebungsbedingungen und Arbeitsverfahren gebunden. Ändern sich diese Umstände, muss die Gefährdungsbeurteilung und das Erlaubnisscheinverfahren erneut durchgeführt werden.
Feuergefährliche Arbeiten	Unter feuergefährlichen Arbeiten versteht man Arbeiten, wie z. B. Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren sowie Trennschleifen, Löten, Auftau- und Heißklebearbeiten, die außerhalb hierfür vorgesehener Werkstätten und Arbeitsplätze vorgenommen werden.
Feuerwehrplan	Ein Feuerwehrplan dient der schnellen Orientierung von Einsatzkräften, insbesondere zur besseren Erfassung der Einsatzlage in einem größeren oder besonders gefährdeten Objekt. Der Feuerwehrplan enthält u. a. Angaben über Nutzung, Gebäudeabmessungen, Brandabschnitte, Treppenräume, Angriffs- und Rettungswege, Lagerung gefährlicher Stoffe sowie Hinweise auf Löschmittel und Löschwasserrückhaltung. Als Grundlage für die Erstellung von Feuerwehrplänen dient die DIN 14095.
Formate	Formate sind Formen von Rohmaterial, die später umgeformt werden.
GLT	Großladungsträger (GLT) ist ein – üblicherweise nach dem Verband der Automobilindustrie (VDA) standardisierter – Ladungsträger größerer Bauform.
Halbzeug	Halbzeug ist der Oberbegriff für vorgefertigte Rohmaterialformen wie beispielsweise Bleche, Stangen, Rohre und Coils (Bezeichnung für ein aufgewickeltes Metallband oder Metalldraht).
KLT	Kleinladungsträger (KLT) ist ein – üblicherweise nach dem Verband der Automobilindustrie (VDA) standardisierter – Ladungsträger kleinerer Bauform.
Krätze	Krätze ist das beim Schmelzen von Metallen entstehende Gemisch aus Metalloxiden, Verunreinigungen und Verbrennungsprodukten des Ausgangsmaterials.
Legierte Öle	Legierte Öle sind Öle, denen Additive zugesetzt sind.
Luftwechsel	Luftwechsel bzw. Luftwechselrate ist der Luftvolumenstrom für einen Raum bezogen auf das Raumvolumen (Einheit: (m <sup>3</sup> /h)/m <sup>3</sup> bzw. 1/h). Der Luftwechsel gibt an, wie oft die Raumluft pro Stunde ausgetauscht wird.
Massel	Masseln sind in Formen gegossene Gießwerkstoffe zur Verwendung durch Einschmelzen.

Reststoff	Reststoffe sind Stoffe, die bei der Produktion, Verarbeitung, Umarbeitung oder beim Gebrauch von Stoffen anfallen. Reststoffe können unter Umständen wieder als Rohstoffe eingesetzt werden.
Rost	Rost ist das Korrosionsprodukt, das aus Eisen oder Stahl durch Oxidation mit Sauerstoff in Gegenwart von Feuchtigkeit entsteht.
Thermitreaktion	Die Thermitreaktion ist eine Redoxreaktion, bei der Aluminium bzw. Magnesium als Reduktionsmittel benutzt wird, um Eisen(III)-oxid zu Eisen zu reduzieren. Das Gemisch aus Aluminium bzw. Magnesium und Eisenoxid wird Thermit genannt. Die Reaktion läuft sehr stark exotherm ab (Wärmeentwicklung über 2.400 °C).
Unlegierte Öle	Unlegierte Öle sind Öle ohne chemisch wirkende Zusätze.
Zunder	Zunder ist die durch Einwirkung oxidierender Gase auf metallische Oberflächen entstehende Oxidschicht.

## A2 Reaktion von Magnesium mit anderen Stoffen

Übersicht der am häufigsten vorkommenden Energie freisetzenden Reaktionen im Zusammenhang mit Magnesium.

- Exotherme Reaktionen mit Sauerstoff und sauerstoffhaltigen Gasen (Verbrennung/Oxidation):  
 $2 \text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{MgO}$
- Rasche Verdampfung (Ausdehnung) von Wasser, das von flüssigem Magnesium umschlossen ist (Dampfexplosion):  
 $\text{Mg}_{(\text{flüssig})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{flüssig})} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(\text{Dampf})} + \text{Mg}_{(\text{Tröpfchen})}$
- Wasserstoffexplosion:  
 $\text{Mg} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MgO} + \text{H}_2$   
 $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$
- Thermitreaktion:  
 $3 \text{Mg} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 3 \text{MgO} + 2 \text{Fe}$
- Silikat-Reaktion:  
 $2 \text{Mg} + \text{SiO}_2 \rightarrow 2 \text{MgO} + \text{Si}$
- Exotherme Reaktionen mit Stickstoff:  
 $3 \text{Mg} + \text{N}_2 \rightarrow \text{Mg}_3\text{N}_2$
- Exotherme Reaktionen mit Kohlendioxid:  
 $2 \text{Mg} + \text{CO}_2 \rightarrow 2 \text{MgO} + \text{C}$
- Exotherme Reaktionen mit Chlor:  
 $\text{Mg} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{MgCl}_2$

Definitionen:

- Mg = Magnesium
- O<sub>2</sub> = Sauerstoff
- MgO = Magnesiumoxid
- H<sub>2</sub>O = Wasser
- H<sub>2</sub> = Wasserstoff

- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = Eisen(III)-oxid
- Fe = Eisen
- SiO<sub>2</sub> = Siliciumdioxid
- Si = Silicium
- N<sub>2</sub> = Stickstoff
- CO<sub>2</sub> = Kohlendioxid
- Cl<sub>2</sub> = Chlor.

## A3 Sicherheitstechnische Kenngrößen

Im Rahmen der sicherheitstechnischen Beurteilung von Anlagen und Verfahren sowie für ein sachgerechtes Auswählen und Dimensionieren von Schutzmaßnahmen ist eine umfassende Kenntnis der nachfolgend beschriebenen Brenn- und Explosionskenngrößen der beteiligten Stoffe erforderlich.

Da beim Umgang mit Magnesium grundsätzlich die Gefahr der Bildung von Wasserstoff besteht, werden nachstehend sowohl die Explosionskenngrößen von Magnesiumstaub als auch von Wasserstoff aufgeführt.

### Korngrößenverteilung/Medianwert

Das Reaktionsverhalten von Stäuben wird sehr stark durch die Korngröße beeinflusst. Zur Beschreibung der Korngröße wird üblicherweise der Medianwert herangezogen. Seine Ermittlung erfolgt durch eine Siebanalyse. Der Medianwert ist der Korndurchmesser, bei dem jeweils 50 Gew.-% der Staubprobe einen größeren bzw. kleineren Durchmesser aufweisen.

### Feuchte

Die Explosionskenngrößen von Stäuben werden durch den Feuchtegehalt beeinflusst. Mit steigendem Wassergehalt nimmt die Zündempfindlichkeit und die Reaktionsfähigkeit von Stäuben ab. Üblicherweise werden die Kenngrößen von Stäuben erst ab einem Anteil an Wasser von mehr als 10 Gew.-% merklich beeinflusst.

## Brennverhalten

Durch die Untersuchung des Brennverhaltens wird geprüft, ob und in welchem Maß sich im abgelagerten Staub ein durch äußeres Entzünden eingeleiteter Brand ausbreiten kann. Das Brennverhalten der Staubprobe wird jeweils durch die Brennzahl BZ 1 bis BZ 6 bewertet.

Keine Ausbreitung eines Brandes	Kein Anbrennen	BZ 1
	Kurzes Anbrennen und rasches Auslöschten	BZ 2
	Örtliches Brennen oder Glimmen ohne Ausbreitung	BZ 3
Ausbreitung eines Brandes	Ausbreitung eines Glimmbrandes	BZ 4
	Ausbreitung eines offenen Brandes	BZ 5
	Sehr heftiges, verpuffungsartiges Abbrennen	BZ 6

**Tabelle 9:** Definition der Brennzahl BZ

## Glimmtemperatur

Die Glimmtemperatur (Mindestzündtemperatur einer Staubschicht) beschreibt die Entzündbarkeit abgelagerten Staubes (flache Staubschicht) durch heiße Flächen. Als Glimmtemperatur wird die unter vorgeschriebenen Versuchsbedingungen ermittelte niedrigste Temperatur einer heißen Oberfläche bezeichnet, bei der sich eine Staubschicht von 5 mm Dicke entzündet. Sollen Voraussagen zu anderen Schichtdicken getroffen werden, so müssen diese im konkreten Fall untersucht werden.

## Staubexplosionsfähigkeit

Staubexplosionsfähigkeit ist dann gegeben, wenn in einem Staub/Luft-Gemisch nach Zündung eine Flammenausbreitung auftritt, die im geschlossenen Behälter mit einer Drucksteigerung verbunden ist. Die Staubexplosionskenngrößen maximaler Explosionsüberdruck ( $p_{max}$ ) und maximaler zeitlicher Druckanstieg ( $K_{St}$ -Wert) beschreiben die maximal zu erwartenden Auswirkungen einer Staubexplosion.

Staubexplosionsklasse	$K_{St}$ -Wert [bar · m/s]
St 1	>0 bis 200
St 2	>200 bis 300
St 3	> 300

**Tabelle 10:** Definition der Staubexplosionsklassen in Abhängigkeit vom  $K_{St}$ -Wert

## Explosionsgrenzen

Die untere Explosionsgrenze (UEG) ist der untere Grenzwert der Konzentration eines brennbaren Stoffes in einem Gemisch mit Luft, in dem sich nach dem Zünden eine Flamme gerade nicht mehr fortpflanzen kann.

Die obere Explosionsgrenze (OEG) ist der obere Grenzwert der Konzentration eines brennbaren Stoffes in einem Gemisch mit Luft, in dem sich nach dem Zünden eine Flamme gerade nicht mehr fortpflanzen kann.

Nur in dem Bereich zwischen der oberen und der unteren Explosionsgrenze reagiert das Gemisch bei Zündung explosionsartig.

Die Explosionsgrenzen werden i. d. R. in  $g/m^3$  angegeben, bei Gasen auch in Vol.-% (s. Tabelle 13).

Für Stäube lässt sich die obere Explosionsgrenze (OEG) experimentell nur schwer ermitteln. Sie liegt i. a. in der Größenordnung von mehreren  $1000 g/m^3$ . In der Praxis spielt jedoch die OEG nur eine geringe Rolle, da diese kaum erreicht wird.

## Zündtemperatur

Die Zündtemperatur ist die unter vorgeschriebenen Versuchsbedingungen ermittelte niedrigste Temperatur einer heißen Oberfläche, bei der eine Entzündung eines brennbaren Staub/Luft- oder Gas/Luft-Gemisches zu beobachten ist.

## Mindestzündenergie

Die Mindestzündenergie (MZE) gibt Auskunft über die Zündwilligkeit brennbarer Stoffe im Gemisch mit Luft. Die MZE ist die unter vorgeschriebenen Versuchsbedingungen ermittelte, kleinste in einem Kondensator gespeicherte Energie, die beim Entladungsvorgang ausreicht, das zündwilligste Gemisch eines explosionsfähigen Gas/Luft- oder Staub/Luft-Gemisches zu zünden.

## Sauerstoffgrenzkonzentration

Die Sauerstoffgrenzkonzentration ist die höchste Sauerstoffkonzentration in einem Gemisch aus Luft, Inertgas und brennbarem Stoff (Gas/Staub), bei der gerade keine Explosion mehr eingeleitet werden kann.

## Explosionsgruppe

Gase werden aufgrund ihrer spezifischen Zündfähigkeit durch normierte Kennzahlen beschrie-

ben. Danach lassen sich die Gase und Dämpfe in die Gruppen IIA, IIB und IIC einteilen. Die Gefährlichkeit der Gase nimmt von Explosionsgruppe IIA nach IIC zu. Wasserstoff ist ein Gas der Explosionsgruppe IIC.

### Temperaturklasse

Die Temperaturklassen beschreiben Zündbereiche, in die brennbare Gase/Flüssigkeiten aufgrund ihrer ermittelten Zündtemperatur eingeteilt werden. Wasserstoff ist ein Gas der Temperaturklasse T1.

Temperaturklasse	Zündbereich
T1	> 450 °C
T2	> 300 ... ≥ 450 °C
T3	> 200 ... ≥ 300 °C
T4	> 135 ... ≥ 200 °C
T5	> 100 ... ≥ 135 °C
T6	> 85 ... ≥ 100 °C

**Tabelle 11:** Definition der Temperaturklassen in Abhängigkeit vom Zündbereich

Die Datenbank GESTIS-Staub-Ex des IFA (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung) nennt beispielhaft nachstehende Brenn- und Explosionskenngrößen für typische Magnesiumstäube, -späne und -legierungen.

Stoffdaten/sicherheitstechnische Kennzahlen (n. b.: nicht bestimmt)	Einheit	Stoffbezeichnung und Stoffnummer gemäß GESTIS-Staub-Ex Datenbank				
		Magnesium (Späne), verunreinigt (1532)	Magnesiumpulver (0720)	Magnesiumpulver (0721)	Magnesium-Silicium-Legierung (58 % Mg, 38 % Si) (1446)	Magnesium-Vorlegierung (20 % Mg, 45 % Si, 22 % Fe) (2479)
Medianwert	µm	< 63	28	240	22	21
Max. Explosionsüberdruck ( $p_{max}$ )	bar	n. b.	17,5	7	9,6	9,9
Max. zeitlicher Druckanstieg ( $K_{st}$ -Wert)	bar · m/s	n. b.	508	12	234	267
Staubexplosionsklasse	-	St 1	St 3	St 1	St 2	St 2
Untere Explosionsgrenze (UEG)	g/m <sup>3</sup>	200	30	500	30	n. b.
Zündtemperatur (k. E. b.: kein Entzünden bis ...)	°C	n. b.	n. b.	760	k. E. b. 600	560
Mindestzündenergie (MZE)	mJ	n. b.	n. b.	n. b.	10/100	> 30
Sauerstoffgrenzkonzentration	Vol. %	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	3
Glimmtemperatur (k. G. b.: kein Glimmen bis ...)	°C	n. b.	n. b.	k. G. b. 450	n. b.	k. G. b. 450
Brennverhalten	-	BZ 5	n. b.	BZ 5	BZ 4	n. b.

**Tabelle 12:** Beispiele für Brenn- und Explosionskenngrößen von Magnesium

Nachfolgend sind die wichtigsten sicherheitstechnischen Kennzahlen für Wasserstoff aufgeführt (Quelle: GESTIS-Stoff-Datenbank).

Stoffdaten mit sicherheitstechnischen Kennzahlen		Wasserstoff
Zündtemperatur	°C	560
Untere Explosionsgrenze (UG)	Vol.-%	4
Obere Explosionsgrenze (OEG)	Vol.-%	75
Untere Explosionsgrenze (UEG)	g/m <sup>3</sup>	3,3
Obere Explosionsgrenze (OEG)	g/m <sup>3</sup>	64
Explosionsgruppe	-	IIC
Sauerstoffgrenzkonzentration	Vol.-%	4,3
Temperaturklasse	-	T1

**Tabelle 13:** Brenn- und Explosionskenngrößen von Wasserstoff

Bei der Verwendung der in der Tabelle 12 angegebenen Brenn- und Explosionskenngrößen für Stäube ist zu berücksichtigen, dass diese sehr stark von ihrer Beschaffenheit (z. B. Korngrößenverteilung, Feuchte) abhängen. Im Wesentlichen dienen diese Daten dazu aufzuzeigen, in welchen Größenordnungen die entsprechenden Brenn- und Explosionskenngrößen zu erwarten sind. Darüber hinaus besteht bei Stäuben das grundsätzliche Problem, dass sich für scheinbar vergleichbare Stäube sehr unterschiedliche Werte ergeben können. Wenn nicht zweifelsfrei alle wichtigen Einflussgrößen wie z. B. Feuchte, Korngrößenverteilung mit dem zu beurteilenden Staub übereinstimmen, ist es immer zwingend erforderlich, den tatsächlich vorliegenden Staub zu untersuchen.

In besonderen Fällen kann es durchaus gerechtfertigt sein, aus einer Vielzahl von Daten eines Stoffes, im Rahmen einer konservativen Bewertung, die jeweils „schärferen“ Kenndaten für eine Beurteilung zugrunde zulegen.

Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, dass sich mit abnehmender Korngröße und Feuchte höhere Werte für den maximalen Explosionsüberdruck und den  $K_{St}$ -Wert sowie niedrigere Werte für die untere Explosionsgrenze, die Zündtemperatur und die Mindestzündenergie ergeben können.

Die Ermittlung der Brenn- und Explosionskenngrößen erfolgt üblicherweise unter sog. atmos-

phärischen Bedingungen. Sollten in der betrieblichen Praxis jedoch andere Bedingungen vorliegen, so sind die unter Standardbedingungen ermittelten Daten entsprechend zu bewerten. Sollte eine abschließende Bewertung nicht möglich sein, so müssen die erforderlichen Kenngrößen unter den vorliegenden Randbedingungen bestimmt werden, da z. B. bei einem erhöhten Druck, bei einem erhöhten Sauerstoffgehalt und/oder erhöhter Temperatur mit einem kritischeren Brenn- und Explosionsverhalten zu rechnen ist.

## A4 Ausgewählte Zündquellen

Von den in der TRBS 2152 Teil 3 beschriebenen 13 Zündquellen sind nachstehend die beim Umgang mit Magnesium wesentlichen Zündquellen beschrieben.

### Heiße Oberflächen

Kommt ein brennbarer Stoff mit heißen Oberflächen in Berührung, kann es zu einer Entzündung kommen. Die Zündfähigkeit der heißen Oberfläche nimmt mit zunehmender Temperatur und mit zunehmender Oberfläche zu. Heiße Oberflächen treten erfahrungsgemäß hauptsächlich durch Fehlfunktion an mechanisch bewegten Teilen durch Reibung (z. B. heiß laufende Wellen und Lager) oder durch Störungen bei betriebsmäßig heißen Oberflächen auf (z. B. durch Fehler in der Temperaturbegrenzung). Auch in engen Gehäusen bewegte Teile (z. B. Ventilatoren) können durch Verlagerung der Achsen, durch Ablagerungen oder eingedrungene Fremdkörper zu Reibvorgängen führen, die hohe Oberflächentemperaturen hervorrufen. Ferner können mechanische Vorgänge und spanabhebende Bearbeitung, sowie Schmelzen zu gefährlichen Temperaturen führen.

Auf Staubschichten können heiße Oberflächen sehr lange einwirken, wodurch die Möglichkeit der Bildung von Schwelgasen begünstigt wird.

### Flammen und heiße Gase

Flammen sowie deren heiße Reaktionsprodukte zählen zu den wirksamsten Zündquellen, da sie Temperaturen von über 1.000 °C erreichen können und langfristig wirksam sind.

Flammen und deren heiße Reaktionsprodukte können in Feuerungsanlagen oder bei Bränden in Einrichtungen und Anlagen (z. B. Mahlanlagen, Mischern, mechanischen Förderorganen) entstehen.

### Mechanisch erzeugte Funken

Durch Reib-, Schlag- und Abtragsvorgänge (z. B. Schleifen) werden aus festen Materialien Teilchen abgetrennt, die eine erhöhte Temperatur aufweisen. Diese können abgelagerte Staubschichten durch die Bildung von Glimmnestern entzünden.

Mechanisch erzeugte Funken entstehen auch durch das Eindringen von Fremdmaterialien (z. B. Metallstücken) in Maschinen (z. B. Mahlanlagen). Die Zündfähigkeit der Funken ist materialabhängig und wird insbesondere von der Temperatur und Größe der Funken bestimmt. Funkengarben haben dabei eine höhere Zündwahrscheinlichkeit als einzelne Funken. Bei einer Relativgeschwindigkeit unter 1 m/s sind bei metallischen Werkstoffen mechanisch erzeugte Funken nicht zu erwarten. Dagegen ist bei einer Relativgeschwindigkeit von größer 10 m/s in jedem Fall eine Zündgefahr zu unterstellen.

Heiße Partikel sind feste Teilchen, die auf verschiedene Weise entstehen und aufgrund ihrer Temperatur zündwirksam sein können. Zu den bekanntesten zählen Schweißpartikel, die beim Schweißen oder Brennschneiden von Eisenmetallen entstehen. Diese können kurzzeitig eine Maximaltemperatur von 1.800 °C erreichen. Heiße Partikel entstehen auch bei Verbrennungsprozessen fester Stoffe. Als Glut transportieren diese Teilchen Wärme- und Strahlungsenergie, die jedoch unterhalb der von Schweißpartikeln liegen, aber gleichwohl zündwirksam sein können. Auch aus Glutnestern oder Glimmbränden können sich heiße Partikel lösen. Ferner sind noch nicht verloschene Zigarettenreste zu berücksichtigen. Im Luftstrom können diese Temperaturen von ca. 800 °C erreichen.

### Statische Elektrizität

Elektrostatische Aufladungen können durch deren unterschiedliche Entladungsformen eine Zündgefahr beim Umgang mit Magnesium sein. Statische Elektrizität entsteht durch Reibung von Körpern aneinander sowie Misch- und Strömungsvorgängen. Dabei wird die Ansammlung von elektrischen Ladungen sowohl durch die Intensität der Bewegung als auch durch die Möglichkeit des Ladungsabflusses bestimmt. Eine Aufladung entsteht dann, wenn die Trennung der Teile schneller erfolgt, als die Ladungen zurückfließen können, aber auch wenn die Beweglichkeit der Elektronen durch einen zu hohen Widerstand herabgesetzt ist.

### Chemische Reaktionen

Hierzu gehören exotherme Reaktionen einschließlich Selbstentzündung von Stäuben. Exotherme Reaktionen können als Zündquellen wirken, wenn bei der chemischen Reaktion mehr Wärme entsteht, als gegenüber der Umgebung abgegeben werden kann.

Bei abgelagertem Staub kann es bei allseitiger Wärmeeinwirkung und Anwesenheit von Luftsauerstoff nach vorangegangener Selbsterhitzung zur Entzündung kommen. Die Selbstentzündungstemperatur ist von den Kenngrößen des brennbaren Stoffs abhängig, von der Größe der Schüttung sowie von der Dauer der Wärmeeinwirkung. Diese nimmt bei gleicher Form der Schüttung mit zunehmendem Volumen der Ablagerungen ab.

Unter exothermer Zersetzung wird – im Gegensatz zur Selbstentzündung – eine auch ohne Luftsauerstoff stattfindende Reaktion (Zersetzungsreaktion) verstanden, die zu einer Selbsterhitzung führt. Wie bei der Selbstentzündung ist auch bei der exothermen Zersetzung die Volumenabhängigkeit zu beachten.

Übersteigt die Wärmeproduktion die Wärmeabgabe an die Umgebung (Wärmestau), so kommt es zu einem Temperaturanstieg und beim Erreichen der Zündtemperatur zu einer Entzündung des Staubes. Glimmester und/oder offene Brände sind die Folge.

Die Selbsterwärmungsprozesse werden begünstigt durch eine schlechte Wärmeleitung der Staubschüttung, durch erhöhte Produkttemperaturen, große Staubmengen und lange Lagerzeiten ohne Bewegung des Staubes. Zur Selbstentzündung neigen insbesondere metallische Stäube mit einem Anteil organischer Stoffe.

### Sonstige Zündquellen

Neben den beschriebenen Zündquellen, ist nicht auszuschließen, dass Brände als Folge von Staubexplosionen, durch Blitzschlag, elektrische Anlagen oder andere nicht vorhersehbare Einwirkungen (z. B. Brandstiftung) ausgelöst werden. Wegen des nicht kalkulierbaren Auftretens dieser Zündquellen erfolgt hier keine detaillierte Betrachtung, gleichwohl sind sie bei der Gefährdungsbeurteilung mit zu berücksichtigen.



## A5 Ausgewählte Schadenfälle

Viele Schadenfälle, an denen Magnesium beteiligt war, werden als solche nicht erkannt und somit auch nicht dokumentiert. Dies kann daran liegen, dass Magnesium nicht als Ursache für dieses Ereignis erkannt wurde, z. B. durch Verwechslung mit einem anderen Leichtmetall, wie Aluminium. Oft ist auch Magnesium nicht die direkte Schadenursache, führt jedoch im weiteren Schadenverlauf zu einer deutlichen Schadenintensivierung, ohne als Ursache Erwähnung zu finden, z. B. wenn sich brennbare KSS innerhalb eines Bearbeitungsraumes entzünden.

<b>Beispiel 1</b>	<b>Brand von Magnesiumspänen an einer Drehmaschine</b>
Hergang:	Beim Drehen kleiner Magnesiumteile auf einer Revolver-Drehmaschine unter Verwendung wassermischbarer Kühlschmierstoffe trat ein Magnesiumspänebrand auf. Beim Löschen des brennenden Gebäudes mit Wasser wurde der Magnesiumbrand intensiviert.
Bemerkung:	Der Brand ereignete sich in einer kleinen Lohndreherei.
Zündquelle:	Heiße Oberfläche aufgrund unzureichender Kühlschmierstoffzufuhr, da man davon ausging, Aluminium zu bearbeiten.
Unfall-ursache:	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Unzureichende Kühlschmierstoffzufuhr an der Bearbeitungsstelle;</li> <li>■ Anhäufung mit wassermischbaren Kühlschmierstoffen durchsetzte Späne in der Maschine;</li> <li>■ Entzündung der Späne;</li> <li>■ Lösversuch mit Wasser.</li> </ul>
Unfallfolgen:	Erheblicher Sachschaden

<b>Beispiel 2</b>	<b>Wasserstoffexplosion</b>
Hergang:	Beim Schleifen von Magnesiumgussteilen an einer Bandschleifmaschine im Trockenschleifverfahren mit sofortiger Benetzung der freiwerdenden Stäube entzündeten sich am Auffangkasten anhaftende Staubanbackungen. Beim Versuch den Brand mit Sand zu löschen, ereignete sich eine Explosion.
Bemerkung:	Der Schlamm wurde in ein dem Auffangkasten nachgeschaltetes geschlossenes Sammelbecken ausgetragen; das Sammelbecken hatte keine Entgasungsöffnung für den entstehenden Wasserstoff.
Zündquelle:	Mechanisch erzeugter Funken – Funkenbildung durch Oxideinschluss im Magnesiumteil.
Unfall-ursache:	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Entzündung von Staubanbackungen im Auffangkasten;</li> <li>■ erfolgloses Löschen mit trockenem Sand wegen der vorhandenen Feuchtigkeit;</li> <li>■ durch fehlende Zwangsentgasung des Schlammbeckens Anreicherung von Wasserstoff und dadurch Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre.</li> </ul>
Unfallfolgen:	1 Schwer- und 2 Leichtverletzte, erheblicher Sachschaden.

<b>Beispiel 3</b>	<b>Brand von mit Magnesiumstaub verschmutzter Kleidung</b>
Hergang:	Beim Schleifen von Magnesiumteilen mittels Handschleifmaschine verschmutzte sich ein Mitarbeiter die Arbeitskleidung mit Magnesiumstaub. Als er danach am Schleifbock ein Stahlteil schliff, geriet die Kleidung durch Funkenflug in Brand.
Bemerkung:	Gefahren im Umgang mit Magnesium waren nicht ausreichend bekannt.
Zündquelle:	Mechanisch erzeugter Funken – Funkenbildung beim Schleifen eines Stahlteiles.
Unfall-ursache:	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ verstaubte Kleidung;</li> <li>■ Schleiffunken.</li> </ul>
Unfallfolgen:	Schwere Verbrennungen.

<b>Beispiel 4</b>	<b>Brand eines Magnesium-Schmelzofens</b>
Hergang:	Durch einen Riss in einem Magnesiumtiegel lief flüssige Magnesiumschmelze in den Zwischenraum eines elektrisch beheizten Schmelzofens. Durch den Zutritt von Luft-sauerstoff kam es dann zu sehr hohen Verbrennungstemperaturen im Zwischenraum. Im weiteren Verlauf des Brandes schmolz das Ofengehäuse im Bodenbereich durch und es kam zum freien Austritt von Magnesium.
Bemerkung:	Nur durch das sofortige Binden des brennenden Magnesiums mit Graugusspänen und Salzen konnte ein Großschaden verhindert werden.
Zündquelle:	Heiße Oberfläche
Unfall-ursache:	Als Ursache des Austritts wurde ein Materialfehler der Schweißnaht festgestellt, wel-cher zum Aufreißen der Naht und somit zum Austritt des Magnesiums in den Ofen-zwischenraum und in Außenbereiche führte.
Unfallfolgen:	Sachschaden

<b>Beispiel 5</b>	<b>Brand von unvollständig ausreagierter Magnesiumkrätze auf einer Deponie</b>
Hergang:	Noch nicht vollständig ausreagierte Magnesiumkrätze, welche auf einer Deponie ver-dichtet gelagert wurden, entzündeten sich selbst. Nach Freilegen der Reaktionsstelle kommt es zu Stichflammen und zahlreichen Knallgasexplosionen. Die Feuerwehr ent-schied, nur die Umgebung abzudecken und das Magnesium nicht zu löschen, sondern diese abreagieren zu lassen. Es kommt weitere 3 Tage lang zur Bildung von Wasser-stoff und weiteren Stichflammen sowie Knallgasexplosionen.
Bemerkung:	Die Magnesiumkrätze lag als verdichtete Schüttung vor und war, da keinerlei Nach-oxidation erwartet wurde, mit einer 2 m dicken Müllschicht bedeckt. Untersuchungen ergaben, dass zwar Eingangsprüfungen des Materials stattgefunden hatten, es wurde jedoch versäumt, die Restreaktivität des als „ausreagiert“ deklarierten Magnesium-oxidschlammes zu überprüfen bzw. zu ermitteln.
Zündquelle:	Selbstentzündung
Unfall-ursache:	unsachgemäße Entsorgung
Unfallfolgen:	Sachschaden

<b>Beispiel 6</b>	<b>Brand an einer Magnesium-Druckgussmaschine</b>
Hergang:	An einer nicht vollständig geschlossenen Gießform spritzte Magnesium heraus. Beim Kontakt der Magnesiumschmelze mit Betriebsstoffen (Kolbensmierstoffe etc.) kam es zur direkten Entzündung.
Bemerkung:	Magnesium befindet sich im geschmolzenen Zustand oberhalb seiner Zündtempera-tur und muss während des Gießvorganges stets vor dem Kontakt mit Luftsauerstoff geschützt werden. Dies geschieht i. d. R. durch geschlossene Systeme bzw. das Vor-halten einer Schutzgasschicht oberhalb der Schmelze im Vorlagebehälter.
Zündquelle:	Heiße Oberfläche – schmelzflüssiges Magnesium in Kontakt mit brennbaren Betriebsstoffen
Unfall-ursache:	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ nicht vollständig geschlossene Gießform;</li> <li>■ Kontakt der Schmelze mit Luftsauerstoff.</li> </ul>
Unfallfolgen:	Sachschaden

## A6 Inertisierung

Die TRBS 2152 Teil 2 beschreibt Maßnahmen zur Vermeidung oder Einschränkung explosionsfähiger Atmosphäre, u. a. die Inertisierung.

Speziell bei Entstaubungsanlagen als filternder Abscheider kann die staubexplosionsfähige Atmosphäre durch die Zugabe von inerten, nicht brennbaren Additiven vermieden werden. Solche Additive können inerte Schüttgüter wie z. B. Calciumhydroxid ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) oder Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) sein. Je nach Art der Zugabe erfolgt eine Schichtung von Additiv und Staub (diskontinuierliche Additiv-Zugabe) oder eine vollständige Durchmischung (kontinuierliche Additiv-Zugabe). Das Additiv lagert sich an der Oberfläche der Staubpartikel an und führt so zu einer Verringerung der chemisch reaktionsfähigen Oberfläche. Zur Vermeidung der Brand- und Explosionsgefahr muss in Versuchen das Verhältnis von brennbarem Staub zu nicht brennbarem Additiv ermittelt werden.

Neben der oben beschriebenen Feststoffinertisierung besteht bei Entstaubungsanlagen auch die Möglichkeit der Inertisierung durch Inertgase. Als inerte Gase stehen z. B. Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) oder Argon (Ar) zur Verfügung. Idealerweise sollte die Bearbeitungs- und Filteranlage mit einem geschlossenen Gaskreislauf ausgeführt sein. Bei offenen Bearbeitungsanlagen sind aufgrund der erforderlichen Mengen an Inertgas derartige Lösungen unwirtschaftlich.

## A7 Konstruktive Explosionsschutzmaßnahmen

Die TRBS 2152 Teil 4 beschreibt die konstruktiven Explosionsschutzmaßnahmen.

### Explosionsfeste Bauweise

Bei der explosionsfesten Bauweise ist die gefährdete Anlage für den im Explosionsfall zu erwartenden Explosionsdruck entweder explosionsdruckfest oder explosionsdruckstoßfest auszuführen (siehe EN 14460).

Die explosionsdruckfeste Anlage hält dem zu erwartenden Explosionsüberdruck stand, ohne sich bleibend zu verformen. Die explosionsdruckstoßfeste Anlage ist hingegen so geplant und ausgelegt, dass sie dem Explosionsüberdruck ohne aufzureißen widersteht. Eine bleibende Verformung ist zulässig.

Die gesamte Anlage einschließlich aller angeschlossenen Armaturen wird für den zu erwartenden Explosionsüberdruck ausgeführt. Der zu erwartende Explosionsüberdruck kann sowohl der maximale Explosionsüberdruck des vorliegenden Stoffes als auch ein durch Explosionsdruckentlastung oder Explosionsunterdrückung reduzierter maximaler Explosionsüberdruck sein.

### Explosionsdruckentlastung

Bei Anwendung der Explosionsdruckentlastung wird die Anlage nicht explosionsfest für den maximalen Explosionsüberdruck, sondern nur für den reduzierten maximalen Explosionsüberdruck ausgeführt, der sich infolge der Explosionsdruckentlastung einstellt.

Bei der Druckentlastung ist mit dem Austreten von Verbrennungsgasen und gegebenenfalls brennbarem Staub sowie mit Flammerscheinungen und Druckentwicklung im Außenraum zu rechnen. Daher muss sichergestellt werden, dass infolge der Flammen- und Druckwirkung ein Sicherheitsbereich eingehalten wird.

Bei Magnesium sind der Anwendbarkeit der Explosionsdruckentlastung, in Abhängigkeit von den Brand- und Explosionskenngrößen, Grenzen gesetzt.

Die Anforderungen zur Explosionsdruckentlastung sind in der EN 14491 geregelt. Bei den Einrichtungen zur Explosionsdruckentlastung muss es sich um autonome Schutzsysteme gemäß der ATEX-Richtlinie 94/9/EG handeln.

### Explosionsunterdrückung

Bei Anwendung der Explosionsunterdrückung wird die Anlage nicht explosionsfest für den maximalen Explosionsüberdruck, sondern nur für den reduzierten maximalen Explosionsüberdruck ausgeführt, der sich infolge der Explosionsunterdrückung einstellt.

Die Explosionsunterdrückung ist eine Verfahrensweise, bei der die Verbrennung einer explosionsfähigen Atmosphäre in einem geschlossenen Volumen erkannt und in der Anfangsphase durch Zugabe eines geeigneten Löschmittels abgebrochen wird.

Eine Explosion gilt dann als unterdrückt, wenn in der zu schützenden Anlage der zu erwartende Explosionsdruck auf den reduzierten, maximalen Explosionsüberdruck begrenzt wird.

Bei Magnesium sind der Anwendbarkeit der Explosionsunterdrückung, in Abhängigkeit von den Brand- und Explosionskenngrößen, Grenzen gesetzt.

Die Anforderungen zur Explosionsunterdrückung sind in der EN 14373 geregelt. Bei den Einrichtungen zur Explosionsunterdrückung muss es sich um autonome Schutzsysteme gemäß der ATEX-Richtlinie 94/9/EG handeln.

### **Explosionstechnische Entkopplung**

Durch die explosionstechnische Entkopplung wird die Ausbreitung einer Explosion (Druck und/oder Flamme) in andere Anlagenteile und -bereiche, z. B. über Verbindungsrohre oder -kanäle, verhindert.

Die explosionstechnische Entkopplung ist i. d. R. zusätzlich zu den oben beschriebenen Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes anzuwenden.

Bei Magnesium sind der Anwendbarkeit der Explosionsentkopplung, in Abhängigkeit von den Brand- und Explosionskenngrößen, Grenzen gesetzt.

Die Anforderungen zur Explosionsentkopplung sind in der EN 15089 geregelt. Bei den Einrichtungen zur Explosionsentkopplung muss es sich um autonome Schutzsysteme gemäß der ATEX-Richtlinie 94/9/EG handeln.

## **A8 Klassifizierung von Reststoffen**

Bei der Be- und Verarbeitung von Magnesium und Magnesium-Legierungen anfallende Stoffe sind als Wertstoffe nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) wieder verwertbar. Hierfür ist eine sortenreine Trennung und Lagerung zwingend notwendig. Der Anlagenbetreiber ist ferner verpflichtet alle Vorschriften und Regeln zu beachten, damit vom Betrieb der Anlage keine Gefahr ausgeht (Gefahrstoffverordnung, DGUV Regel 109-011 (ehemals BGR 204), Abfallrecht usw.). Als Abfallerzeuger ist der Anlagenbetreiber zudem für die richtige Abfalleinstufung verantwortlich.

Nachstehend sind die Schrottklassen der verschiedenen Magnesiumreststoffe aufgeführt, nach denen diese eingeteilt werden können. Anhand dieser Klassen ist festgelegt, wie die Schrotte/Abfälle gelagert, transportiert, gekennzeichnet und letztendlich verwertet oder entsorgt werden können.

Klasse 1	Sauberer, kompakter sortenreiner Schrott (ohne Fe, ohne Cu, ohne Ni und frei sonstiger Anhaftungen)
Klasse 2	Schrottteile, lackiert, mit organischen Anhaftungen, Fe und Al Inserts, ohne Cu oder Ni-Verunreinigungen
Klasse 3	PCS (=post consumer scrap) verschmutzter, kompakter, öliger, nasser Schrott mit Sand, Cu- und Ni-Verunreinigungen
Klasse 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Späne sauber/trocken;</li> <li>■ Späne ölig/nass;</li> <li>■ Slippen ölig/nass.</li> </ul>
Klasse 5	Dross/Krätze (Abzug von der Schmelzbadoberfläche)
Klasse 6	Tiegelschlamm
Klasse 7	Black dross (salzhaltige Krätze)

**Klasse 1****Sauberer, kompakter sortenreiner Schrott (ohne Fe, ohne Cu, ohne Ni und frei von sonstigen Anhaftungen)**

Lagerung	möglichst trocken in dichten Behälter, z. B. Absetzmulden, Container, BigBag
Transport	Behälter wie bei der Lagerung
Kennzeichnung/ AVV	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Kennzeichnung aus der die Legierung ersichtlich ist;</li> <li>■ Abfallschlüsselnummer: AVV 100804, AVV 191203;</li> <li>■ Kein Gefahrgut.</li> </ul>
Verwertung/ Entsorgung	Klasse 1 Schrott kann direkt an der Maschine oder in Inhouse-Recyclinganlage eingeschmolzen werden bzw. wird zu externen Umschmelzwerken geliefert und dort umgearbeitet.

**Klasse 2****Schrottteile, lackiert, mit organischen Anhaftungen, Fe und Al Inserts, ohne Cu oder Ni-Verunreinigungen**

Lagerung	möglichst trocken in dichten Behälter, z. B. Absetzmulden, Container, BigBag
Transport	Behälter wie bei der Lagerung
Kennzeichnung/ AVV	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Kennzeichnung aus der die Legierung und die Verunreinigung (Oberfläche usw.) ersichtlich sind;</li> <li>■ Abfallschlüsselnummer: AVV 100804, AVV 191203;</li> <li>■ Kein Gefahrgut.</li> </ul>
Verwertung/ Entsorgung	Recycling in hierfür zugelassenen Mg-Umschmelzanlagen, bzw. bei stärkeren Verunreinigungen in Aluminium-/Stahlwerken

**Klasse 3****PCS (=post consumer scrap) verschmutzter, kompakter, öliger, nasser Schrott mit Sand, Cu- und Ni-Verunreinigungen**

Lagerung	In dichten Metallbehälter (Fässer, Mulden, Container, BigBag usw.)
Transport	Behälter wie bei der Lagerung
Kennzeichnung/ AVV	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Kennzeichnung aus der die Legierung ersichtlich ist;</li> <li>■ Abfallschlüsselnummer: AVV 191002, AVV 191203;</li> <li>■ Kein Gefahrgut.</li> </ul>
Verwertung/ Entsorgung	Aufgrund der hohen Reinheitsforderungen an HP-Legierungen, ist bis dato nur ein Recycling in Aluminiumschmelzwerken oder nach Umarbeiten zur Stahlschwefelung möglich.

**Klasse 4****Späne sauber/trocken und Späne ölig/nass, Slippen ölig/nass**

Lagerung	<p>a) trockene Späne: Lagerung in dicht verschließbaren Behältern, um den Zutritt von Feuchtigkeit zu verhindern;</p> <p>b) ölig/nasse Späne: Lagerung in dichten Behältern, aus denen die sich bildende Gase (Wasserstoff usw.) kontinuierlich entweichen können;</p> <p>c) Slippen ölig/nass: Lagerung in dichten Behältern, aus denen die sich bildenden Gase (Wasserstoff usw.) kontinuierlich entweichen können.</p>
Transport	<p>a) trockene Späne: In UN zugelassene Fässer, BigBag oder Sonderbehälter (z. B. ASP-Behälter);</p> <p>b) ölig/nasse Späne: In UN zugelassene Fässer oder Sonderbehälter (z. B. ASP-Behälter) mit Druckentlastungsventil oder Druckentlastungsfolie;</p> <p>c) Slippen ölig/nass: In UN zugelassene Fässer, BigBag oder Sonderbehälter (z. B. ASP-Behälter).</p> <p>Im Gegensatz zum Transport der Slippen müssen aufgrund der Gefahrguteinstufung der Magnesiumspäne beim Transport die Vorschriften gemäß Gefahrgutverordnung Straße (GGVS/ADR) berücksichtigt werden.</p> <p>Für die Lagerung und den Transport von Spänen wird zudem auf die BGR 204 „Umgang mit Magnesium, August 2005“ verwiesen.</p>
Kennzeichnung/ AVV	<p>Kennzeichnung, aus der die Legierung und die Verunreinigung ( Art des KSS) ersichtlich sind.</p> <p>Mg-Späne: Abfallschlüsselnummer: AVV 120103 Gefahrgut Stoffnummer: UN 1869 CAS 7439-95-4</p> <p>Mg-Slippen: Abfallschlüsselnummer: AVV 100804, AVV 120104</p>
Verwertung/ Entsorgung	<p>Die Späne müssen vor der eigentlichen Verwertung brikettiert und gegebenenfalls entölt/getrocknet werden. Durch ein Zentrifugieren oder Brikettieren der Späne vor Ort kann der KSS zurückgeführt, das Gefährdungspotential verkleinert und die Lagermenge reduziert werden.</p> <p>Die eingesetzten Anlagen müssen Brand- und Explosionsschutzanforderungen erfüllen.</p>

**Klasse 5/Klasse 6****Dross/Krätze (Abzug von der Schmelzbadoberfläche) / Tiegelschlamm**

Lagerung	trocken, in „dichten“ UN zugelassenen Behälter (z. B. 200 l Fässer, BigBag, ASP-Behälter)
Transport	Behältnisse wie bei der Lagerung
Kennzeichnung/ AVV	<p>Kennzeichnung, aus der die Legierung ersichtlich ist.</p> <p>Abfallschlüsselnummer: AVV 100811</p> <p>Anm: Wenn in Kontakt mit Wasser eine gefährliche Menge entzündlicher Gase gebildet wird, muss eine Umstufung nach AVV 100810* ( gefährlicher Abfall) erfolgen.</p>
Verwertung/ Entsorgung	Die Mg-Krätzeblöcke können abhängig vom Magnesiumgehalt ( > 50 %) direkt eingeschmolzen werden oder müssen bei geringen Mg-Gehalten vorab angereichert werden.

**Klasse 7****Black dross ( salzhaltige Krätze)**

Lagerung	trocken, in „dichten“ UN zugelassenen Behälter (z. B. 200 l Fässer, ASP-Behälter)
Transport	wie Lagerung, beim Transport jedoch luftdicht verschlossen (Druckentlastungsfolie, Ventil)
Kennzeichnung/ AVV	Kennzeichnung, aus der die Legierung und das eingesetzte Schmelz/Reinigungssalz ersichtlich ist. Abfallschlüsselnummer: AVV 100810* <small>* gefährlicher Abfall = Nachweisverfahren</small>
Verwertung/ Entsorgung	Verwertung bis dato schwer machbar. Da eine Einstufung als gefährlicher Abfall vorliegt, muss die Entsorgung über das Nachweisverfahren erfolgen. Entsorgung über Deponien und Verbrennungsanlagen.

**Tabelle 14 (Klassen 1 bis 7):** Schrottklassen für Magnesium und Magnesiumlegierungen

Quellenangabe:

1. Klassifizierung der Reststoffe: Magnesiumtaschenbuch 1. Auflage S. 51, ISBN 3-87017-264-9
2. Abfallschlüsselnummern: [www.gesetze-im-internet.de/avv](http://www.gesetze-im-internet.de/avv)
3. UN-Nummern: [www.dgg.bam.de](http://www.dgg.bam.de)
4. CAS-Nummern: [www.dguv.de/ifa/de/gestis/stoffdatenbank](http://www.dguv.de/ifa/de/gestis/stoffdatenbank)







Bilder mit freundlicher Genehmigung von:

Titelbilder (links und rechts oben sowie links unten):  
Magrec Recycling GmbH

Titelbild (rechts unten):  
TimeBreak21



