

# Herausforderungen klassischer Maschinenelemente im nicht-elektrischen Explosionsschutz

Sabrina Herbst, Thomas Guthmann und Frank Engelmann

## 1 Einleitung

Der Umgang mit brennbaren Stoffen erfordert ein hohes Maß an Sicherheit und Aufmerksamkeit. Auf diese Anforderungen wird selbst in alltäglichen Situationen wie beispielsweise bei der Nutzung eines Gaskochers- und -grills hingewiesen. Fehler in der Handhabung können zu schwerwiegenden Folgen führen.

Jedoch ist der Einsatz von brennbaren Stoffen in industriellen Prozessen und Produktionen notwendig. Unter definierten Bedingungen kann dabei der brennbare Stoff mit dem Sauerstoff aus der Luft eine explosionsfähige Atmosphäre bilden, die durch eine Zündquelle entzündet werden kann. Die Folge ist „eine plötzliche Oxidations- oder Zerfallsreaktion mit Anstieg der Temperatur, des Druckes oder beider gleichzeitig“ (ISO 8421 1987), eine Explosion. Durch Explosionen werden Menschen, Maschinen und Umwelt gefährdet. Die Zündquellen werden durch unterschiedlichste Ursachen bedingt. Am 07. Februar 2008 verursachte ein heiß gelaufenes Lager eine Explosion in einer Zuckerraffinerie, die 14 Menschen das Leben kostete (CSB 2009). Durch den Einsatz des Explosionsschutzes sollen solche Katastrophen und Unfälle verhindert werden.

Dieses Gebiet der Sicherheitstechnik wird dabei in den elektrischen und nicht-elektrischen Explosionsschutz unterschieden. Im Rahmen des nicht-elektrischen Explosionsschutzes werden Geräte und Baugruppen betrachtet, die ihre Funktion mechanisch erfüllen (ISO 80079-36 2016). Essenzielle Komponenten sind dabei die klassischen Maschinenelemente wie Lager, Rie-

men oder Kupplungen. Diese Bauteile müssen alleinstehend und in Kombination die Anforderungen einer explosionsschutzgerechten Auslegung erfüllen. Diese Bedingung kann jedoch eine Herausforderung darstellen.

## 2 Nicht-Elektrischer Explosionsschutz

### 2.1 Grundlagen

Durch die Anwendung des Explosionsschutzes soll das Auftreten einer Explosion verhindert werden und der Schutz für Tätigkeiten und Prozesse in einem explosionsgefährdeten Bereich gewährleistet sein. Aufgrund der Historie existieren drei Grundprinzipien zur Vermeidung einer Explosion, die in Deutschland unter dem Begriff des integrierten Explosionsschutzes zusammengefasst werden, siehe Abbildung 1.

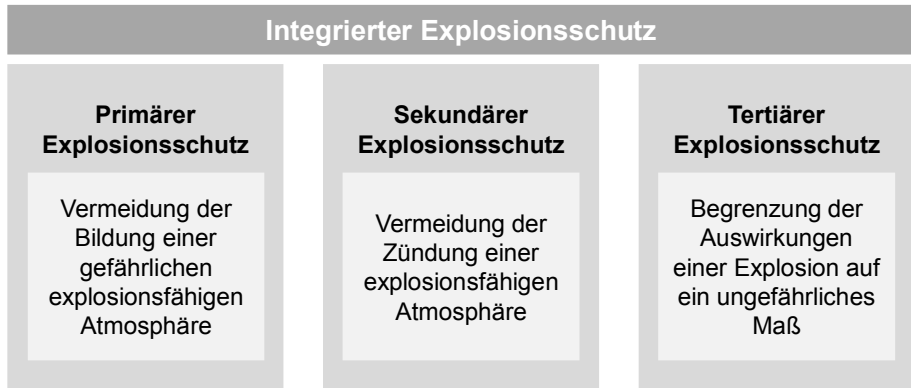


Abbildung 1: Prinzipien des integrierten Explosionsschutzes

Durch die Maßnahmen des primären Explosionsschutzes ist die Entstehung einer explosionsfähigen Atmosphäre zu verhindern beispielsweise durch den Einsatz von Inertisierung. Kann das Auftreten der explosionsfähigen Atmosphäre nicht ausgeschlossen werden, ist durch den Einsatz der Maßnahmen des sekundären Explosionsschutzes das Auftreten von Zündquellen zu vermeiden. Dies kann u.a. durch die Begrenzung von entstehenden Oberflächentemperaturen realisiert werden. Führen die Maßnahmen des sekundären Explosionsschutzes nicht zur Vermeidung einer Explosion, so sind die Prinzipien des tertiären Explosionsschutzes zu berücksichtigen. Durch Maßnahmen wie beispielsweise eine explosionsdruckfeste Bauweise werden die

Auswirkungen der Explosion auf ein ungefährliches Maß reduziert. (R. Stahl 2016)

Diese Vorgehensweise wird durch einen gesetzlichen Rahmen in Deutschland bestimmt, welcher auf Basis von europäischen Richtlinien besteht. Gemäß den Grundsätzen des Arbeitsschutzgesetzes müssen Gefahren an der Ursache bekämpft werden (ArbSchG 1996). In der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV 2015) und der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV 2010) wird diese Forderung durch die Benennung des integrierten Explosionsschutzes bestätigt. Diese Verordnungen sind u.a. die nationale Umsetzung der europäischen Betreiberrichtlinie EG-Richtlinie 1999/92/EG zur Mindestsicherheit der Arbeitnehmer im Bereich von explosionsgefährdeten Bereichen (1999/92/EG 1999).

Für Produkthersteller von explosionsgeschützten Geräten für den europäischen Markt sind die Sicherheitsforderungen in der EU-Richtlinie 2014/34/EU, der sogenannten ATEX-Richtlinie, verankert (2014/34/EU 2014). Gemäß Artikel 2 der EU-Richtlinie 2014/34/EU umfasst der Anwendungsbereich dieser Richtlinie jegliche Geräte, die eine eigene potentielle Zündquelle aufweisen können, mit der die Entzündung einer explosionsfähigen Atmosphäre möglich ist. Folglich gilt es, das Wirksamwerden von potentiellen Zündquellen zu verhindern. Dies entspricht dem Prinzip des sekundären Explosionsschutzes. Mit Hilfe von durch die Historie entstandenen spezifischen Wirkstrukturen, sogenannten Zündschutzarten, können Geräte explosionschutzgerecht konstruiert werden.

Für den elektrischen und nicht-elektrischen Explosionsschutz existieren gemeinsame und unterschiedliche Zündschutzarten. In der Zeit der industriellen Revolution bedingte die Entwicklung des Explosionsschutzes im Bergbau umfangreiche Untersuchungen zur Generierung von Schutzmaßnahmen für elektrische Geräte (Von Pidoll 2015). Demzufolge bestehen aktuell umfangreiche Standards durch Normen für die Zündschutzarten des elektrischen Explosionsschutzes.

Auch nicht-elektrische Geräte werden seit rund 150 Jahren in explosionsgefährdeten Bereich eingesetzt (Gohm 2016). Eine Definition der Anforderungen für diese Geräte erfolgt jedoch erst seit ca. 20 Jahren durch Richtlinien

und Normen. Seit Dezember 2016 stehen den Entwicklern und Konstrukteuren mit den Normen ISO 80079-36 und -37 erstmalig international geltende Normen zur Verfügung, welche die Anforderungen der spezifischen Zündschutzarten des nicht-elektrischen Explosionsschutzes darstellen und Hinweise zur zündschutzartgerechten Gestaltung beinhalten (ISO 80079-36 2016; ISO 80079-37 2016). Ein wesentlicher Unterschied zum elektrischen Explosionsschutz stellt die zwingende Durchführung einer Zündgefahrenbewertung für das nicht-elektrische Gerät durch. Dies wird durch die spezifischen Gestaltungsmöglichkeiten der Mechanik bedingt. Mit Hilfe der Zündgefahrenbewertung sollen jegliche Gefährdungen einer Zündquelle analysiert werden. Die Bestimmung von Maßnahmen führt dann zu einer explosionsschutzgerechten Gestaltung des Gerätes oder der Baugruppe.

## 2.2 Zündquellen

Die Gefahr der Entzündung einer explosionsfähigen Atmosphäre kann durch unterschiedlichste Zündquellen hervorgerufen werden. Der Norm EN 1127-1 können alle möglichen Arten von Zündquellen entnommen werden (EN 1127-1 2011). Heiße Oberflächen, mechanisch erzeugte Funken und statische Elektrizität stellen die am häufigsten auftretenden Zündquellen im nicht-elektrischen Explosionsschutz dar. Mögliche Ursachen für heiße Oberflächen sind beispielsweise sich in Relativbewegung befindliche Bauteile, Heizelemente oder erhitze Prozessmedien. Mechanisch erzeugte Funken können u.a. durch Kollisionen, das Eindringen von Fremdkörpern und schlagende oder schleifende Berührungen von Bauteilen entstehen. Statische Elektrizität kann durch unterschiedlichste Reibungsprozesse hervorgerufen werden. Diese Zündquellen können in Abhängigkeit der zu betrachtenden Geräte und Prozesse im Normalbetrieb, aber auch durch unterschiedlichste Störungen wie beispielsweise bei Schmiermittelverlust, unzureichenden Wartungen oder Bauteilversagen auftreten.

Jedoch ist nicht jede an einem Gerät auftretende Zündquelle in der Lage, eine explosionsfähige Atmosphäre zu entzünden. Zur Zündung müssen beispielsweise die für die vorherrschende explosionsfähige Atmosphäre erforderliche Mindestzündenergie oder Mindestzündtemperatur durch die Zündquelle freigesetzt werden. Zündquellen mit dieser Fähigkeit werden als potentielle

Zündquellen bezeichnet. Das Ziel des nicht-elektrischen Explosionsschutzes ist, das Wirksamwerden einer potentiellen Zündquelle zu verhindern.

### 2.3 Zündgefahrenbewertung und Zündschutzarten

Mit Hilfe der im nicht-elektrischen Explosionsschutz erforderlichen Zündgefahrenbewertung erfolgen die Analyse der potentiellen Zündquellen und die Definition von Schutzmaßnahmen unter möglicher Berücksichtigung der Zündschutzarten. Je nach angestrebtem Schutzniveau des Gerätes sind die potentiellen Zündquellen im Normalbetrieb, bei zu erwartenden Störungen und bei seltenen Störungen zu untersuchen. Ursachen einer potentiellen Zündquelle können dabei durch einzelne Maschinenelemente ausgelöst werden, wie in Tabelle 1 dargestellt.

1. Zündgefahrenanalyse		2. Bewertung der Häufigkeit des Auftretens			Begründung
Potentielle Zündquelle	Ursache	Im Normalbetrieb	Bei zu erwartender Störung	Bei seltener Störung	
Heiße Oberfläche	Reibung der Kupplungs-scheibe		x		Die Kupplung beginnt zu rutschen und erzeugt Wärme.
Heiße Oberfläche	Heiße Oberfläche eines Kugellagers		x		Bei Normalbetrieb ist die Erwärmung des Lagers vernachlässigbar.
Mechanisch erzeugte Funken	Ein schleifender Rotor bei Trockenlaufbedingungen		x		Mechanisches Schleifen des Rotors lässt sich nicht ausschließen. Ein Ausfall eines Lagers ist in Betracht zu ziehen.
Elektro-statische Entladung	Isolierte elektrisch leitende Teile	x			Isolierte leitende Teile bilden einen Kondensator, der z. B. durch elektrostatische Induktion zur gefährlichen elektrostatischen Ladung aufgeladen werden kann

Tabelle 1: Ausgewählte Beispiele potentieller Zündquellen aus der Norm ISO 80079-36

Verhindern des Entstehens der Zündquelle	Konstruktive Sicherheit „c“ – ISO 80079-37
Verhindern des Wirksamwerdens einer Zündquelle	Zündquellenüberwachung „b“ – ISO 80079-37
Verhindern des Eindringens von Ex-Atmosphäre bis zur Zündquelle	Flüssigkeitskapselung „k“ – ISO 80079-37
	Überdruckkapselung „p“ – IEC 60079-2
	Schutz durch Gehäuse „t“ – IEC 60079-31
Reduzierung der Auswirkung einer Explosion	Druckfeste Kapselung „d“ – IEC 60079-1

Abbildung 2: Zündschutzarten des nicht-elektrischen Explosionsschutzes

Zur Erfüllung der hohen Sicherheitsanforderungen des Explosionsschutzes können als Maßnahmen die Zündschutzarten des nicht-elektrischen Explosionsschutzes eingesetzt werden, siehe Abbildung 2.

Im ersten Schritt sollte immer versucht werden, das Auftreten einer potentiellen Zündquelle durch die Zündschutzart **konstruktive Sicherheit** zu verhindern. Diese Zündschutzart sieht eine explosionsschutzgerechte Konstruktion der Geräte und Bauteile durch die Anwendung ingenieurtechnischer Prinzipien vor (ISO 80079-37). Durch diese Zündschutzart kann eine Vielzahl der potentiellen Zündquellen kostengünstig und einfach vermieden werden bzw. das Risiko des Auftretens auf ein vertretbares Maß reduziert werden. Aufgrund der fehlenden eindeutigen Hinweise und Hilfsmittel zur explosionsschutzdimensionierten Dimensionierung und Auslegung, stellt die Anwendung dieser Zündschutzart jedoch eine Herausforderung dar (Herbst et al. 2016).

Der Einsatz aller weiteren Zündschutzarten erfordert allerdings die Integration zusätzlicher Bauteile und Schutzsysteme, die keine neuen Zündquellen hervorrufen dürfen. Dies bedingt ggf. zusätzlichen Bauraum, Kosten und Zeit. Des Weiteren kann für den späteren Betreiber ein erhöhter Instandhaltungs- und Wartungsaufwand die Folge sein.

## 2.4 Anforderungen

Die möglichen katastrophalen Auswirkungen einer Explosion und die vielfältigen Einsatzgebiete bedingen sehr hohe Anforderungen an den nicht-elektrischen Explosionsschutz. Explosionssgeschützte Geräte werden in unterschiedlichsten Branchen eingesetzt. Beispielsweise müssen Pumpen in der Chemieindustrie, der Öl- und Gasindustrie sowie der pharmazeutischen Industrie einsetzbar sein. Des Weiteren sind die möglichen extremen Umgebungsbedingungen zu berücksichtigen. Der Einsatz explosionsgeschützter Geräte kann in der arktischen Kälte in Sibirien, aber auch bei Sandstürmen in Middle East erforderlich sein. Daher wird durch die Norm 80079-36 ein Standardeinsatztemperaturbereich von  $-20\text{ °C}$  bis  $+60\text{ °C}$  benannt (ISO 80079-36).

Der Fokus liegt jedoch bei den sicherheitstechnischen Anforderungen. Gefahren und die damit verbundenen Risiken können nicht ausgeschlossen werden. Durch Maßnahmen ist jedoch eine Risikominimierung möglich. Kann das vorhandene Risiko auf ein vertretbares Maß reduziert werden, so ist das Grenzkrisiko erreicht und das Gerät, die Situation oder der Zustand wird als sicher angenommen. Ein Restrisiko wird trotz aller technischen Schutzmaßnahmen immer bestehen bleiben. (Neudörfer 2016, S. 142ff)

Im Bereich des Explosionsschutzes ist ein sehr geringes Grenzkrisiko anzustreben. Je nach angestrebtem Schutzniveau kann das Grenzkrisiko auch dem Restrisiko entsprechen. Generell erfordert der Explosionsschutz extrem hohe Anforderungen hinsichtlich der Sicherheit, da das Entstehen einer Explosion zu verhindern ist. (Steen 2009)

## 3 Maschinenelemente

### 3.1 Definition

Geräte und Maschinen dienen zur Erfüllung definierter Aufgaben. Sie bestehen aus einzelnen Bauteilen, die in Baugruppen zusammengefasst werden können. Einen bedeutsamen Anteil der einzelnen Bauteile stellen oftmals Maschinenelemente dar. Unter dem Begriff der Maschinenelemente werden kleinstmögliche einzelne Elemente oder Einheiten aus Elementen bezeich-

net, die gleiche oder ähnliche Funktionen in Baugruppen, Geräten, Maschinen, oder Anlagen realisieren. Zu Maschinenelemente zählen beispielsweise Schraubverbindungen, Federn, Lager, Kupplungen, Wellen und Achsen. Tabelle 2 zeigt eine mögliche Einteilung von Maschinenelementen in Abhängigkeit ihrer Funktion. (Schlecht 2015, S.20f; Wittel et al. 2015, S. 1)

<b>Einteilung der Maschinenelemente</b>	<b>Beispiele</b>
Verbindungselemente	Schraubverbindungen, Stifte, Bolzen, Nieten,
Lagerungselemente	Gleitlager, Wälzlager
Übertragungselemente	Achsen, Wellen, Zahnräder, Getriebe, Riementriebe
Dichtungselemente	Statische Dichtungen, Dynamische Dichtungen, berührungslose Dichtungen
Führungselemente für Flüssigkeiten und Gase	Rohre, Armaturen

Tabelle 2: Mögliche Einteilung der Maschinenelemente bezugnehmend zur Funktion in Anlehnung an (Wittel et al. 2015, S. 1)

### 3.2 Gestaltung und Dimensionierung

Durch die Erfüllung gleicher oder ähnlicher Funktionen entwickelten sich charakteristische Ausführungsformen, die häufig durch Normen in ihren Berechnungen, Gestaltungsvarianten und Abmaßen standardisiert sind. Durch diese Standardisierungen sind Maschinenelemente kostengünstige Bauteile aufgrund möglicher Massenfertigung.

Bei der Konstruktion von Produkten muss der Konstrukteur jedoch ein umfangreiches Wissen über die Maschinenelemente aufweisen, da er durch seine Auswahl die Gestalt und die Komplexität des Gesamtsystems festlegt. Infolgedessen werden alle weiteren Prozessschritte abgeleitet. Somit beeinflusst der Konstrukteur in erheblichem Maß u.a. den Produktions- und Montageaufwand. (Schlecht 2015, S.20f; Wittel et al. 2015, S. 1)

Ausgangsbasis der Gestaltung und der Dimensionierung sind immer die durch die Produktplanung definierten Anforderungen. Je umfangreicher und detaillierter diese Vorarbeit ist, umso zielorientierter kann das Gerät, die Maschine oder Anlage für den späteren Einsatz entwickelt werden. Beispiel-



weise unterstützen Angaben zu Einsatztemperaturen, Umgebungsbedingungen, Belastung, Beanspruchung, Lebensdauer und Kosten einen effektiven und effizienten Entwicklungsprozess explosionsgeschützter Produkte. (Schlecht 2015, S.86f; 2006/42/EG 2006)

### 3.3 Sicherheitsgerechtes Konstruieren

Bei der Auswahl und Auslegung der Maschinenelemente stehen die Faktoren Verfügbarkeit und Sicherheit im Vordergrund. Laut Schlecht wird Bauteilver-sagen oftmals durch falsche Definition der Lasten und nicht entsprechend beachtete dynamische Belastungsspektren hervorgerufen. Die genaue Bestimmung der korrekten Lastannahmen über die gesamte Produktlebenszeit kann jedoch aufgrund des breiten Spektrums an möglichen dynamischen Belastungen eine große Schwierigkeit darstellen. Dieser Fakt wird durch das Fehlen von entsprechenden Klassifizierungen oder Gruppierungen der dynamischen Belastungen verstärkt. (Schlecht 2015, S. 86f; Wittel et al. 2015, S. 44ff)

Um das Gerät und seine Funktionsfähigkeit unter den benannten Anforderungen prozesssicher zu gestalten, kann ein Ansatz die Überdimensionierung sein. Diese steht oftmals im konträren Verhältnis zu den wirtschaftlichen Anforderungen, da u.a. ein größerer Bauraum oder eine Erhöhung des Materialeinsatzes notwendig sein können. Eine ideale Konstruktion erfüllt die geforderte Lebensdauer mit minimalen Materialeinsatz und zielgerichteter Sicherheit. Die geforderte Sicherheit kann aufgrund des Einsatzgebietes, der Funktion oder der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine stark variieren. (Schlecht 2015, S. 86f)

Die geforderte Sicherheit wird vorrangig durch die zu erfüllende Aufgabe des Geräts, der Maschine oder Anlage definiert. Dabei existieren jedoch umfangreiche Gesetze und Verordnungen in Deutschland, die Mindestanforderungen zur Sicherheit definieren. Auf europäischer Ebene werden die zwingend übergreifenden zu erfüllenden Sicherheitsstandards bei Geräten und Maschinen durch die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG gefordert. Weitere Richtlinien regeln die Anforderungen für spezifische Themen wie beispielsweise die ATEX-Richtlinie 2014/34/EU für den Explosionsschutz (2014/34/EU 2014). Die festgelegten Vorgaben umfassen jedoch keine exakten Umsetzungshinweise. Die Sicherheitsziele werden sehr allgemein und abstrakt dargestellt,

da die Verantwortung zur Vorgabenumsetzung nach dem Stand der Technik beim Konstrukteur liegt. (Neudörfer 2016, S. 6ff.; 2006/42/EG 2006)

## **4 Explosionsschutzgerechte Gestaltung am Beispiel von Wälzlager**

### 4.1 Beispielauswahl

Wie bereits in Kapitel 3.1 aufgezeigt, existiert eine Vielzahl an Maschinenelementen. Für den Einsatz in explosionsgeschützten Geräten und Maschinen müssen diese jeweils explosionsschutzgerecht gestaltet werden. Aufgrund der unterschiedlichen Funktionen, Einsatzmöglichkeiten und Betriebsbedingungen müssen differenzierte Parameter und Faktoren berücksichtigt werden, um die geforderten Sicherheitsbedingungen zu erfüllen. Daher wird die explosionsschutzgerechte Gestaltung an einem ausgewählten Maschinenelement untersucht.

Ein sehr bedeutsames und vielseitig einsetzbares Maschinenelement ist das Wälzlager, welches aus diesem Grund im Folgenden als Beispiel zur Untersuchung der explosionsschutzgerechten Gestaltung dient. Ein Wälzlager ist laut DIN ISO 5593 ein „Lager mit vorherrschender Rollbewegung (und geringer Gleitbewegung) zwischen den Teilen, die Last übertragen und sich relativ zueinander bewegen und welches aus Laufbahnkörpern mit Wälzkörpern mit oder ohne Trennungs- oder Führungselementen besteht“ (ISO 5593:1999). Sie dienen zur Lagesicherung relativ zueinander beweglichen Bauteilen in Geräten und Maschinen und zur Aufnahme und Übertragung der dabei wirkenden Kräfte. Prinzipiell bestehen Wälzlager aus zwei Laufringen (Außen- und Innenring) oder Scheiben (Wellen- und Gehäusescheibe), mehreren Wälzkörpern und einem Käfig. Als Wälzkörper können Kugeln, Nadel-, Zylinder-, Kegel- oder Tonnenrollen eingesetzt werden. Des Weiteren erfolgt der Einsatz von Schmierstoffen im Wälzraum. (Decker 2018, S. 540-543; Schlecht, B. 2010, S. 125-128; Wittel et al. 2015, S. 506-521)

### 4.2 Anforderungen

Prinzipiell sind bei der Auswahl und Auslegung von Wälzlager entsprechend des Standes der Technik alle definierten Einsatzbedingungen zu berücksichtigen. Ebenso empfiehlt sich die Beachtung von einschlägigen Normen wie beispielsweise der Norm DIN ISO 281 zur Lebensdauerberechnung (ISO 281

2010). Durch die Einhaltung dieser Hinweise werden grundlegende Sicherheitsanforderungen im Sinne des allgemeinen Maschinenbaus oftmals erfüllt. Da jedoch das zugelassene Grenzkrisiko für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereich sehr gering ist, wird eine zusätzliche explosionsgeschützte Auslegung erforderlich. Das angestrebte Schutzniveau richtet sich dabei an der Gefährlichkeit des Auftretens einer Explosion an Einsatzort aus. Dadurch müssen die Geräte oder Maschinen ggf. nicht nur im Normalbetrieb, sondern auch bei jeglichen Störungen explosionsicher sein (siehe Kapitel 2.3). Mit Hilfe der Zündgefahrenbewertung müssen infolgedessen jegliche potentielle Zündquellen an Wälzlagern in den unterschiedlichen Betriebszuständen analysiert und durch Maßnahmen das Wirksamwerden der Zündquellen verhindern werden.

### 4.3 Zündquellen

Durch die Wälzbewegung zwischen den Laufringen bzw. Scheiben und den Wälzkörpern können im Normalbetrieb heiße Oberflächen, elektrostatische Aufladungen und mechanisch erzeugt Funken entstehen. Diese Zündquellen können durch das Auftreten von Lagerschäden oder -ausfällen begünstigt werden. Dies umfasst beispielsweise das Eindringen von Fremdkörpern, Schmiermittelverlust, unzulässige Belastungen, Korrosion oder Stromdurchgang. Darüber hinaus können auch Sekundärstörungen von Anschlusskonstruktionen das Wälzlager beeinflussen. Dazu zählen u.a. Wärmeeinfluss durch Gerätekombinationen, Bruch von Bauteilen, Beschädigungen von Dichtungen oder Überlast am Antrieb.

### 4.4 Parameter

Das umfangreiche Spektrum an möglichen Ursachen zur Entstehung von Zündquellen deutet bereits daraufhin, dass eine Vielzahl von Parametern zu betrachten ist. Die genaue Betrachtung der Zündquelle **heiße Oberfläche** zeigt beispielsweise, dass zum einen die Eigenerwärmung des Lagers durch Lagerreibung und Dichtungsreibung und zum anderen die mögliche Erwärmung durch die Umgebung und die Anschlusskonstruktion zu berücksichtigen ist. Beispielsweise ergibt sich eine Betriebstemperatur an den Lagern eines Vibrationsmotors bei einer mittlerer Drehzahl und Belastung ohne

zusätzliche Fremderwärmung von rund 70 °C bei einer Umgebungstemperatur von +20 °C (Schlecht 2010, S. 158). Wird der Standardeinsatztemperaturbereich der Norm 80079-36 von -20 °C bis +60 °C berücksichtigt, so können Temperaturen von mindestens 110°C entstehen (ISO 80079-36). Werden noch Fremderwärmungen und Sicherheitsabschläge berücksichtigt, ist die Einhaltung einer maximalen Oberflächentemperatur von unter 135 °C nicht gewährleistet. Dieser Wert wird im Explosionsschutz oftmals angestrebt, da sich viele explosionsfähige Gasatmosphären ab 135 °C entzünden können und eine Explosion auslösen (ISO 80079-36).

Neben der Eigen- und Fremderwärmung im Normalzustand sind auch die möglichen Störungen zu berücksichtigen. Ein nicht auszuschließender Faktor stellen dabei Verschleißerscheinungen dar. Beispielsweise können Mikrorisse in den Oberflächen der Laufringe bzw. Scheiben und Wälzkörpern entstehen, die zu Schälungen führen. Diese Grübchenbildungen können Lagerausfälle bedingen. Abbildung 3 zeigt unterschiedliche Pittingschäden. (Wittel et al. 2015, S. 534f)



Quelle: Eigene Aufnahme in der Antriebsgruppe INNOK

Abbildung 3: Entwicklungsstadien von Pittingschäden

## 4.5 Lösungsansätze

### 4.5.1 Zündschutzart „Konstruktive Sicherheit“

Wie Kapitel 2.3 zu entnehmen ist, sollte im ersten Schritt für die explosionschutzgerechte Auslegung im nicht-elektrischen Explosionsschutz immer versucht werden, die Zündschutzart **konstruktive Sicherheit** anzuwenden. Durch die Auswahl und Auslegung der Wälzlager kann der Explosionsschutz generiert werden.

Die Vorgehensweise des allgemeinen Maschinenbaus zur konstruktiven Gestaltung von Wälzlagern sieht im ersten Schritt die Analyse der wirkenden Belastungen auf das Lager vor. Im Anschluss kann der Konstrukteur entsprechend der Anforderungen und Funktionen mit Hilfe von Auswahllisten eine geeignete Bauform des Wälzlagers auswählen (Schlecht 201, S. 166). Daraufhin erfolgen die Ermittlung der zulässigen Form- und Lageabweichungen, die Auswahl der Schmierstoffe und Dichtungen und die Auslegung der Anschlusskonstruktion. Bei diesen Arbeitsschritten sollen die Anforderungen des Explosionsschutzes bzgl. der Entstehung von potentiellen Zündquellen Berücksichtigung finden. Aufgrund der spezifischen Konstruktionen müssen individuelle Betrachtungen erfolgen. Final ist die Lebensdauerberechnung durchzuführen. Hier müssen die Einflussfaktoren des Verschleißes beachtet werden. Bei den meisten Geräten und Maschinen erfolgt eine dynamische Beanspruchung. Daher wird oftmals die nominelle Lebensdauerwahrscheinlichkeitsberechnung mit einer Auswahlwahrscheinlichkeit von 10 % genutzt. Aufgrund des geringen Grenzzrisikos im Explosionsschutz ist diese Annahme jedoch zu überdenken. Daher kann durch Nutzung der erweiterten Lebensdauer gemäß der Norm ISO 281 die Zuverlässigkeit von 90 % bis auf 99,95 % angepasst werden. Jedoch verringert sich dadurch der Faktor des Lebensdauerbeiwertes für die Zuverlässigkeit von 1 auf 0,077. Veranschaulicht bedeutet diese Anpassung, dass statt nach 10.000 Betriebsstunden alle Wälzlager nach 770 Betriebsstunden ausgetauscht werden müssen, um die gewünschte Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Dies trägt zur Folge dass ein intensiver Wartungs- und Instandhaltungsaufwand erforderlich ist.

#### 4.5.2 Zündschutzart „Zündquellenüberwachung“

Ein weiterer Lösungsansatz stellt die Zündschutzart **Zündquellenüberwachung** dar. Mit Hilfe von geeigneten Sensoren können die Parameter, die zum Wirksamwerden der potentiellen Zündquelle führen, überwacht werden. Darüber hinaus ist die automatische Einleitung von Gegenmaßnahmen möglich.

Bei dieser Zündschutzart sind jedoch zusätzliche Bauteile und ggf. auch Bauraum erforderlich. Des Weiteren müssen die Komponenten auch die Anforderungen des Explosionsschutzes gemäß der Norm ISO 80079-37 erfüllen.

Ebenso sind die Parameter zu charakterisieren, die zu einer Zündquelle führen können. Das kann mit Hilfe von Temperatur-, Schwingungs- oder Drehzahlüberwachung möglich sein. Allerdings kann auch die Veränderung anderer Parameter zu einer Zündquelle führen.

## 5 Fazit und Ausblick

Beide Lösungsansätze zeigen mit Vor- und Nachteilen Möglichkeiten zur explosionsschutzgerechten Gestaltung von Wälzlagern auf. Jedoch bestehen bei beiden Varianten Optimierungspotentiale. Der Fokus der Betrachtungen liegt auf dem Zustand des Wälzlagers. Die Folge des Betriebes sind unterschiedliche Verschleißerscheinungen, die Einfluss auf das Entstehen und Wirksamwerden potentieller Zündquellen haben. Somit muss zur Optimierung der explosionsschutzgerechten Auslegung von Wälzlagern mit Hilfe von umfangreichen Studien der Einfluss der Verschleißerscheinungen untersucht werden. Beispielweise könnte die Anpassung des Lebensdauerbeiwertes für die Zuverlässigkeit in dem dargestellten Umfang nicht notwendig sein, da der Einfluss von anfangenden Pittingschäden für die explosionsschutzgerechte Gestaltung nicht relevant ist. Jedoch wäre aber auch eine mögliche Erhöhung der Eigenerwärmung durch anfangende Pittingschäden vorstellbar. Eine Betrachtung, die eigens für diese explosionsschutzgerechte Auswahl und Gestaltung von Wälzlagern erfolgte, kann der Literatur derzeit nur in Ansätzen entnommen werden. Durch neue und umfangreiche Erkenntnisse können die Entwicklungsprozesse für explosionsschutzgerechte Konstruktionen auf signifikante Art und Weise optimiert werden.

Des Weiteren ist diese Betrachtung auch für andere klassische Maschinenelemente durchzuführen. Dadurch können Hilfsmittel entwickelt werden, welche die Anwendung der kostengünstigen Zündschutzart **konstruktive Sicherheit** vereinfachen. Dann können Konstrukteure mechanische Geräte und Baugruppen effizient und effektiv explosionsgeschützt gestalten.

## Literaturverzeichnis

- 1999/92/EG 1999: Richtlinie 1999/92/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 1999 über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können (Fünfzehnte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG)
- 2006/42/EG 2006: Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung)
- 2014/34/EU 2014: Richtlinie 2014/34/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (Neufassung)
- ArbSchG 1996: Bundesrepublik Deutschland. Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG), 7. August 1996.
- BetrSichV 2015: Bundesrepublik Deutschland. Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung - BetrSichV), 3. Februar 2015
- CSB 2009: Investigation Report Sugar Dust Explosion and Fire.  
<https://www.csb.gov/userfiles/file/imperial%20sugar%20report%20final%20updated.pdf>,  
 veröffentlicht September 2009, abgerufen am 16.3.2019
- Decker, K.-H. 2018: Maschinenelemente bearbeitet von Rieg, F. Weidermann, F., Engelken, G., Hackenschmidt, R., Alber-Laukant, B., München: Carl Hanser Verlag - ISBN: 978-3-446-45029-5
- EN 1127-1 2011: DIN EN 1127-1 Explosionsfähige Atmosphären –Explosionsschutz – Teil 1: Grundlagen und Methodik; Deutsche Fassung EN 1127-1:2011
- GefStoffV 2010: Bundesrepublik Deutschland. Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung - GefStoffV), 26. November 2010.
- Gohm, W. 2016: Explosionsschutz in der MSR-Technik. Berlin/Offenbach: VDE Verlag GmbH, S. 199 – ISBN: 978-3-8007-3943-1
- Herbst, S.; Engelmann, F.; Grote, K.-H. 2016: Anforderungen des Nicht-Elektrischen Explosionsschutzes im Produktentwicklungsprozess. In: Stelzer, Ralph (Hrsg.): EntwerfenEntwickelnErleben. S. 113-126 Dresden: w.e.b. Universitätsverlag & Buchhandel, – ISBN:978-3-95908-062-0
- ISO 218 2010: DIN ISO 281 Wälzlager – Dynamische Tragzahlen und nominelle Lebensdauer (ISO 281:2007)
- ISO 5593 1999: DIN ISO 5593 Wälzlager, Begriffe und Definitionen (ISO 5593:1997)
- ISO 8421 1987: ISO 8421 Part 1 Fire protection; Vocabulary; Part 1 : General terms and phenomena of fire [Brandschutz; Begriffe; Teil 1: Allgemeine Benennungen und Branderscheinungen]

- ISO 80079-36 2016: EN ISO 80079-36 Explosionsfähige Atmosphären – Teil 36: Nicht-elektrische Geräte für den Einsatz in explosionsfähigen Atmosphären – Grundlagen und Anforderungen (ISO 80079-36:2016); Deutsche Fassung EN ISO 80079-36:2016
- ISO 80079-37 2016: EN ISO 80079-37 Explosionsfähige Atmosphären - Teil 37: Nicht-elektrische Geräte für den Einsatz in explosionsfähigen Atmosphären - Schutz durch konstruktive Sicherheit "c", Zündquellenüberwachung "b", Flüssigkeitskapselung "k" (ISO 80079-37:2016); Deutsche Fassung EN ISO 80079-37:2016
- Neudörfer, A. 2016: Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte. Methoden und systematische Lösungssammlungen zur EG-Maschinenrichtlinie, 7. Aufl., Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg - ISBN 978-3-662-49818-7
- R.Stahl AG 2016: Grundlagen Explosionsschutz.  
[https://www.rstahl.com/fileadmin/Dateien/download\\_publikationen/ex-grundlagen-explosionsschutz-rstahl-b-de.pdf](https://www.rstahl.com/fileadmin/Dateien/download_publikationen/ex-grundlagen-explosionsschutz-rstahl-b-de.pdf), veröffentlicht November 2016, abgerufen am 16.3.2019
- Schlecht, B. 2010: Maschinenelemente 2 , München: Pearson Studium - ISBN 978-3-8273-7146-1
- Schlecht, B. 2015: Maschinenelemente 1, 2. Aktualisierte Auflage, Hallbergmoos: Pearson Studium - ISBN 978-3-82734-268-2
- Steen, H. 2009: Handbuch des Explosionsschutzes, Weinheim [u.a.]: Wiley-VCH,S.714-723 - ISBN 978-3-527-62499-7.
- Von Pidoll, U. 2015: Explosionsschutz in der CTR und Weiterführung der Aufgaben in Ihren Nachfolgeorganisationen. In: PTBbericht Ex-7, August 2015, S.9f – ISBN: 978-3-95606-192-9
- Wittel, H.; Muhs, D.; Jannasch, D.; Voßiek, J., 2015: Roloff/Matek Maschinenelemente, 22., überarbeitete und erweiterte Auflage, Wiesbaden: Springer Vieweg, Springer Fachmedien Wiesbaden - ISBN: 978-3-658-09081-4

## Kontakt

Dr.-Ing. Sabrina Herbst  
Dr.-Ing. Thomas Guthmann  
Prof. Dr.-Ing. habil. Frank Engelmann  
Ernst-Abbe-Hochschule Jena  
Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen  
Professur Konstruktion für Wirtschaftsingenieure  
Carl-Zeiss-Promenade 2  
07745 Jena  
[www.wi-konstruktion.eah-jena.de](http://www.wi-konstruktion.eah-jena.de)