

# **Explosionsschutz an Becherelevatoren der Futtermittelindustrie**

## **Positionspapier**

Erstellt durch:

Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe  
INBUREX Consulting GMBH

Abgestimmt mit:

DGUV Sachgebiet Explosionsschutz

Version 2: Juli 2025

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung und Anwendungsbereich .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Gefährdungsbeurteilung von Elevatoren, die Futtermittel der Gruppe B transportieren .....</b>	<b>6</b>
2.1.	Besonderheiten von Futtermitteln .....	6
2.1.1.	Partikelgrößen .....	6
2.1.2.	Flüssigkeitszugabe nach der Vermahlung .....	6
2.2.	Risikobetrachtung bezüglich der Eigenschaften der Futtermittel der Gruppe B .....	7
2.3.	Gefährdungsbeurteilung der potenziellen Zündquellen .....	7
2.4.	Rahmenbedingungen für die Gefährdungsbeurteilung .....	10
2.4.1.	Anforderungen bezüglich der Eigenschaften der transportierten Futtermittel .....	10
2.4.2.	Anforderungen bezüglich der Auslegung dieser Becherelevatoren .....	11
2.4.3.	Anforderungen bezüglich der Konstruktion dieser Becherelevatoren.....	11
2.4.4.	Anforderungen bezüglich der technischen Ausrüstung dieser Becherelevatoren.....	12
2.4.5.	Anforderungen bezüglich der Wartung und Instandhaltung dieser Becherelevatoren .....	13
2.4.6.	Anforderungen an die Ausführung der sicherheitsrelevanten MSR-Überwachungen .....	13
2.4.6.1.	Schieflaufüberwachung .....	13
2.4.6.2.	Schlupf- oder Drehzahlüberwachung.....	14
2.4.6.3.	Temperaturüberwachungen .....	14
2.4.7.	Funktionale Sicherheit der sicherheitsrelevanten MSR-Abschaltungen .....	14
<b>3.</b>	<b>Organisatorische Maßnahmen.....</b>	<b>15</b>
<b>4.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>16</b>
<b>Anhang A</b>	<b>Besonderheiten von Futtermitteln .....</b>	<b>18</b>
A.1.	Brennzahl.....	18
A.2.	Bewertung der sicherheitstechnischen Kenndaten der Futtermittel im Zusammenhang mit der Staubkonzentration im Elevator .....	18
<b>Anhang B</b>	<b>Tabellarische Zusammenstellung der potenziellen Zündquellen, der erforderlichen Schutzmaßnahmen und der daraus resultierenden Eignung für die Zone .....</b>	<b>20</b>
B.1.	Bewertung von geräteeigenen Zündgefahren von Becherelevatoren .....	21
B.2.	Bewertung von eingetragenen und von außen einwirkenden Zündquellen für Becherelevatoren.....	26
<b>Anhang C</b>	<b>Verwendete Unterlagen und Literatur .....</b>	<b>27</b>
C.1.	Projektbezogene Unterlagen.....	27
C.2.	Gesetze, Regeln und Verordnungen (GRV) .....	27

## 1. Einleitung und Anwendungsbereich

Elevatoren werden hinsichtlich ihrer Fördertechnik in Becherelevatoren (z.B. Gurtbecherwerke), Winkelbecher-, Pendelbecherwerke und Wellkantenförderer unterschieden. Dieses branchenspezifische Positionspapier behandelt die Anforderungen an die Ausführung von Becherelevatoren ausschließlich beim Transport von Futtermittelmischungen, deren Rohstoffen und Zwischenprodukten.

Für verschiedenste Futtermittel wurden in 2024 von der BGN deren Eigenschaften sowie deren sicherheitstechnische Kenndaten im Labor ermittelt. Die Ergebnisse sind im Bericht „Bestimmung der sicherheitstechnischen Kennwerte für Futtermittelmischungen, Zwischenprodukten und deren Rohwaren“ zusammengestellt [1]. Für die bei diesen Untersuchungen ermittelte Futtermittelmischung mit dem höchsten Anteil an Staub wurde in einem großtechnischen Versuch die Staubkonzentration im Becherelevator während des Betriebs gemessen. Die Ergebnisse finden sich im Bericht „Staubkonzentrationsmessungen im Elevator der BGN/FSA in Kappelrodeck“ [2]. Beide Untersuchungen sind Grundlage dieses Positionspapiers.

Je nach untersuchtem Futtermittel sind 20 – 60 % der Gesamtfraktion < 500 µm, 10 – 40 % < 250 µm, 9 – 20 % < 125 µm und 4 – 20 % < 63 µm.

Dementsprechend handelt es sich überwiegend um grobe Produkte 20 – 60 % der Gesamtfraktion < 500 µm, 10 – 40 % < 250 µm, 9 – 20 % < 125 µm und 4 – 20 % < 63 µm. Die Bildung der explosionsfähigen Atmosphäre (g.e.A.) wird in diesem Fall somit nur von einem kleineren Teil der Gesamtfraktion gebildet.

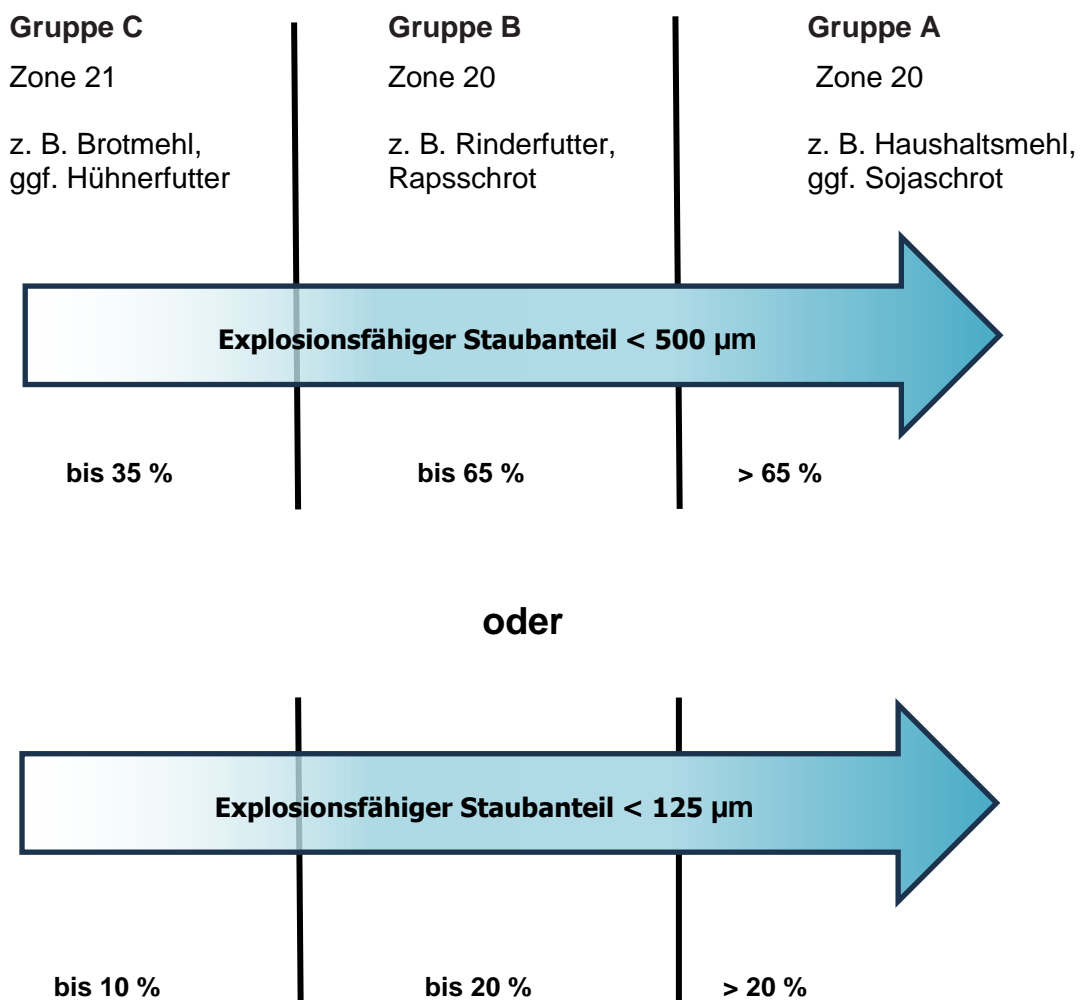
Entsprechend der EX-RL Beispielsammlung 3.3.4.4.1 ist ein Elevator, der Produkte mit einem Staubanteil größer als 3 % transportiert, in eine Zone 20 im Inneren einzuteilen.

Im Technical Report DIN CEN/TR 16829 vom September 2019 werden im Kapitel 5.2.1 überwiegend grobe Produkt mit einem hohen Anteil an Feinstmaterial (Anteil an explosionsfähigem Staub in der Gesamtfraktion) einer Zone 20 und grobe Produkte mit sehr begrenztem Anteil an Feinstmaterial der Zone 21 zugeordnet. Feinstmaterial wird dort definiert als Partikel mit einer Größe von weniger als 100 µm.

In Anlehnung an diesen Technical Report und aufgrund der Untersuchungsergebnisse der BGN [1] und [2] werden die Futtermittel für die in diesem Positionspapier beschriebene Risikobeurteilung von Elevatoren je nach Anteil an Feinstmaterial in folgende Futtermittel-Gruppen eingeteilt:

- **Futtermittel-Gruppe A (Zone 20):**
  - homogene staubförmige explosionsfähige Futtermittel wie z.B. Haushaltsmehl, deren Korngröße ausschließlich  $< 500 \mu\text{m}$  ist
  - grobe Futtermittel mit einem hohen Anteil an explosionsfähigen Staub von  $> 65 \%$  der Partikel  $< 500 \mu\text{m}$  oder  $> 20 \%$  der Partikel  $< 125 \mu\text{m}$ .
  
- **Futtermittel-Gruppe B (Zone 20):**
  - grobe Futtermittel (in der Regel  $> 1.000 \mu\text{m}$ ) mit einem hohen Anteil an explosionsfähigen Staub, wenn  $> 35 \%$  - max.  $65 \%$  der Partikel  $< 500 \mu\text{m}$  oder  $> 10 \%$  - max.  $20 \%$  der Partikel  $< 125 \mu\text{m}$  wie z.B. viele Futtermittelmischungen
  
- **Futtermittel-Gruppe C (Zone 21):**
  - grobe Futtermittel (in der Regel  $> 1.000 \mu\text{m}$ ) mit einem sehr begrenzten Anteil an explosionsfähigen Staub, wenn  $\leq 35 \%$  der Partikel  $< 500 \mu\text{m}$  oder  $\leq 10 \%$  der Partikel  $< 125 \mu\text{m}$  wie z.B. einige Futtermittelmischungen für Hühner

Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht die Einteilung in die Futtermittel-Gruppen:



Die gewählte Abgrenzung der Anteile an explosionsfähigem Staub der Futtermittel-Gruppen fußt auf den derzeit zur Verfügung stehenden Erkenntnissen, die aus den oben genannten Untersuchungen der BGN gewonnen werden konnten. Sie berücksichtigt bereits die Schwankungsbreite des Staubanteils aufgrund der Probenahme, der Messgenauigkeit, etc. und ist deshalb als fester Grenzwert zu verstehen. Zur Ermittlung der Korngrößenverteilung ist eine Siebanalyse (Luftstrahlsieb) nach DIN 66154 durchzuführen.

Nach dem aktuellen Regelwerk (Explosionsschutz-Regeln (Ex-RL) der DGUV-R 113-001) ist bei Becherelevatoren für Zone 20 der Einsatz von konstruktiven Explosionsschutz verbindlich vorgeschrieben, wenn Zündquellen im Normalbetrieb, bei üblichen Betriebsstörungen oder seltenen Betriebsstörungen nicht sicher ausgeschlossen werden können.

Berücksichtigt man die besonderen Charakteristika der Futtermittel-Gruppe B, ergibt sich auf Grundlage der aktuellen Untersuchungen aus der Risikobewertung der BGN, dass trotz einer Zone 20 im Becherelevator das Vermeiden von Zündquellen als Schutzkonzept ausreichend sein kann und ein Verzicht auf konstruktiven Ex-Schutz unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen vertretbar ist. Die im Becherelevator vorgefundenen niedrigen Staubkonzentrationen (obgleich zeitlich überwiegend oberhalb der UEG) führen dazu, dass die optimale Konzentration für eine Explosion nicht erreicht wird und bestimmte potenzielle Zündquellen nicht zündwirksam sind.

In diesem Positionspapier wird branchenspezifisch für diese Futtermittel-Gruppe B in der nachfolgenden Gefährdungsbeurteilung herausgearbeitet, welche technischen und organisatorischen Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit Zündquellen vermeidende Maßnahmen ein ausreichendes Schutzniveau vor Explosionen an Becherelevatoren gewährleisten. Dazu ist es erforderlich, dass auch seltene Störungen rechtzeitig erkannt und nicht zu zündwirksamen Zündquellen werden können. Becherelevatoren, die so ausgerüstet sind, können Futtermittel der Gruppe B und C fördern.

Die hier beschriebenen Festlegungen für Becherelevatoren der Zone 20 ohne konstruktiven Explosionsschutz gelten **ausschließlich** nur für grobe Futtermittel mit einem Anteil an explosionsfähigen Partikeln in den Grenzen wie für Futtermittel-Gruppe B beschrieben. Diese Risikobewertung ist ausdrücklich **nicht übertragbar auf andere Branchen**. Die alleinige Kenntnis des Anteils an explosionsfähigem Staub von Produkten reicht ohne die Bewertung von dessen sicherheitstechnischen Kenndaten nicht zur Beurteilung des Explosionsrisikos in Becherelevatoren aus.

**Hinweis:**

Für den Transport von Futtermitteln der Gruppe A wie z. B. Weizenmehl, Roggenmehl, Weizengrieskleie, aber auch anderer staubförmiger Produkte wie Stärke, Malzstaub, etc. reichen Zündquellen vermeidende Maßnahmen als Schutzkonzept bei den derzeit bekannten Bauarten grundsätzlich nicht aus. Hier sind Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes umzusetzen.

Selbst eine starke Aspiration am Kopf und /oder Fuß führt nicht zu einer Absenkung der Staubkonzentration im Inneren des Elevators, sondern lediglich zu einem Unterdruck. Sie wirkt somit nicht zonenreduzierend. Diese Erkenntnis wurde bei der FSA GmbH über viele Jahre aus weit über 100 Explosionsversuchen mit verschiedenen Feinstäuben gewonnen. Die Ergebnisse sind öffentlich zugänglich und in den entsprechenden Berichten zu finden.

## **2. Gefährdungsbeurteilung von Elevatoren, die Futtermittel der Gruppe B transportieren**

### **2.1. Besonderheiten von Futtermitteln**

#### **2.1.1. Partikelgrößen**

Futtermittel werden nur grob vermahlen, d. h. üblicherweise wird in einer Hammermühle ein 2 mm – 4 mm Sieb verwendet, im Walzenstuhl beträgt der Abstand der Walzen mind. 0,5 mm. So entstehen Futtermittelmischungen mit einem hohen Anteil an groben Partikeln. Diese Futtermittelmischungen enthalten aber auch einen signifikanten Anteil an explosionsfähigen Fraktionen. Je nach untersuchtem Futtermittel der Gruppe B sind 20 – 60 % der Gesamtfraktion < 500 µm, 10 – 40 % < 250 µm, 9 – 20 % < 125 µm und 4 – 20 % < 63 µm. Die Bildung der explosionsfähigen Atmosphäre und deren Zündempfindlichkeit wird in diesem Fall somit nur von einem kleineren Teil der Gesamtfraktion beeinflusst.

#### **2.1.2. Flüssigkeitszugabe nach der Vermahlung**

Teilweise erfolgt nach der Vermahlung der Futtermittel im Mischer oder im nachgeschalteten Durchlaufmischer eine Flüssigkeitszugabe (Öl, Melasse, Wasser, etc.). Diese Flüssigkeiten können die feineren Fraktionen des explosionsfähigen Staubs binden. Eine Abnahme der Staumentwicklung ist nach den Untersuchungen der BGN feststellbar. Sie korreliert aber nicht mit der Endfeuchte des Futtermittels, sondern ist produktspezifisch. Die Untersuchungen der BGN haben ergeben, dass Futtermittelmischungen durchaus eine vergleichbare Staumentwicklung wie Weizenmehl Typ 550 aufweisen können.

Einen Einfluss auf die Güte der Bindung von Staub hängt abgesehen von der Menge der Flüssigkeitszugabe auch davon ab, ob Flüssigkeiten auf Wasser- oder Ölbasis eingesetzt werden. Allerdings werden nicht allen Futtermittelmischungen Flüssigkeiten zugesetzt. Dies ist rezeptabhängig.

Beim Transport von Futtermittel der Gruppe B ist aufgrund der Untersuchungen der BGN davon auszugehen, dass im Elevator trotz der Flüssigkeitszugabe ständig gefährliche explosionsfähige Atmosphäre (g.e.A.) vorhanden und somit eine Zone 20 anzusetzen ist.

## 2.2. Risikobetrachtung bezüglich der Eigenschaften der Futtermittel der Gruppe B

Nach Ex-RL Beispielsammlung gehören Elevatoren „zu den Anlagenteilen, die das höchste Explosionsrisiko aufweisen. Aufgrund der Bauart kann g. e. A in Elevatoren nur in seltenen Fällen sicher vermieden werden. Explosionen können aufgrund der langgestreckten Konstruktion größere Auswirkungen als in kubischen Behältern zur Folge haben. Somit ist bei der Beurteilung der Explosionsrisiken, der Auswahl und Umsetzung der Explosionsschutzmaßnahmen besonders sorgfältig vorzugehen.“

Auf Grund der Spezifika der Prozesse in der Futtermittelindustrie können einige Besonderheiten bei der Risikobewertung berücksichtigt werden.

Bei Malz- und Mehlstaub liegen die Staubkonzentrationen im Becherelevator zeitlich überwiegend im Bereich der Konzentrationen, für die der höchste Druckaufbau, die höchste Staubexplosionskonstante und die niedrigste MZE im Labor ermittelt wurden.

Bei den hier untersuchten Futtermitteln der Gruppe B führen die im Becherelevator vorgefundenen niedrigen Staubkonzentrationen im Becherelevator (obgleich oberhalb der UEG) dazu, dass die im Labor bestimmten Worstcase-Kennwerte bezüglich der MZE,  $p_{max}$  und  $K_{ST}$ -Wert in der Realität nicht erreicht werden.

Im Anhang A sind die Charakteristika der Futtermittel-Gruppe B in Abhängigkeit der Staubkonzentration ausführlich beschrieben.

## 2.3. Gefährdungsbeurteilung der potenziellen Zündquellen

Von den nach DIN EN 1127-1 insgesamt 13 Arten von Zündquellen kommen für die Becherelevatoren für die Förderung von Futtermitteln folgende in Betracht:

1. Heiße Oberflächen
2. Mechanisch erzeugte Funken
3. Chemische Reaktionen, einschließlich Selbstentzündung von Stäuben. Glimmbrände
4. Elektrische Anlagen
5. Statische Elektrizität
6. Flammen und heiße Gase
7. Blitzschlag

**Heiße Oberflächen** treten als potenzielle Zündquelle bei elektrischen Betriebsmitteln und bei heiß gelaufenen Lagern auf. Als Hilfestellung zur Bewertung der Zündgefahr durch Lager kann die DIN EN ISO 80079-37 herangezogen werden. Im Kapitel 5.7 dieser Norm sind entsprechende Kriterien aufgeführt, welche zu berücksichtigen sind. Im „Handlungsleitfaden Explosionsschutz für Betriebe der Getreideverarbeitung und Futtermittelherstellung“ der BGN [3] sind diese ausführlich beschrieben.

Auch Reibvorgänge, wie z.B. zwischen Gurt und Gehäuse oder Gurtrolle, führen zu zündwirksamen heißen Oberflächen und sind durch geeignete Maßnahmen wie Schief- und Drehzahlüberwachung zu vermeiden (siehe Kap. 2.4.6, 2.4.7 und Anhang B Nr. 1.1).

Zu den **mechanisch erzeugten Funken** gehören Schlag-, Schleif- und Reibfunken. Sie treten z.B. beim Eintrag eines Fremdkörpers in den Becherelevator oder beim Schlagen/Reiben eines Bechers am Gehäuse oder bei einem Gurtriss auf.

Die Zündwirksamkeit von mechanisch erzeugten Funken für Futtermittel der Gruppe B lässt sich durch das in der **IVSS „Staubexplosionsschutz an Maschinen und Apparaten“** (ISSA Prevention Series No. 2033 (G)) beschriebene Verfahren bewerten:

*„Um die Zündfähigkeit<sup>1</sup> von mechanisch erzeugten Funken untereinander und mit der Mindestzündenergie von Stäuben vergleichen zu können, ordnet man ihnen eine elektrische Äquivalentenergie  $E_0$  zu. Dies ist die Energie einer zeitlich gedehnten Kondensatorentladung, die die gleiche Zündwirksamkeit wie ein vorgegebener mechanisch erzeugter Funke hat.*

*Zum Beurteilen der Zündfähigkeit von mechanisch erzeugten Funken ist die Kenntnis der Mindestzündtemperatur MZT und der Mindestzündenergie MZE des jeweiligen Staubes erforderlich. Liegt die Mindestzündenergie des Staubes oberhalb dieser elektrischen Äquivalentenergie, so ist eine Entzündung nicht möglich. Mechanisch erzeugte Funken können Stäube mit niedriger Mindestzündtemperatur (z.B. MZT = 300°C) selbst dann entzünden, wenn sie eine hohe Mindestzündenergie aufweisen. Haben die Stäube dagegen eine hohe Mindestzündtemperatur (z.B. MZT = 600°C), dann können sie nur entzündet werden, wenn sie eine sehr niedrige Mindestzündenergie besitzen.“*

Da die Äquivalentenergie von Reibfunken höher als von Schlag- und Schleiffunken ist, werden bei der nachfolgenden Bewertung nur diese als Worstcase betrachtet.

Für mechanische Reib-Funken, die durch Stahl erzeugt werden, ergeben sich folgende Wertepaare (Index Ex-Tools v. 3.1.0):

- $E_0 = 10 \text{ mJ}$ ; MZT = 470°C
- $E_0 = 30 \text{ mJ}$ ; MZT = 430°C
- $E_0 = 50 \text{ mJ}$ ; MZT = 420°C
- $E_0 = 100 \text{ mJ}$ ; MZT = 400°C
- $E_0 = 200 \text{ mJ}$ ; MZT = 380°C
- $E_0 = 300 \text{ mJ}$ ; MZT = 370°C

Die niedrigste Zündtemperatur der untersuchten Futtermittelmischungen beträgt 370°C. Die Äquivalentenergie der mechanisch erzeugten Reib-Funken liegt somit maximal bei 300 mJ. Die von der BGN im Labor bestimmten MZE´en der untersuchten Futtermittel der Gruppe B sind bei optimaler Konzentration teilweise niedriger und somit theoretisch zündwirksam.

Aus den Ergebnissen der von der BGN durchgeführten Konzentrationsmessungen an Elevatoren kann abgeleitet werden, dass überwiegend die Konzentrationen deutlich unter den für eine

---

<sup>1</sup> gemeint ist hier die Zündwirksamkeit

Explosion optimalen Konzentrationen liegen. Daraus ergibt sich, dass die real zu erwartenden Zündenergien weit oberhalb von 300 mJ liegen werden.

Somit sind die mechanisch erzeugten Funken für die Futtermittel-Gruppe B eher nicht zündwirksam, aber die Gefahr ist nicht gänzlich auszuschließen. Diese Funken können außerdem Glimmnester erzeugen. Eine Gefährdungsbeurteilung zum Brandschutz und daraus abgeleitete Maßnahmen sind nicht Gegenstand dieses Positionspapiers.

Das Entstehen von mechanisch erzeugten Funken lässt sich weitgehend durch Schiefelauf- und Drehzahlüberwachung vermeiden (siehe Kap. 2.4.6, 2.4.7 und Anhang B Nr. 1.1).

Eine **Selbstentzündung** von Futtermitteln ist eine potenzielle Gefahr. Diese entstehen oft an heißen Oberflächen. Hier sind insbesondere die Lager an den Elevatorfüßen zu beachten, an denen heiße Oberflächen aufgrund des Versagens eines Lagers auftreten können. Zahlreiche Explosionen lassen sich nach den Erfahrungen der BGN auf diese Ursache zurückführen. Mit einer Temperaturüberwachung der Lager am Elevatorfuß kann diese potenzielle Zündquelle vermieden werden.

Der Eintrag von **Glimmnestern in den Elevator** ist bei Futtermittel verarbeitenden Betrieben nicht sehr wahrscheinlich.

In der Regel werden potenzielle Glimmnester durch die vorgeschalteten Verfahrensschritte abgetrennt. Eine Abscheidung von Glimmnestern nach der Entladung der Futtermittel, d.h. vor den Annahmeelevatoren, ist allerdings eher selten gegeben. Durch die Anforderungen an die Qualität der Rohwaren wie Feuchte, Käferbefall, etc. ist die Gefahr der Bildung eines Glimmnestes aber gering.

Bei Futtermitteln, deren Brennzahl  $< 3$  ist, ist die Wahrscheinlichkeit des Entstehens von Glimmnestern reduziert. Bei einer niedrigen Brennzahl ( $BZ < 3$ ) kann es aber trotzdem zu Bränden kommen, da die apparatespezifischen Details, wie z.B. die Luftgeschwindigkeit, durchaus von den Laborbedingungen abweichen können, unter denen die Brennzahl ermittelt wurde. Eine Gefährdungsbeurteilung zum Brandschutz und daraus abgeleitete Maßnahmen sind nicht Gegenstand dieses Positionspapiers.

**Elektrische Anlagen** können zündwirksame Funken und **heiße Oberflächen** erzeugen. Die elektrischen Geräte müssen für die nach GefStoffV festgelegte Zone die erforderlich Kategorie nach RL 2014/34 EU haben. Die Oberflächentemperatur von elektrischen Betriebsmitteln ist zu begrenzen. Die max. zulässige Temperatur beträgt  $2/3$  der Zündtemperatur in °C. Außerdem ist die Glimmtemperatur abzüglich eines Sicherheitsabstands von 75 K zu unterschreiten.

Von den **elektrostatischen Zündquellen** sind für diese Futtermittel Funkenentladungen zündwirksam, die durch Erdung zu vermeiden sind. Das Entstehen von Gleitstielbüschelentladungen wird durch die Auswahl geeigneter Werkstoffe wie ableitfähige Gurte verhindert. Nicht ableitfähige Auskleidungen des Elevators sind unschädlich, da Gleitstielbüschelentladungen aufgrund der geringen Relativgeschwindigkeit zwischen Partikeln und Gehäusewandung nicht auftreten.

**Die Gefahr von Flammen und heißen Gasen** besteht bei Heißarbeiten. Diese dürfen deshalb nur unter Anwendung eines Erlaubnisverfahrens durchgeführt werden. Insbesondere muss dazu der betroffene Bereich vor Beginn der Arbeiten staubfrei gemacht werden.

**Zur Vermeidung von Blitzschlag** muss eine funktionsfähige Blitzschutzanlage vorhanden sein.

**Eine detaillierte Betrachtung der möglichen Ursachen für das Entstehen von geräteeigenen und von außen eingetragenen Zündquellen findet sich im Anhang B.**

## **2.4. Rahmenbedingungen für die Gefährdungsbeurteilung**

Die im Anhang B nachfolgende detaillierte Bewertung der Zündgefahr beim Transport von Futtermitteln der Gruppe B im Becherelevator erfolgt unter der Voraussetzung, dass bestimmte Rahmenbedingungen erfüllt sind.

### **2.4.1. Anforderungen bezüglich der Eigenschaften der transportierten Futtermittel**

- a) Es dürfen in den hier betrachteten Becherelevatoren ausschließlich nur Futtermittel mit folgenden Eigenschaften transportiert werden:

**Grobe Futtermittel (in der Regel > 1.000 µm) mit einem hohen Anteil an explosionsfähigem Staub, wenn max. 65 % der Partikel < 500 µm oder max. 20 % der Partikel < 125 µm wie z.B. viele Futtermittelmischungen.**

- b) Futtermittel mit höheren Anteilen an diesen Feinstaub-Fractionen dürfen nicht in diesen Becherelevatoren transportiert werden, auch wenn diese nur selten transportiert werden. Umgekehrt sind für Elevatoren, die nur vereinzelt Futtermittel mit explosionsfähigen Staubanteilen größer > 35% der Partikel < 500 µm oder > 10% der Partikel < 125 µm transportieren, auch die hier aufgeführten Anforderungen zu erfüllen. Es ist stets der Worstcase anzusetzen.
- c) Die Brennzahl der Futtermittel, die transportiert werden, darf maximal 2 betragen.
- d) Im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung ist festzustellen, dass selbst in seltenen Fällen keine zündrelevanten Fremdkörper in den Elevator gelangen können. Dies ist über geeignete Maßnahmen wie z.B. die Qualität der angelieferten Produkte und/oder die Wirksamkeit der vorgeschalteten Abscheidung wie z. B. durch einen Sicherheitsrost und Magnetabscheider sicherzustellen.

#### **2.4.2. Anforderungen bezüglich der Auslegung dieser Becherelevatoren**

- a) Die Fördergeschwindigkeiten darf maximal 4 m/s betragen. Dies ist eine Geschwindigkeit, die I.d.R. von typischen Elevatoren in der Futtermittelindustrie erfüllt werden. Die Anwendung des Positionspapiers auf Sonderfälle mit höheren Fördergeschwindigkeiten ist nicht zulässig. Die Geschwindigkeit ist nach DIN CEN/TR 16829 so gering wie möglich zu halten.
- b) Die zulässige maximale Förderleistung und das zulässige max. Schüttgewicht gemäß der Herstellerunterlagen dürfen nicht überschritten werden.

Für bestehende Elevatoren, für die o.g. Parameter nicht vorliegen, können diese im Einzelfall auch (mit ausreichendem Sicherheitsabstand) aus betrieblichen Erfahrungen abgeleitet werden. Dazu ist vom Betreiber eine Festlegung der hier genannten Parameter vorzunehmen und beim Betrieb des Elevators einzuhalten.

#### **2.4.3. Anforderungen bezüglich der Konstruktion dieser Becherelevatoren**

- a) Mechanische Stabilität
  - Beständigkeit gegen zu erwartende mechanische Stöße (7 N = 1 kg aus 0,7 m Höhe): Kein Blechschaden durch Anrempeln, z.B. durch Fahrzeuge, der zu einem Schleifen oder Reiben der Einbauten am Gehäuse führt.
- b) Werkstoffe
  - Die Werkstoffe und Dichtungsmaterialien müssen chemisch beständig sein.
  - Kunststoffe und Schmierstoffe müssen thermisch beständig sein. Die Alterung von z. B. Kunststoffen muss berücksichtigt sein.
  - Die Verwendung von Komponenten aus brennbaren Materialien erhöht die Brandausbreitung. Aus Gründen des Brandschutzes sollten deshalb die Komponenten des Becherwerks, wie das Gehäuse und die Becher aus nicht brennbarem Material bestehen. Für den Gurt wird ein schwerentflammbares Material empfohlen, welches Brände nicht fördert oder verstärkt. Dies sind z. B. Materialien mit der Klassifizierung A1, A2 oder B in Übereinstimmung mit EN 13501-1 (siehe EN 13478).
  - Es darf nicht zu Gefahren durch kritische Materialkombinationen wie Leichtmetall und Kohlenstoffstahl kommen.
  - Es sind elektrostatisch ableitfähige Gurte einzusetzen; damit ist gleichzeitig die Erdung der Metall-Becher gewährleistet.

c) Sichere Becherbefestigung

Die Becher sind z.B. mit Sicherungsring zu befestigen. Das Anziehen der Schrauben hat mit einem definierten Drehmoment zu erfolgen.

Die Befestigungen sind mit den erforderlichen geringen Korrosions- und Verschleißeigenschaften auszuwählen.

d) Demontage sicherheitsrelevanter Bauteile

Sicherheitsrelevante Bauteile wie z. B. Schiefelaufwächter, etc. dürfen nicht ohne Werkzeug entfernt werden können.

e) Rücklaufsperrn

Rücklaufsperrn sind bei großen Becherelevatoren vorzusehen, damit kein Rücklauf bei Vollast und Not-Aus auftreten kann.

f) Anfahren unter Vollast

Das Anfahren nach einer Abschaltung / Not-Halt muss auch unter Vollast möglich sein.

g) Gestaltung des Fuß von Becherelevatoren

Becherelevatoren sind konstruktiv so zu gestalten, dass relevante Staubablagerungen im Fuß vermieden werden, die insbesondere im Leerlaufbetrieb die Staubkonzentration im Elevator erhöhen. Alternativ ist mindestens eine regelmäßige Reinigung der Elevatorfüße zu gewährleisten, sofern dort je nach Futtermittel und Art der Futtermittelaufgabe Staubablagerungen auftreten.

#### **2.4.4. Anforderungen bezüglich der technischen Ausrüstung dieser Becherelevatoren**

- a) Es darf nicht von der Spezifikation der Ersatzteile (Becher, Gurte, Lager, Schiefelauf-, Schlupfüberwachung, etc.), die vom Hersteller vorgegeben ist, abgewichen werden. Änderungen der Spezifikation der Ersatzteile bedürfen der Neubewertung des Elevators.

Liegen solche Vorgaben bei bestehenden Becherelevatoren nicht vor, ist im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung aufgrund der betrieblichen Erfahrung das erforderliche Material und die Ausführung der Ersatzteile festzulegen.

- b) Die Rückführung von abgeschiedenem Staub aus Aspirationsfiltern in den Schacht erhöht die dortige Staubkonzentration, so dass die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins eines zündwilligen Gemisches steigt.

**Punktfilter** am Elevatorschacht sollten grundsätzlich vermieden werden, da bei der Abreinigung Konzentrationsspitzen entstehen und somit häufiger im Schacht des Elevators die untere Explosionsgrenze überschritten wird als ohne die Verwendung eines Punktfilters. Zur

Erzeugung des erforderlichen Unterdrucks bieten sich PunktfILTER, z. B. auf den vor- und nachgeschalteten Trogkettenförderern, an.

Bei **bestehenden Elevatoren** mit PunktfILTERn am Elevatorschacht sollte die Taktzeit der Abreinigung so kurz gewählt werden, dass die dabei freigesetzte Staubkonzentration so wenig wie möglich zu einer Erhöhung der Staubkonzentration im Schacht des Elevators führt. Die Abreinigung der Filterelemente sollte zeitabhängig z. B. alle 30 s erfolgen. Die Steuerung der Abreinigung über den Differenzdruck ist nicht zulässig, da in diesem Fall bei der Abreinigung eine Erhöhung der Staubkonzentration über die untere Explosionsgrenze zu erwarten ist.

Eine Staubrückführung **aus sonstigen Aspirationsfiltern** in den Elevator ist zu unterlassen.

#### **2.4.5. Anforderungen bezüglich der Wartung und Instandhaltung dieser Becherelevatoren**

Mindestens für die Wellenlager, Gurte, Becherbefestigungen und Gurtrollen müssen die aus den Herstellerunterlagen hervorgehenden Angaben zur Kontrolle, Wartung und Instandhaltung beachtet werden. Liegen diese nicht vor oder sind nur unzureichend beschrieben, hat der Betreiber den Umfang und die Häufigkeit im Rahmen seiner Gefährdungsbeurteilung festzulegen. Sicherheitsrelevante Bauteile sind mindestens jährlich auf ihren ordnungsgemäßen Zustand zu prüfen.

#### **2.4.6. Anforderungen an die Ausführung der sicherheitsrelevanten MSR-Überwachungen**

Aus der Zündquellenanalyse (siehe Anhang B, Tabelle 1) ergeben sich Maßnahmen zur Vermeidung von Zündquellen mit Hilfe von MSR-Technik. Die Anforderungen an die Ausführung dieser Schutzmaßnahmen sind nachfolgend beschrieben.

##### **2.4.6.1. Schiefelaufüberwachung**

Es ist zu gewährleisten, dass ein Schiefelauf auch verlässlich detektiert wird, bevor es zu einem Anlaufen von Einbauten (Gurt, Becher) kommt. Daher sind Schiefelaufwächter beidseitig des Schachts am Fuß und Kopf vorzusehen. Die Einbauhöhe ist in Abhängigkeit der Höhe des Becherelevators und sonstiger Konstruktionsmerkmale im Rahmen der Risikobetrachtung festzulegen. Weiterhin ist auch die Ausrichtung der Schächte zu beachten.

Bei der Inbetriebnahme der Sensoren ist die seitliche Gurtbewegung zu beobachten. Sollte der Abstand zum Gehäuse für einen Zeitraum von höchstens 5 s zu gering werden, ist ein Alarm zu aktivieren und das Becherwerk anzuhalten.

Erfolgt die Detektion des Schiefelaufs über einen mechanischen Druckmembranschalter, einem Kippschalter oder eine Temperaturmessung an Reibungsplatten, besteht bereits Kontakt mit dem Gehäuse und es ist ohne Verzögerung der Alarm zu aktivieren und das Becherwerk anzuhalten (Technical Report DIN CEN/TR 16829).

Bei Einsatz eines Schiefelaufwächters mit induktiver Überwachung kann sowohl der Schiefelauf als auch der seitliche Becherabstand zum Gehäuse erkannt werden.

#### **2.4.6.2. Schlupf- oder Drehzahlüberwachung**

Zur Erkennung des Schlupfs des Gurtes muss entweder eine beidseitige Drehzahlüberwachung bei leistungsgeregelten Antrieben oder eine Drehzahlüberwachung nur an der Umlenktrummel mit festem Sollwert erfolgen. Die zulässige Differenz muss dabei so vorgeben werden, dass es noch nicht zum Heißlaufen des Elevatorgurtes kommen kann. Bei einer Differenz der Drehzahl von > 10 % ist der Elevator stillzusetzen (Technical Report DIN CEN/TR 16829). Während des Anlaufens tritt eine gewisse Reibung auf, die bei der Gestaltung der Schlupfüberwachung berücksichtigt werden muss. Eine Fehlauslösung kann z. B. durch eine Alarmverzögerung von höchstens 10 s während des Anlaufens verhindert werden. Auch während des Betriebs ist max. eine Alarmverzögerung von 10 s zulässig.

#### **2.4.6.3. Temperaturüberwachungen**

##### **Lager**

Eine ständig verfügbare Temperaturüberwachung der Lager ist verpflichtend an Flanschlagern. Bei Stehlagern ist eine Inspektion und Wartung in regelmäßigen Zeitabständen ausreichend, evtl. unterstützt durch Temperaturaufkleber. Voraussetzung für den Verzicht einer Temperaturüberwachung eines Stehlagers ist allerdings, dass eine axiale Bewegung der Umlenktrummel bei defektem Lager rechtzeitig erkannt wird, bevor sie Kontakt zum Gehäuse bekommt. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ist festzustellen, ob dieser Fehlerfall konstruktionsbedingt auszuschließen ist oder durch die Schiefelaufwächter je nach Anordnung früh genug erfasst wird.

##### **Dichtungen**

Dies betrifft z. B. die Wellendurchführung am Elevatorkopf. Eine ständig verfügbare Temperaturüberwachung ist vorzusehen, wenn

- bei Weichstoffdichtungen (Filz) oder Teflon keine ausreichenden Spaltmaße vorgesehen sind.
- Bei kraftschlüssigen Dichtungen (mit Anpressung) oder Stopfbuchsen die Umfangsgeschwindigkeit der Welle  $\geq 0,5$  m/s ist.

#### **2.4.7. Funktionale Sicherheit der sicherheitsrelevanten MSR-Abschaltungen**

Alle oben beschriebenen sicherheitsrelevanten MSR-Abschaltungen müssen die Anforderungen der TRGS 725 erfüllen sowie direkt und unmittelbar wirksam werden. Im „Handlungsleitfaden Explosionsschutz für Betriebe der Getreideverarbeitung und Futtermittelherstellung“ der BGN sind die Anforderungen an die funktionale Sicherheit sowohl für die Sensoren als auch für die Steuerung beschrieben.

Alarmierungen dieser Sensoren dürfen nur einzeln quittierbar sein, idealerweise nur vor Ort direkt beim Sensor. Abschaltungen dürfen nicht gebrückt oder von nicht autorisiertem Personal verstellt werden können. Sie müssen prüffähig sein und deren Prüfung ist zu dokumentieren.

### **3. Organisatorische Maßnahmen**

Zu einem sicheren Betrieb der Becherelevatoren tragen nicht unerheblich auch organisatorische Maßnahmen bei. Dieses Positionspapier kann deshalb nur Anwendung finden, wenn auch die in den Tabellen beschriebenen organisatorischen Maßnahmen zum Explosionsschutz vom Betreiber umgesetzt werden. Dazu gehören auch alle organisatorischen Anforderungen aus der Gefahrstoffverordnung sowie die vollumfängliche Einhaltung der Prüfvorgaben der Betriebssicherheitsverordnung.

Eine detaillierte Beschreibung der Erfordernisse finden sich im „Handlungsleitfaden Explosionsschutz für Betriebe der Getreideverarbeitung und Futtermittelherstellung“ der BGN.

Aufgrund der erforderlichen hohen Zuverlässigkeit an die Vermeidung von Zündquellen in einem Becherelevator der Zone 20 sind insbesondere nachfolgende Punkte zu beachten:

- Umgang mit Betriebsstörungen:
  - Störungsbeseitigung an Elevatoren nur durch Mitarbeitende mit entsprechender Befähigung aufgrund von:
    - Beruflicher Qualifikation
    - Weiterbildung zum Explosionsschutz
  - Dokumentierte Bewertung der Ursache jeder einzelnen Fehlermeldung der MSR-Überwachungen
- Ausbildung zur Prüfung befähigter Personen für den eigenen Betrieb – der Einsatz externer Dienstleister ist nicht ausreichend, da im Zweifelsfall kurzfristig entschieden werden muss, ob der Elevator nach dem Auftreten einer Störung weiter ausreichend sicher betrieben werden kann.
- Unabhängigkeit der zur Prüfung befähigten Personen von Anweisungen der Betriebsleitung
- Erstellung von Prüfplänen für
  - - technische Ausführung der Prüfung
  - - Festlegung der Prüfzeiten
  - - Prognose der Anlagen- und Maschinensicherheit bis zur nächsten Prüfung

Dies betrifft insbesondere die Lager, Dichtungen, Gurtrollen, Gurte, Becherbefestigung und die sicherheitsrelevante MSR-Technik. Es wird bei der Bewertung der Zündquellen von einer mindestens jährlichen Kontrolle ausgegangen.

➤ Vorbeugende Instandhaltung:

Austausch von beschädigten Komponenten vor Versagen der Komponente. Es ist ein Instandhaltungsplan festzulegen.

## 4. Zusammenfassung

Becherelevatoren, in denen grobe Futtermittel mit hohen Anteilen an explosionsfähigem Staub (> 35 % - max. 65 % der Partikel < 500 µm oder > 10 % - max. 20 % der Partikel < 125 µm) transportiert werden, sind nach jetzigen Erkenntnissen in die Zone 20 einzuteilen. Diese Futtermittel werden in diesem Positionspapier der Futtermittel-Gruppe B zugeordnet. Die Elevatoren müssen entsprechend der Zone 20 die Geräte-Kategorie 1 im Sinne der RL 2014/34/EU erfüllen und benötigen bei ausschließlich Zündquellen vermeidenden Schutzmaßnahmen eine Baumusterprüfung. Die vorliegende Gefährdungsbeurteilung beschreibt die Mindestanforderungen, die solche Geräte für diesen Einsatzfall erfüllen müssen. Sie kann vom Hersteller herangezogen werden, entbindet ihn jedoch nicht von einer eigenen individuellen gerätebezogenen Risikobeurteilung. Für bestehende Elevatoren kann die Gefährdungsbeurteilung des Positionspapiers genutzt werden, um die Eignung für die in diesem Positionspapier beschriebene Anwendung festzustellen oder ggf. diese durch zusätzliche Maßnahmen herzustellen.

Wie in Kap. 2.2 und Anhang A Nr. 1.2 aufgezeigt, wirken sich die im Becherelevator für die Futtermittel-Gruppe B zeitlich überwiegend vorgefundenen niedrigen Staubkonzentrationen wenig oberhalb der UEG risikomindernd bezüglich der MZE,  $p_{max}$  und  $K_{ST}$ -Wert aus.

Für die tatsächlich im Becherelevator auftretenden Staubkonzentrationen beim Transport von Futtermitteln der Gruppe B liegt die MZE in der Regel oberhalb der Zündwirksamkeit von mechanisch erzeugten Reibfunken.

Bei staubförmigen Futtermitteln oder Futtermitteln mit höheren Anteilen an explosionsfähigem Staub, zugeordnet zur Futtermittel-Gruppe A, ist die Staubkonzentration im Becherelevator wesentlich höher als bei der Futtermittel-Gruppe B. Es ist daher ständig von einem zündwilligen Gemisch im Becherelevator auszugehen, so dass die Wahrscheinlichkeit für das Entstehen einer Explosion wesentlich höher und somit konstruktiver Explosionsschutz erforderlich ist.

Hieraus lässt sich ableiten, dass der Anteil an reaktionsfreudigem Staub < 125 µm bei Becherelevatoren ohne konstruktiven Explosionsschutz so gering wie möglich gehalten werden muss. Eine Staubrückführung aus Aspirationsfiltern in den Elevator ist deshalb zu unterlassen (siehe Kapitel 2.4.4).

Der Verzicht auf konstruktiven Explosionsschutz ist nur unter engen Randbedingungen für die Futtermittel-Gruppe B vertretbar. Die potenziellen Zündquellen im Becherelevator sind für diese

Futtermittel nach der Zündquellenbewertung beherrschbar. Entscheidend ist aber auch die vollumfängliche Umsetzung der organisatorischen Maßnahmen wie in Kapitel 3 beschrieben.

Die in diesem Positionspapier aufgeführten Schutzmaßnahmen für die Futtermittel-Gruppe B müssen mit einer hohen Zuverlässigkeit wirksam sein. Alle angeführten Randbedingungen sind einzuhalten.

Die Risikobewertung für die Futtermittel-Gruppe B ist ausdrücklich **nicht übertragbar auf andere Branchen**. Die alleinige Kenntnis des Anteils an explosionsfähigen Staub von Produkten reicht ohne die Bewertung von dessen sicherheitstechnischen Kenndaten nicht zur Beurteilung des Explosionsrisikos im Becherelevator aus.

Es soll ausdrücklich nochmal betont werden, dass für den Transport von Futtermitteln der Gruppe A wie z.B. Weizenmehl, Roggenmehl, Weizengrieskleie, aber auch von anderen staubförmigen Produkten wie Stärke, Malzstaub, etc. Zündquellen vermeidende Maßnahmen als Schutzkonzept nicht ausreichen.

## Anhang A Besonderheiten von Futtermitteln

### A.1. Brennzahl

Bei den von der BGN untersuchten Futtermittelmischungen, Zwischenprodukten und Rohwaren wurden Brennzahlen  $< 3$  ermittelt. Aufgrund der teilweise sehr unterschiedlichen Zusammensetzungen (u. a. Zusatz von Fetten oder Melasse) kann aber nicht davon ausgegangen werden, dass dieses Kriterium von allen Futtermitteln eingehalten wird. Diese Annahme ist daher im Einzelfall individuell zu prüfen.

### A.2. Bewertung der sicherheitstechnischen Kenndaten der Futtermittel im Zusammenhang mit der Staubkonzentration im Elevator

Die sicherheitstechnischen Kenndaten Mindestzündenergie (MZE), maximaler Explosionsdruck ( $P_{max.}$ ) und Staubexplosionskonstante ( $K_{ST}$ ) werden im Labor nach Norm für die kritischste Staubkonzentration ermittelt. Je niedriger die reale Staubkonzentration ist, desto höher ist die MZE und desto niedriger  $p_{max.}$  und  $K_{ST}$ .

Die von der BGN untersuchten Futtermittelmischungen, Zwischenprodukte und Rohwaren wiesen im Urmuster alle eine Mindestzündenergie (MZE)  $> 1.000$  mJ auf.

Im genormten Muster ist eine Angabe einer für alle Futtermittel zutreffende MZE erwartungsgemäß nicht möglich. Laut den Untersuchungen der BGN wurden MZE in der Partikelfraktion  $< 250 \mu m$  zwischen ca. 10 mJ bis 1.000 mJ gemessen.

**Die MZE ist bei den untersuchten Futtermitteln der Gruppe B zwischen 750 - 2.000 g/m<sup>3</sup> am geringsten.**

Die meisten untersuchten Futtermittel der Gruppe B ließen sich bei einer Konzentration von **ca. 750 g/m<sup>3</sup>** bezogen auf die Partikelfraktion  $< 250 \mu m$  **erst mit ca. 300 mJ** und mehr zünden. Futtermittel mit einer niedrigeren MZE als ca. 100 mJ bedurften Konzentrationen von mind. 1.000 g/m<sup>3</sup> der Partikelfraktion  $< 250 \mu m$  zur Zündung.

An der Glühwendel des Hartmannrohrs flammen diese Futtermittel der Gruppe B zwar alle ab, der feststellbare Druckaufbau ist jedoch gering. Der im Urmuster ermittelte maximale Explosionsdruck ( $P_{max.}$ ) von 5,9 bar bei einer Staubexplosionskonstante ( $K_{ST}$ ) von 30 bar\*m/s beim zündwilligsten Futtermittel der Gruppe B stützt die qualitative Beobachtung im Hartmannrohr. Im genormten Muster lag für die zündwilligsten Futtermittel der Gruppe B der maximale Explosionsdruck  $P_{max.}$  im Bereich von 7,6 bar bei einem  $K_{ST}$  von 99 bar\*m/s bei einer Staub-Konzentration von 1.000 g/m<sup>3</sup>.

Die Untersuchungen der BGN zeigen, dass der **höchste Druckaufbau und die höchste Reaktionsgeschwindigkeit** bei der Futtermittel-Gruppe B bei einer Konzentration zwischen **ca. 800 - 1.000 g/m<sup>3</sup>** bezogen auf das genormte Muster (Fraktion < 250 µm) auftritt.

Aus den auf der Versuchsanlage der BGN durchgeführten Staub-Konzentrationsmessungen an einem Becherelevator mit dem Worstcase-Produkt der Futtermittel-Gruppe B lässt sich ableiten, dass im Schacht nur Konzentrationen im Mittel um 500 g/m<sup>3</sup> im Inneren zeitlich überwiegend erreicht werden. Nur im Bereich des Kopfs und des Abwurfs ist die Konzentration deutlich höher und kommt an die für eine Explosion optimale Konzentration heran. Im Verhältnis zum gesamten Elevator ist das jedoch nur ein kleiner Bereich.

Diese Konzentrationen liegen deutlich niedriger als die im Labor unter den Worstcase Randbedingungen ermittelten sicherheitstechnischen Kennzahlen.

Bei diesen Konzentrationen liegt die MZE bei den Futtermitteln der Gruppe B in der Regel um 300 mJ und die Werte sinken für  $p_{max}$  auf Drücke unter 5,5 bar und  $K_{ST}$ -Werte unter 30 bar\*m/s. Bei einigen Futtermitteln wie z. B. beim Schweineendmastfutter und dem Rindermastfutter bleiben die Drücke aber deutlich oberhalb 6 bar.

Bei den hier untersuchten Futtermitteln der Gruppe B führen die niedrigen Staubkonzentrationen im Elevator (obgleich oberhalb der UEG) dazu, dass die im Labor bestimmten Worstcase-Kennwerte in der Realität nicht erreicht werden.

Beim **Transport von Produkten wie Malzstaub**, die einen höheren Anteil an explosionsfähigem Staub haben als die Futtermittel-Gruppe B, stellen sich nach den Untersuchungen der BGN mindestens doppelt so hohe Konzentrationen im Elevator ein wie beim Transport von Futtermitteln der Futtermittel Gruppe B. Beim Malzstaub liegt die Konzentration im Elevator zwischen ca. 300 g/m<sup>3</sup> bis weit über 1.000 g/m<sup>3</sup>. Bei rein staubförmigen Produkten wie z.B. Mehl ist ähnliches zu erwarten.

**Bei Malzstaub** beispielsweise liegt die optimale Konzentration bezüglich der MZE je nach Charge schon bei 250 g/m<sup>3</sup>. Die MZE im genormten Muster ist außerdem deutlich unter 20 mJ. Ein bei Futtermitteln maximaler Druckaufbau (800 - 1.000 g/m<sup>3</sup>) wird vergleichbar bei Malz bereits bei 500 g/m<sup>3</sup> erreicht.

**Mehl Typ 550** verhält sich bezüglich der MZE und des Druckaufbaus bei vergleichbarer Konzentration wie die Futtermittel-Gruppe B. Im Elevator ist aber die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins eines optimalen Konzentrationsbereichs für die Zündung von ca. **750 bis 1.000 g/m<sup>3</sup>** wesentlich höher.

## **Anhang B Tabellarische Zusammenstellung der potenziellen Zündquellen, der erforderlichen Schutzmaßnahmen und der daraus resultierenden Eignung für die Zone**

In der nachfolgenden Tabelle 1 werden alle geräteeigenen potenziellen Zündquellen im Becherelevator aufgeführt und die Häufigkeit des Auftretens dieser Zündquelle bewertet. In Tabelle 2 werden die eingetragenen und von außen einwirkenden Zündquellen für Becherelevatoren betrachtet.

Jeder potenziellen Zündquelle werden erforderliche Schutzmaßnahmen zur Verhinderung deren Wirksamwerdens zugeordnet. Daraus ergibt sich eine reduzierte Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Zündquelle und die Eignung für die Zone. Bei der Bewertung der Häufigkeit des Auftretens der Zündquelle werden die Einhaltung der oben beschriebenen Anforderungen sowie die Umsetzung der organisatorischen Maßnahmen wie in Kapitel 3 beschrieben vorausgesetzt.

Die nachfolgende detaillierte Bewertung der Zündgefahren ergibt, dass Zündquellen im Normalbetrieb, bei üblichen Betriebsstörungen oder seltenen Betriebsstörungen ausreichend sicher ausgeschlossen werden können. Somit ist ein Verzicht auf konstruktive Explosionsschutzmaßnahmen für Futtermittel der Gruppe B vertretbar.

Diese Gefährdungsbeurteilung gilt sowohl für **neue als auch bestehende Becherelevatoren**, die Futtermittel der Gruppe B transportieren.

## B.1. Bewertung von geräteeigenen Zündgefahren von Becherelevatoren

**Tabelle 1:** Bewertung von geräteeigenen Zündgefahren von Becherelevatoren

Bewertung der Häufigkeit des Auftretens der Störung ohne Anwendung zusätzlicher Schutzmaßnahmen				Angewendete Schutzmaßnahmen zur Verhinderung des Wirksamwerdens	Grundlage (technische Regeln)	Häufigkeit des Auftretens der Störung einschließlich Schutzmaßnahmen				
Zündquelle	Ursache	im Normalbetrieb zu erwarten	selten	Beschreibung der Schutzmaßnahmen		im Normalbetrieb zu erwarten	selten	nicht zu erwarten	Eignung für die Zone	
<b>Heiße Oberfläche</b>	<b>A1) Reibung des Elevatorgurts an Elevator-schachtwand durch Schiefelauf</b>		X	Beidseitige Schiefelaufüberwachung oben und unten und Ausführung in K1 nach TRGS 725	DIN EN ISO 80079-37 TRGS 725			X	21	
	<b>A2) Reibung des Elevatorgurts an Elevator-schachtwand durch Schiefelauf</b>		X	Beidseitige Schiefelaufüberwachung oben und unten; Ausführung in K2 nach TRGS 725	DIN EN ISO 80079-36 / -37 TRGS 725			X	20	
	<b>B1) Reibung zwischen Becher und seitlicher Wandung (Lösen des Bechers)</b>			X	<ul style="list-style-type: none"> <li>Keine kritische Materialkombination Becher-Gehäuse wie z.B. Alu-Normalstahl <u>und</u></li> <li>Becher aus Metall am Gurt sicher befestigt (z.B. mit Sicherungsring u. Anziehen mit definiertem Drehmoment) <u>und</u></li> <li>Induktive Überwachung des Becherabstandes zur seitlichen Gehäusewand; Ausführung in K1 nach TRGS 725; bei gleichzeitiger Nutzung als Schiefelaufüberwachung (siehe oben) Ausführung in K2 nach TRGS 725</li> </ul>	DIN EN ISO 80079-36 / -37 TRGS 725			X	20
	<b>C1) Reibung zwischen Becher und vorderer Wandung (Lösen des Bechers)</b>			X	<ul style="list-style-type: none"> <li>Keine kritische Materialkombination Becher-Gehäuse wie z.B. Alu-Normalstahl <u>und</u></li> <li>Becher aus Metall am Gurt sicher befestigt (z.B. mit Sicherungsring u. Anziehen mit definiertem Drehmoment</li> <li>Regelmäßige Prüfung der Befestigung der Becher</li> </ul>	DIN EN ISO 80079-36 / -37 „c“			X	20

Bewertung der Häufigkeit des Auftretens der Störung ohne Anwendung zusätzlicher Schutzmaßnahmen				Angewendete Schutzmaßnahmen zur Verhinderung des Wirksamwerdens	Grundlage (technische Regeln)	Häufigkeit des Auftretens der Störung einschließlich Schutzmaßnahmen			
Zündquelle	Ursache	im Normalbetrieb zu erwarten	selten	Beschreibung der Schutzmaßnahmen		im Normalbetrieb zu erwarten	selten	nicht zu erwarten	Eignung für die Zone
	<b>D1) Reibung zwischen Elevatorgurt und Umlenke-rolle (z.B. Versagen der Gurtspannung, Verschleiß des Gurtes)</b>		X	<ul style="list-style-type: none"> <li>Spannvorrichtung ausreichend mech. belastbar <u>und</u></li> <li>Drehzahlüberwachung<sup>1</sup> an Fußtrommel (Überwachung Differenzdrehzahl zwischen Kopf- u. Fußtrommel nur bei frequenzgeregelten Antrieben erforderlich), Ausführung in K1 nach TRGS 725</li> </ul>	DIN EN ISO 80079-37 TRGS 725			X	21
	<b>D2) Reibung zwischen Elevatorgurt und Umlenke-rolle (z.B. Versagen der Gurtspannung, Verschleiß des Gurtes)</b>		X	<ul style="list-style-type: none"> <li>Spannvorrichtung ausreichend mech. belastbar <u>und</u></li> <li>Drehzahlüberwachung<sup>1</sup> an Fußtrommel, Ausführung in K2 nach TRGS 725</li> <li>Gurte aus schwerentflammbarem Material (nach DIN EN 12882) empfohlen</li> </ul>	DIN EN ISO 80079-36 / -37 TRGS 725			X	20
	<b>E1) Schaden an Flanschlager</b>		X	konstruktive Auslegung: Lager entsprechend Kriterien nach DIN 80079-37 Nr. 5.7 (siehe Kap. 2.3 u. 2.4.6.3) oder betriebsbewährt	DIN EN ISO 80079-36 / -37 „h“			X	21
	<b>E2) Schaden an Flanschlager (Fall a)</b>		X	<ul style="list-style-type: none"> <li>konstruktive Auslegung: Lager entsprechend Kriterien nach DIN 80079-37 Nr. 5.7 (siehe Kap. 2.3 u. 2.4.6.3) oder betriebsbewährt <u>und</u></li> <li>Temperaturüberwachung in K1 nach TRGS 725</li> </ul>	DIN EN ISO 80079-36 / -37 „h“ ISO 281 TRGS 725			X	20
	<b>E3) Schaden an Flanschlager (Fall b)</b>		X	Temperaturüberwachung in K2 nach TRGS 725	DIN EN ISO 80079-36 / -37 TRGS 725			X	20

<sup>1</sup> Für Drehzahlüberwachung max. ca. 10 s Reaktionszeit zulässig, Alarmwert für Temperaturüberwachung knapp oberhalb der normalen Betriebstemperatur (unabhängig von Zündtemperatur)

Bewertung der Häufigkeit des Auftretens der Störung ohne Anwendung zusätzlicher Schutzmaßnahmen				Angewendete Schutzmaßnahmen zur Verhinderung des Wirksamwerdens	Grundlage (technische Regeln)	Häufigkeit des Auftretens der Störung einschließlich Schutzmaßnahmen			
Zündquelle	Ursache	im Normalbetrieb zu erwarten	selten	Beschreibung der Schutzmaßnahmen		im Normalbetrieb zu erwarten	selten	nicht zu erwarten	Eignung für die Zone
	<b>E4)</b> <b>Schaden am Stehlager verbunden mit axialer Bewegung der Welle, verbunden mit Reibung zwischen Umlenktrummel und Gehäuse</b>		X	<ul style="list-style-type: none"> <li>konstruktive Auslegung: Lager entsprechend Kriterien nach DIN 80079-37 Nr. 5.7 (siehe Kap. 2.3 u. 2.4.6.3) oder betriebsbewährt <u>und</u> ggf. Temperaturüberwachung<sup>1</sup> in K1 nach TRGS 725 (siehe Kap. 2.4.6.3)</li> </ul>	DIN EN ISO 80079-36 / -37 „c“ TRGS 725			X	20
	<b>F1)</b> <b>Schleifen der Wellendurchführung</b>		X	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ausreichendes Spaltmaß, <u>Weichstoffdichtungen</u> (Filz) oder Teflon;</li> <li>bei <u>kraftschlüssigen Dichtungen</u> (mit Anpressung) oder <u>Stopfbuchspackungen</u> mit Umfangsgeschw. &lt; 0,5 m/s</li> </ul>	DIN EN ISO 80079-36 / -37 „h“			X	20
	<b>F2)</b> <b>Schleifen der Wellendurchführung</b>		X	bei <u>kraftschlüssigen Dichtungen</u> (mit Anpressung) o. <u>Stopfbuchspackungen</u> mit Umfangsgeschw. > 0,5 m/s: Überwachung der Temperatur in K2	DIN EN ISO 80079-36 / -37 „h“ TRGS 725			X	20
	<b>G1)</b> <b>Rollenbefestigung an Achse versagt, was zu axialer Bewegung führt</b>		X	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rolle permanent an Achse befestigt (z.B. Aufschrumpfen, Schraubenbefestigung mit Sicherung) <u>und</u></li> <li>Drehzahlüberwachung<sup>1</sup> an Fußtrommel, Ausführung in K1 nach TRGS 725 <u>oder</u></li> <li>Beidseitige Schiefelaufüberwachung oben und unten; Ausführung in K1 nach TRGS 725</li> <li>Kontrolle und Wartung der Gurtrolle</li> </ul>	DIN EN ISO 80079-36 / -37 „h“ TRGS 725			X	20
	<b>H)</b> <b>Versagen der Achse</b>		X	<ul style="list-style-type: none"> <li>Drehzahlüberwachung<sup>1</sup> an Fußtrommel, Ausführung in K1 nach TRGS 725 <u>oder</u></li> </ul>	DIN EN ISO 80079-36 / -37 TRGS 725			X	20

<sup>1</sup> max. ca. 10 s Reaktionszeit zulässig

Bewertung der Häufigkeit des Auftretens der Störung ohne Anwendung zusätzlicher Schutzmaßnahmen				Angewendete Schutzmaßnahmen zur Verhinderung des Wirksamwerdens	Grundlage (technische Regeln)	Häufigkeit des Auftretens der Störung einschließlich Schutzmaßnahmen				
Zündquelle	Ursache	im Normalbetrieb zu erwarten	selten	Beschreibung der Schutzmaßnahmen		im Normalbetrieb zu erwarten	selten	nicht zu erwarten	Eignung für die Zone	
				<ul style="list-style-type: none"> <li>Beidseitige Schiefelaufüberwachung oben und unten; Ausführung in K1 nach TRGS 725</li> </ul>						
	I) Überfüllung / Rückstau des Förderguts		X	Staumelder				X	20 <sup>1</sup>	
	J) Reibung von losen Teilen im Becherwerk (z.B. gelöste Teile der Rollenbeläge, des Gurtes, der Schrauben)			X	Entstehung von zündwirksamen heißen Oberflächen durch lose Teile des Becherwerks äußerst unwahrscheinlich <sup>2</sup> , da diese weggefördert werden und nicht verkleben.			X	20 <sup>2</sup>	
Mechanische Funken	K) Anschlag der Becher (Metall) an Wandung (Gurtspannung zu gering, lockerer Becher, etc.) oder an Abwurfschurre		X		Siehe oben bei heißen Oberflächen B1, C1				X	20
	L) Rollenbefestigung an Achse versagt, was zu axialer Bewegung der Rolle führt.			X	Siehe oben bei heißen Oberflächen G1				X	20
	M) Achse bewegt sich axial (Versagen des Lagers).			X	Siehe oben bei heißen Oberflächen E4)				X	20
	N) Versagen der Achse			X	Siehe oben bei heißen Oberflächen E2, E3, H				X	20
	O) Schlagen von losen Teilen im Becherwerk (z.B. gelöste Teile der Rollenbeläge, des Gurtes, der Schrauben)			X	Entstehung von zündwirksamen Funken durch lose Teile des Becherwerks äußerst unwahrscheinlich, da diese nur geringe Fallgeschwindigkeiten erreichen					20 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Betriebsstörung, die nicht zu einer Zündquelle führt

<sup>2</sup> Betriebsstörung, die nicht zu einer Zündquelle führt

Bewertung der Häufigkeit des Auftretens der Störung ohne Anwendung zusätzlicher Schutzmaßnahmen				Angewendete Schutzmaßnahmen zur Verhinderung des Wirksamwerdens	Grundlage (technische Regeln)	Häufigkeit des Auftretens der Störung einschließlich Schutzmaßnahmen			
Zündquelle	Ursache	im Normalbetrieb zu erwarten	selten	Beschreibung der Schutzmaßnahmen		im Normalbetrieb zu erwarten	selten	nicht zu erwarten	Eignung für die Zone
	<b>P) Gurtriss (Mit der Folge des Anschlagens der Metallbecher oder deren Befestigung an Wandung)</b>		<b>X</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hochwertiger Gurt, mind. 3-lagig</li> <li>regelmäßige Gurtkontrolle und vorbeugender Wechsel des Gurts,</li> <li>Wartung der Gurtrollen</li> </ul>	DIN EN ISO 80079-36 / -37			<b>X</b>	<b>20</b>
<b>Elektrische Anlagen</b>	<b>Q1) elektrische Ausrüstungen • Innen</b>	<b>X</b>		Kat. 1D Geräte; Begrenzung der Oberflächentemperatur, elektrische Funken	DIN EN 60079 DIN EN 1127-1			<b>X</b>	<b>20</b>
	<b>Q2) • Außen</b>	<b>X</b>		Kat. 3D Geräte; Begrenzung der Oberflächentemperatur	DIN EN 1127-1	<b>X</b>			<b>22</b>
	<b>Q3) fehlende oder unzureichende Erdungs- und Potenzialausgleichsmaßnahmen</b>	<b>X</b>		Erdung und Potenzialausgleich	DIN EN 60079-14			<b>X</b>	<b>20</b>
<b>Statische Elektrizität</b>	<b>R1) Aufladung durch Trennungsvorgänge zwischen Gurt und Umlenktrammel</b>	<b>X</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>elektrostatisch ableitfähiges Gurtmaterial in Verbindung mit geerdeten,</li> <li>leitfähigen Umlenktrammel: Rolle ist über metallischen Kontakt mit Achse verbunden und Achse ist über Lager mit Gehäuse verbunden</li> </ul>	TRGS 727 DIN EN ISO 284			<b>X</b>	<b>20</b>
	<b>R2) Aufladung nicht geerdeter leitfähiger Anlagenteile</b>	<b>X</b>		• alle leitfähigen und ableitfähigen Teile erden	TRGS 727			<b>X</b>	<b>20</b>

**Legende:**

**K1: Im Normalbetrieb sicher (HFT = 0; 1oo1)**

**K2: Einfehlersicherheit (HFT = 1; 1oo2 oder 2oo3)**

## B.2. Bewertung von eingetragenen und von außen einwirkenden Zündquellen für Becherelevatoren

In der nachfolgenden Tabelle 2 werden die potenziellen eingetragenen und von außen einwirkenden Zündquellen für Becherelevatoren bewertet und die erforderlichen Schutzmaßnahmen benannt. Aufgrund der betrieblichen Gegebenheiten können noch zusätzliche Schutzmaßnahmen nötig sein, die hier nicht aufgeführt sind. Im Rahmen einer individuellen Gefährdungsbeurteilung hat der Betreiber Vorkehrungen gegen solche Zündquellen zu treffen.

**Tabelle 2** Bewertung von eingetragenen und von außen einwirkenden Zündquellen für Becherelevatoren

Bewertung der Häufigkeit des Auftretens ohne Anwendung zusätzlicher Schutzmaßnahmen				Angewendete Schutzmaßnahmen zur Verhinderung des Wirksamwerdens		Bewertung der Häufigkeit des Auftretens unter Berücksichtigung zusätzlicher Schutzmaßnahmen			
Zündquelle	Ursachen	im Normalbetrieb	bei zu erwartender Störung	bei seltener Störung	Beschreibung der Schutzmaßnahme	im Normalbetrieb	bei zu erwartender Störung	bei seltener Störung	nicht zu erwarten
<b>Eintrag von Glimmnestern</b>			X	BZ < 3 <u>und</u> über vorgeschaltete Verfahrensschritte z.B. Siebung oder Qualitätsanforderungen an die Futtermittel ausgeschlossen				X	
<b>Eintrag von Funken</b>			X	der Materialfluss zum Elevator kommt nicht direkt aus einer Mühle, sondern erst über einen Mischer mit Verweilzeit und Flüssigkeitszugabe.				X	
<b>Schweiß-, Schleif- und Trennarbeiten</b>	X			organisatorische Maßnahmen (Arbeitsfreigabesystem, Instandhaltung)				X	
<b>Beschädigung des Gehäuses durch äußere mechanische Einwirkung</b>	X			Anfahrerschutz				X	
<b>Flammen und heiße Partikel</b>	<b>Eintrag von Glimmnestern, Schweiß-, Schleif- und Trennarbeiten</b>	X		X	Siehe oben Siehe oben				X
<b>Blitzschlag</b>	<b>Unzureichender Blitzschutz</b>			X	Blitzschutzsystem EN 62305				X

## **Anhang C      Verwendete Unterlagen und Literatur**

### **C.1.           Projektbezogene Unterlagen**

- [Dok1] Bestimmung der sicherheitstechnischen Kenngrößen für Futtermittelmischungen, Zwischenprodukten und deren Rohwaren, Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe (BGN), 2024
- [Dok2] Staubkonzentrationsmessungen im Becherelevator der BGN/FSA in Kappelrodeck, F 05-2402, 2025
- [Dok3] Handlungsleitfaden Explosionsschutz für Betriebe der Getreideverarbeitung und Futtermittelherstellung, BGN / FSA e.V., (Entwurf 2024)

### **C.2.           Gesetze, Regeln und Verordnungen (GRV)**

- [GRV1] Explosionsschutz-Regeln (EX-RL) DGUV Regel 113-001 (insbesondere s. GRV2 – GRV6 und DGUV Regel 113-001 (Ex-RL) „Beispielsammlung“ Punkt 3 Zif. 3.3.4.4.1 Becherelevatoren)
- [GRV2] TRGS 720: Gefährliche explosionsfähige Gemische – Allgemeines
- [GRV3] TRGS 721: Gefährliche explosionsfähige Gemische - Beurteilung der Explosionsgefährdung
- [GRV4] TRGS 722: Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Gemische
- [GRV5] TRGS 723: Gefährliche explosionsfähige Gemische – Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Gemische
- [GRV6] TRGS 724: Gefährliche explosionsfähige Gemische – Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes, welche die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken
- [GRV7] TRGS 725: Gefährliche explosionsfähige Gemische – Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen im Rahmen von Explosionsschutzmaßnahmen
- [GRV8] TRGS 727: Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen
- [GRV9] ISSA Prevention Series No. 2033
- [GRV10] DIN CEN/TR 16829 Brand- und Explosionsschutz für Becherwerke, 2019