

Fachbereich AKTUELL

FBRCI-010

Staubungsneigung

Sachgebiet Explosionsschutz

Stand: 18.11.2021

Zur Charakterisierung der Explosionsgefährlichkeit von Stäuben werden sicherheitstechnische Kenngrößen verwendet. Bei brennbaren Stäuben, die Fraktionen mit einer Korngröße $< 0,5$ mm enthalten, ist grundsätzlich Staubexplosionsfähigkeit anzunehmen. Weisen alle Partikel einer Staubprobe hingegen Korngrößen $> 0,5$ mm auf, ist nicht mehr mit gefährlichen Staubexplosionen zu rechnen. Die TRGS 721 gibt als Grenze der Partikelgröße für explosionsfähige Stäube 1 mm an. Wenn der Medianwert des brennbaren Staubes im Bereich zwischen 0,5 mm und 1 mm liegt, sollte daher durch Untersuchung nachgewiesen werden, dass keine Explosionsfähigkeit besteht.

In der Praxis hat es sich gezeigt, dass hinsichtlich der Explosionsgefährdung auch das unterschiedliche Verhalten von Stäuben im Hinblick auf die Bildung von Staubwolken, d. h. deren Staubungsneigung, relevant ist. Dieser Begriff wird qualitativ verwendet und beruht auf einer individuellen Betrachtung von Verfahren, Umgebungsbedingungen und Produkteigenschaften (z. B. Feuchte, Klebrigkeit) unter Berücksichtigung der unteren Explosionsgrenze (UEG). Kriterien zur Bewertung der Staubungsneigung im Hinblick auf Explosionsschutzmaßnahmen können beispielsweise sein: die Sedimentationszeit, die Ausbreitung der Staubwolke.

Es gibt unterschiedliche Verfahren zur Ermittlung der Staubungsneigung. Hinsichtlich der Ermittlung der Schutzmaßnahmen und der Zoneneinteilung liegen jedoch derzeit keine belastbaren quantitativen Korrelationen zwischen Staubungsneigung und tatsächlicher verfahrensbedingter Konzentration in Bezug zur unteren Explosionsgrenze vor. Daher wird in den Beispielen der EX-RL Beispielsammlung (Anlage 4 zur DGUV Regel 113-001) kein Bezug zu einer konkreten Kennzahl zur Staubungsneigung angegeben. Die Information hinsichtlich der Kriterien des Betreibers zur Bewertung der Explosionsgefährlichkeit der auftretenden Stäube wurde unter Punkt 3 der EX-RL Beispielsammlung eingefügt.

In dieser Fachbereich AKTUELL-Schrift soll näher erläutert werden, welche Normen derzeit vorhanden sind, um Kennzahlen für das Staubungsverhalten zu bestimmen, wofür diese Kennzahlen jeweils angewendet werden können und warum daraus keine Rückschlüsse für die Zoneneinteilung im Inneren von Apparaten gezogen werden können.

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen	2
2	Bestehende Normverfahren	3
2.1	Staubungszahl nach VDI 2263 Blatt 9	3
2.2	Messung des Staubungsverhaltens von Schüttgütern nach DIN EN 15051 Teil 2	5
2.3	Messung des Staubungsverhaltens von Schüttgütern nach DIN 33897, Hinweise zur Anwendbarkeit des Verfahrens nach DIN EN 15051-3 in DIN 33897-1.....	5
2.4	Verfahren nach DIN 55992	7
3	Fazit	7

1 Grundlagen

Um darzustellen, welche Voraussetzungen vorliegen müssen, damit es zu einer Explosion kommen kann, wird seit langer Zeit das „Gefahendreieck“ verwendet: Mit dem Dreieck soll ausgedrückt werden, dass drei elementare Voraussetzungen – ein brennbarer Stoff, ein Oxidationsmittel (in vielen Fällen der Sauerstoff der Luft) und eine wirksame Zündquelle – gleichzeitig anwesend sein müssen, damit es zu einer Explosion kommen kann. Daran anknüpfend wird üblicherweise erläutert, welche grundlegenden Möglichkeiten bestehen, um Explosionen zu verhindern.

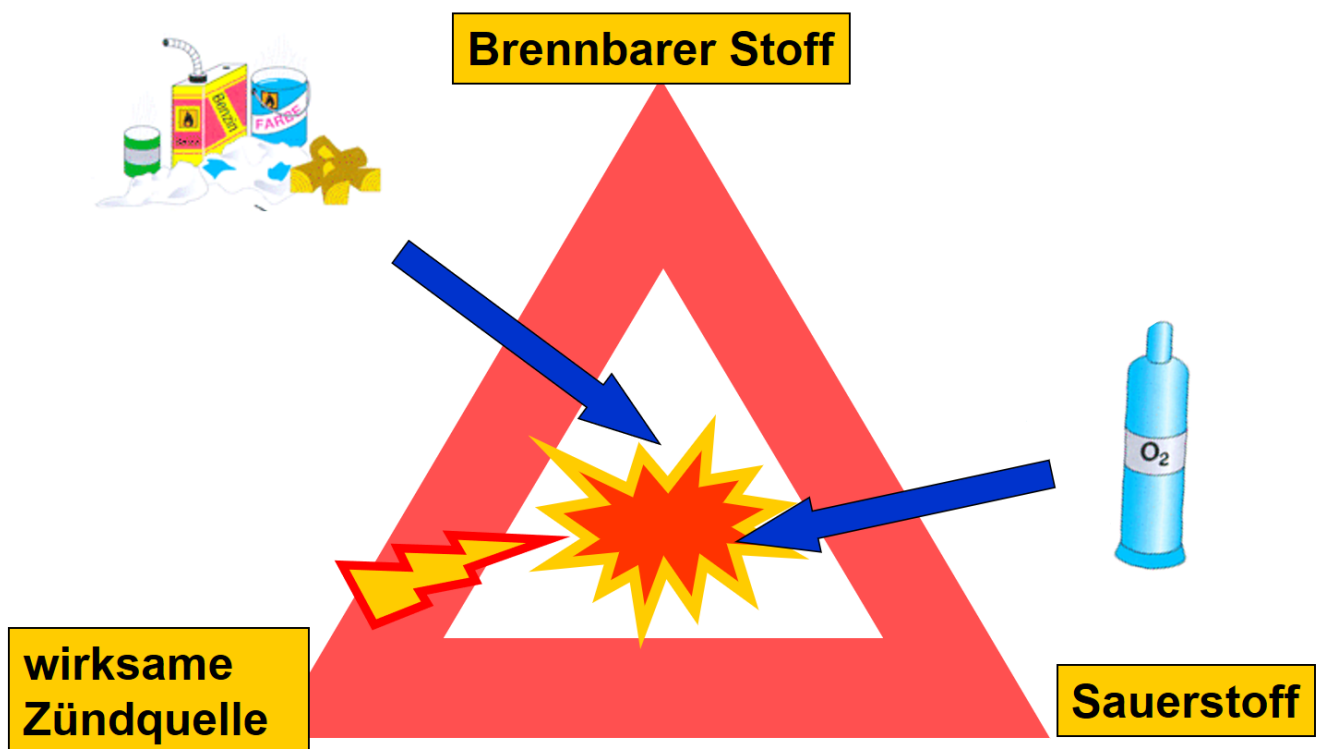


Abbildung 1 Voraussetzungen für Explosionen („Gefahendreieck“)

Betrachtet man die Voraussetzungen für Staubexplosionen bei festen brennbaren Stoffen, stellt man fest, dass hierbei die Situation noch etwas komplizierter ist. Deshalb werden die Voraussetzungen gelegentlich auch mit Hilfe eines Pentagons an Stelle des Dreiecks dargestellt:

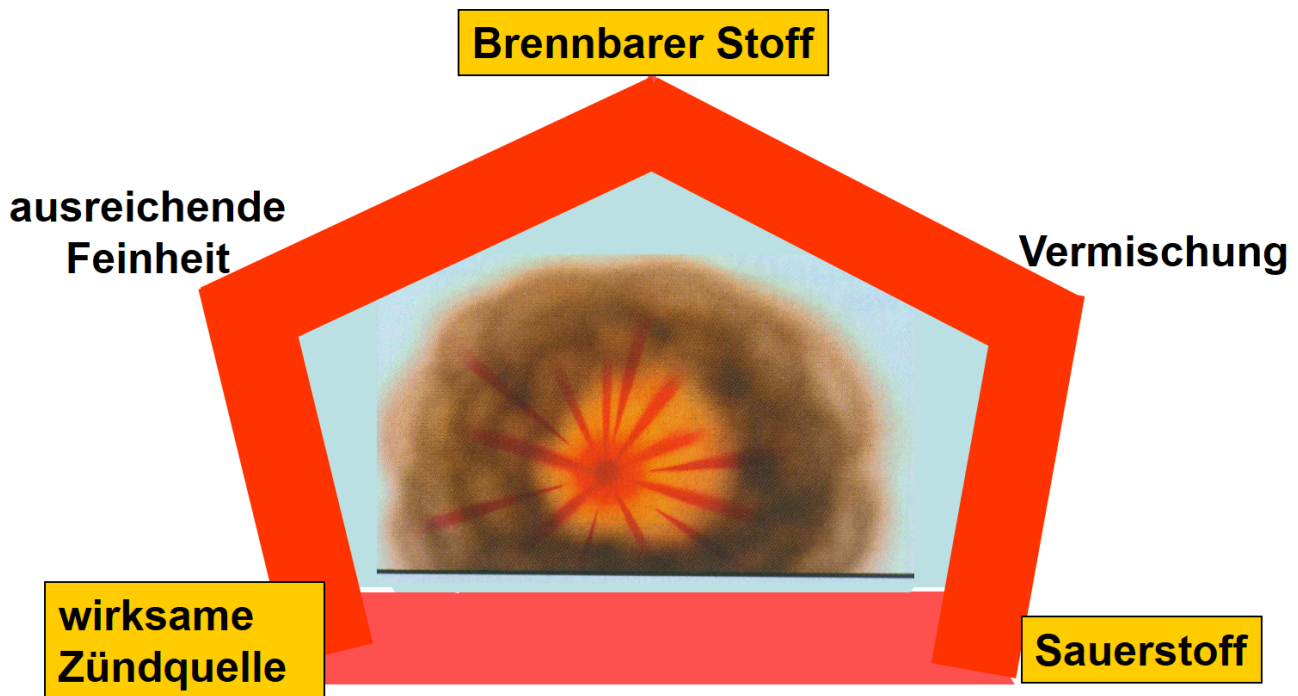


Abbildung 2 Voraussetzungen für Explosionen bei Stäuben („Gefahrenfünfeck“)

Das Fünfeck ergibt sich aus dem Dreieck, weil dessen obere Spitze in zwei zusätzliche Ecken aufgespalten wird. Damit wird zum Ausdruck gebracht, dass die reine Anwesenheit des brennbaren Feststoffs nicht ausreicht, er muss vielmehr a) in ausreichender Feinheit vorliegen und b) mit dem Oxidationsmittel (häufig Luftsauerstoff) vermischt sein, damit es zur Explosion kommen kann.

Die vorhandenen sicherheitstechnischen Kenngrößen von Staub/Luft-Gemischen beschreiben die für eine Explosion erforderlichen Konzentrationen von Brennstoff (untere Explosionsgrenze, UEG) und Oxidationsmittel (Sauerstoffgrenzkonzentration, SGK) und können teilweise auch herangezogen werden, um die Wirksamkeit von bestimmten Zündquellen abzuschätzen (z. B. Zündtemperatur abgelagerten Staubs). Für die Feinheit ist als obere Grenze der Wert von einer Korngröße $< 0,5$ mm im Regelwerk angegeben.

Im Hinblick auf die Dauer des Vorhandenseins explosionsfähiger Atmosphäre spielt das Staubungs- oder - aus der gegenteiligen Perspektive betrachtet - das Absetzverhalten eines Staubes eine wichtige Rolle. Vor diesem Hintergrund ist es nachvollziehbar, dass der Wunsch besteht, das Staubungsverhalten quantifizieren zu können und so für die Gefährdungsbeurteilung und die Festlegung von Schutzmaßnahmen zu nutzen.

Da es beim Verharren im Gasraum bzw. beim Absetzen um die Bewegung unter dem Einfluss der Schwerkraft geht, ergibt sich auf jeden Fall die systematische Einschränkung auf Apparate und Anlagen, in denen das Gut gar nicht oder höchstens langsam aktiv bewegt wird.

2 Bestehende Normverfahren

2.1 Staubungszahl nach VDI 2263 Blatt 9

In der VDI Richtlinie 2263 Blatt 9 „Staubbrände und Staubexplosionen Gefahren – Beurteilungen – Schutzmaßnahmen; Bestimmungen des Staubungsverhaltens von Schüttgütern“ von Mai 2008 wird

als Kenngröße die sogenannte Staubungszahl eingeführt, die aus drei einzelnen Messwerten bestimmt wird:

Die Staubungszahl einer Einzelmessung wird in der VDI 2263 Blatt 9 vom Mai 2008 definiert als normiertes Integral der momentan gemessenen Staubkonzentration über die gesamte Messdauer, sie ist eine dimensionslose Größe. Für die Zuordnung des untersuchten Produkts zu einer sogenannten „Staubungsgruppe“ wird der Mittelwert von drei Einzelmessungen herangezogen. Nach Höhe dieser gemittelten Staubungszahl werden sechs Wertebereiche den Staubungsgruppen 1 bis 6 zugewiesen, wobei Staubungsgruppe 1 für Staubungszahlen bis 1 gilt, der Bereich bis 50 in die folgenden vier Staubungsgruppen unterteilt wird und Staubungsgruppe 6 schließlich für eine Staubungszahl steht, die 50 überschreitet.

Die Messung erfolgt, indem staubförmiges Produkt aus einem Vorratsbehälter mit Rührer mittels einer Schnecke ausgetragen wird und mit einem Volumenstrom von 1 l/min in die Messkammer herabrieselt. Der Staub wird vor Eintritt in die Messkammer entladen, die Wände der Messkammer liegen auf Nullpotenzial. Beim Passieren einer Messstrecke wird durch den Staub ein Infrarot-Strahl abgeschwächt, entsprechend liefert das Staubkonzentrationsmessgerät ein Spannungssignal. Die Messung erfolgt über 650 Sekunden. In den ersten 300 Sekunden wird Staub in die Messkammer der Apparatur gefördert, danach wird die Sedimentation des Staubs (ohne weitere Förderung) betrachtet. Durch Staubsammlung parallel zur optischen Achse während der Förderzeit und spätere Wägung der im Verlauf entnommenen Sammelpfättchen erfolgt eine Kalibrierung zur Umrechnung des Spannungsverlaufs auf die Staubkonzentration. Aus dem zeitlichen Verlauf der Staubkonzentration wird die Staubungszahl ermittelt und der Staubungsgruppe zugeordnet.

Hinsichtlich der Übertragbarkeit des durch die Staubungszahl charakterisierten Verhaltens auf reale Bedingungen ist zu drei Stoffen an einem Mischer eine Studie publiziert [Forschungsvorhaben „Staubexplosionsrisiko an Mischern mit bewegten Werkzeugen zur Erstellung und Abgrenzung möglicher Explosionsschutzkonzepte“, Projekt Nr. 617.0 - FP290, <https://www.bgrci.de/exinfode/exschutz-wissen/aktuelle-forschung/staubexplosionsrisiko-an-mischern>].

Darüber hinaus wird im Hinblick auf die Anwendung der ermittelten Staubungszahl auf folgendes hingewiesen:

- Da beim Messverfahren keine Turbulenzen auftreten, kann das ermittelte Staubungsverhalten nicht herangezogen werden, wenn im Verfahren Strömungseinfluss vorliegt. Ebenso werden Auswirkungen von Zwangsbewegungen, die z. B. auch abgelagerten Staub aufwirbeln, nicht abgebildet. Daher kann die Staubungszahl für Verfahrensschritte oder Bedingungen, wie z. B. Einfluss weiterer Fördergeräte, nicht herangezogen werden, um daraus resultierende Staubkonzentrationen im Gasraum zu beschreiben oder abzuschätzen. **Insofern hat die Staubungszahl für den Explosionsschutz derzeit nur einen begrenzten Einsatzbereich.**
- Die Bedingungen, unter denen die Staubungszahl bestimmt wird, entsprechen denen bei der Befüllung eines Behälters mittels einer Schnecke, so dass für diesen Vorgang eine Übertragbarkeit gegeben sein dürfte. Ein Einsatz ist auch denkbar, wenn ein offenes Abkippen unter dem Einfluss von Schwerkraft zu beurteilen ist.

2.2 Messung des Staubungsverhaltens von Schüttgütern nach DIN EN 15051 Teil 2

Die DIN EN 15051-2 „Exposition am Arbeitsplatz – Messung des Staubungsverhaltens von Schüttgütern – Teil 2: Verfahren mit rotierender Trommel“ vom März 2017 beschreibt ein Verfahren für die Bestimmung des Staubes, der von einem Luftstrom mitgenommen wird, der eine drehende Trommel durchströmt.

Es handelt sich um eine sehr spezifische Messanordnung: Staub wird in eine Trommel von 30 cm Durchmesser verbracht, die sich mit vier Umdrehungen pro Minute dreht. Durch Umlenkbleche (Flügel) an der Trommelinnenwand wird der Staub aufgewirbelt. Ein definierter Luftstrom überführt die Staubwolke aus der Trommel in ein Probenahmesystem aus zwei teilchengrößenselektiv wirkenden Filtern und einem Absolutfilter. Der einatembare Staub sowie die Anteile des thorakale und des alveolengängigen Staubs werden durch die auf den Filtern abgeschiedenen Mengen gravimetrisch ermittelt. Luftstrom und beprobtes Luftvolumen werden über einen Massendurchflussmesser bestimmt.

Aus den ermittelten Massenanteilen für die drei Fraktionen erfolgt eine Zuordnung des untersuchten Staubs zu einer der vier Staubklassen „staubarm“, „gering staubend“, „staubend“ oder „stark staubend“.

Die Zielstellung der Norm ist die Überprüfung der Einhaltung von Arbeitsplatzgrenzwerten, also der Gesundheitsschutz. Entsprechend werden Partikel der Fraktion $D > 0,1$ mm nicht erfasst, da die Konvention über die „einatembare Fraktion“ (gemäß EN 481 „Arbeitsplatzatmosphäre - Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel“ vom Oktober 1993) diese Partikelfraktion ausdrücklich von der Anwendung ausschließt.

Wegen der Beschränkung auf Teilchengrößen $< 0,1$ mm ist eine Anwendbarkeit der Ergebnisse aus diesen Verfahren auf Betrachtungen zu Explosionsgefahr und erforderliche Maßnahmen des Explosionsschutzes nur sehr bedingt gegeben.

2.3 Messung des Staubungsverhaltens von Schüttgütern nach DIN 33897, Hinweise zur Anwendbarkeit des Verfahrens nach DIN EN 15051-3 in DIN 33897-1

Die Normenreihe DIN 33897 beschreibt Routineverfahren zur Messung des Staubungsverhaltens von Schüttgütern im Hinblick auf die Exposition am Arbeitsplatz, die alternativ zu den Verfahren der Reihe DIN EN 15051 angewandt werden können, um die unterschiedlichen Typen von Staub entwickelnden Prozessen bei der Beurteilung der Exposition zu berücksichtigen.

In der Reihe DIN 33897 „Arbeitsplatzatmosphäre — Routineverfahren zur Bestimmung des Staubungsverhaltens von Schüttgütern“ sind bisher drei Teile erschienen: Teil 1 „Grundlagen“ vom August 2016, Teil 3 „Verstaubung in ruhender Luft“ vom August 2016 und Teil 4 „Wiederholter Fall im Querstrom“ vom August 2016.

In DIN 33897 Teil 1 vom August 2016 werden fünf grundlegende Prüfscenarien aufgeführt:

1. die Aufwirbelung des Staubs in einer rotierenden Trommel, die zur Erfassung der aufgewirbelten Staubfraktion von einem kontinuierlichen Luftstrom durchströmt wird, der den Staub kontinuierlich in ein Probenahmesystem fördert
(entspricht dem Prüfverfahren nach DIN EN 15051-2 vom März 2017);
2. der kontinuierliche Fall von Schüttgütern in ein Rohr bei einem Luft-Gegenstrom und Probenahme des während des Schüttvorganges aufgewirbelten Staubs
(Prüfverfahren nach DIN EN 15051-3 vom März 2014);
3. die kontinuierliche Verstaubung eines Schüttgutes mit einem Bürstendosierer in einem Staubkanal mit gleichzeitiger Probenahme des aufgewirbelten Staubs
(Prüfverfahren nach DIN 33897 Teil 3 „Verstaubung in ruhender Luft“ vom August 2016);
4. der kurzzeitige („singuläre“) Fall eines Schüttgutes in ein Fallrohr mit optischer Verfolgung des Zeitverlaufes der Staubeentwicklung in der Aufprallzone
(siehe DIN 55992-2 vom Oktober 1999, mit modifizierter Prüfkammer und Detektion siehe VDI 2263 Teil 9 vom Mai 2008);
5. die Fluidisierung von Schüttgut in einem mit Luft durchströmten Behälter bei gleichzeitiger Probenahme von Staub oberhalb des Fluidbettes
(eine Normung des Verfahrens ist laut DIN 33897-1 vom August 2016 nicht vorgesehen).

Weiter werden Hinweise gegeben, welche Prozesse als Fallvorgänge durch das Verfahren 2 im Luft-Gegenstrom simuliert werden können. Basis für die erhaltene Einteilung sind die Parameter Höhe (Art) der eingebrachten Energie und Dauer des Energieeintrags. Demnach ist für Vorgänge mit niedrigem Energieeinsatz und kurzer bis mittlerer Dauer das Prüfverfahren im Fallrohr bei Gegenstrom nach DIN EN 15051-3 „Exposition am Arbeitsplatz — Messung des Staubungsverhaltens von Schüttgütern — Teil 3: Verfahren mit kontinuierlichem Fall“ vom März 2014 geeignet; beispielhaft genannt werden Fördern, Austragen, Befüllen, Umfüllen, Verwiegen, Absacken, Dosieren, Beladen und Entladen. Sind Abrieb oder Desagglomeration die wesentliche Ursache der Staubeinstehung, wie z. B. bei Sieb- oder Mahlvorgängen, beim Mischen oder pneumatischer Förderung, ist das Prüfverfahren nicht geeignet (vergleiche DIN 33897-1 vom August 2016 Tabelle 1).

Wie schon der Titel besagt, zielt auch diese Norm wie die EN 15051-2 vom März 2017 auf den Gesundheitsschutz. Weil daher die Teilchenfraktion $> 0,1$ mm von der Erfassung ausgeschlossen wird, gilt ebenfalls die Einschränkung, dass die Ergebnisse für Überlegungen zum Explosionsschutz nur sehr bedingt anwendbar sind.

Verfahren 3 wird in DIN 33897-3 „Arbeitsplatzatmosphäre – Routineverfahren zur Bestimmung des Staubungsverhaltens von Schüttgütern – Teil 3: Verstaubung in ruhender Luft“ vom August 2016 beschrieben. Zielstellung ist die praxisnahe Simulation von Staubeinstehungsvorgängen im Backgewerbe zur Bestimmung des Staubungsverhaltens der einatembaren Fraktion sowie der alveolengängigen und gegebenenfalls auch der thorakalen Fraktion der luftgetragenen Partikel.

Die Norm DIN 33897-4 „Arbeitsplatzatmosphäre – Routineverfahren zur Bestimmung des Staubungsverhaltens von Schüttgütern – Teil 4: Wiederholter Fall im Querstrom“ vom August 2016 nutzt eine rotierende Trommel, bei der durch permanente Fall- sowie Abriebvorgänge kontinuierlich Staub gebildet und im Querstrom aufgewirbelt wird. Damit soll die Staubeinstehung bei pulverigen oder granulierten Schüttgütern simuliert werden, wie sie beispielsweise bei der Sackentleerung, manuellen Füllvorgängen, bei Transport oder Förderung auftritt. Als charakteristisch dafür wird die Freisetzung des Staubs während des Fallens, durch Aufwirbelung beim Auftreffen sowie durch mechanischen Abrieb angesehen. Ziel des Prüfverfahrens ist, Kenngrößen für das Staubungsverhalten der einatembaren und der alveolengängigen Fraktion des aufgewirbelten Staubs zu erhalten.

2.4 Verfahren nach DIN 55992

Varianten des Staubentwicklungsverfahren durch einen rotierenden Zylinder sind bei der Bestimmung des Staubanteils von festen Stoffen nach DIN 55992 Teil 1 „Bestimmung einer Maßzahl für die Staubentwicklung von Pigmenten und Füllstoffen – Rotationsverfahren“ vom Juni 2006 beschrieben. Laut Anwendungsbereich sollen die ermittelten Maßzahlen nicht den Gesamtstaub charakterisieren, sondern einen Kennwert zur Beurteilung des Staubverhaltens von Pigmenten und Füllstoffen darstellen. Im Vorwort wird weiter darauf hingewiesen, dass „nach dieser Norm ermittelten Werte vorzugsweise als Relativwerte einer Prüfstelle (Probe und Vergleichsprobe)“ anzusehen seien.

Eine Variante des Staubentwicklungsverfahren durch ein Fallrohr ist bei der Bestimmung des Staubanteils von festen Stoffen nach DIN 55992 Teil 2 „Bestimmung einer Maßzahl für die Staubentwicklung von Pigmenten und Füllstoffen – Fallmethode“ vom Oktober 1999 beschrieben. Vermutlich beruht das Verfahren nach VDI 2263 Teil 9 vom Mai 2008 auf dieser Grundlage.

3 Fazit

Die Sichtung vorhandener Normen und Richtlinien zum Staubungsverhalten zeigt, dass diese bei der Ermittlung der Kenngrößen unterschiedliche Verfahren zur Stauberzeugung beschreiben. Diese Verfahren können jedoch die Randbedingungen bei spezifischen Verfahrensschritten nicht verfahrensspezifisch, sondern nur anhand allgemeiner Parameter simulieren.

Nur die VDI 2263 Teil 9 vom Mai 2008 ist zur Beurteilung von staubförmigen Produkten im Hinblick auf Explosionsgefahren und Erfordernis von Schutzmaßnahmen entwickelt worden. Auf Grund der Art wie das Staub/Luft-Gemisch erzeugt und beprobt wird, kann aber z. B. keine Aussage getroffen werden, wenn im betrachteten Teil der Anlage oder des Verfahrens Strömungseinflüsse vorliegen oder Zwangsbewegungen, die bereits abgelagerten Staub wieder aufwirbeln. Dafür müssten noch ergänzende Prüfverfahren entwickelt werden, die die jeweiligen verfahrenstechnischen Schritte nachbilden. Bei einem Teil der Verfahren zur Ermittlung der Exposition am Arbeitsplatz käme die verwendete Methodik der Stauberzeugung möglicherweise dafür in Frage. Allerdings ist bei diesen Prüfverfahren die Probenahme des genormten Verfahrens so gestaltet, dass systematisch die Staubfraktion $> 0,1$ mm nicht erfasst wird.

Es wären daher umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erforderlich, um Verfahren zu finden, die geeignet sind, um für spezielle Produktionsschritte Untersuchungen zu erlauben, ob und gegebenenfalls was für eine Korrelation zwischen einer damit ermittelten Staubungskennzahl, Produktionsparametern (z. B. Drehzahl eines speziellen Mischertyps) und der Konzentration des aufgewirbelten Staubs im Hinblick auf die UEG besteht.

Zum heutigen Zeitpunkt ist deshalb nicht absehbar, dass eine quantitative Bewertung des Staubungsverhaltens entwickelt werden kann, die standardmäßig für staubende Materialien eine Beurteilung der Explosionsgefahren und der Erfordernisse von Schutzmaßnahmen ermöglicht.

Bildnachweis

Die gezeigten Bilder wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt von:

Abbildung 1 Voraussetzungen für Explosionen („Gefahendreieck“) Quelle: BG RCI.....2

Abbildung 2 Voraussetzungen für Explosionen bei Stäuben („Gefahrenfünfeck“) Quelle: BG RCI.....3

Herausgeber

Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
Fax: 030 13001-9876
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

Sachgebiet Explosionsschutz
im Fachbereich Rohstoffe und chemische Industrie
der DGUV www.dguv.de Webcode: d138214

Die Fachbereiche der DGUV werden von den Unfallkassen, den branchenbezogenen Berufsgenossenschaften sowie dem Spitzenverband DGUV selbst getragen. Für den Fachbereich Rohstoffe und chemische Industrie ist die Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie der federführende Unfallversicherungsträger und damit auf Bundesebene erster Ansprechpartner in Sachen Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit für Fragen zu diesem Gebiet.

An der Erarbeitung dieser Fachbereich AKTUELL haben mitgewirkt:

- GDin Ursula Aich, Hessisches Ministerium für Soziales und Integration, Wiesbaden
- Dr. Susanne Causemann, IFA, St. Augustin
- Dr. Berthold Dyrba, Bad Schönborn
- Herr Stefan Grund, BGN, Dortmund
- Dr. Ute Hesener, Covestro, Leverkusen
- Dr. Oswald Losert, BG RCI, Heidelberg