

Grundlagen zum Explosionsschutz für Einsteiger – (4)

Sicherheitstechnische Kenngrößen für brennbare Stäube:

Für brennbare Stäube gilt ebenso wie für brennbare Flüssigkeiten und Gase, dass der erste Schritt zur Beurteilung einer Gefährdung durch Brände und Explosionen die Ermittlung ist, welche Stoffe oder Gemische im betrachteten Szenario eingesetzt werden bzw. entstehen können. Über diese Stoffe oder Gemische müssen Informationen eingeholt werden, damit unter Berücksichtigung der eingesetzten Verfahren bzw. der ausgeführten Tätigkeiten die Explosionsgefahr unter den vorliegenden Randbedingungen beurteilt werden kann.

Die für den Explosionsschutz relevanten Eigenschaften brennbarer Stoffe werden durch Sicherheitstechnische Kenngrößen charakterisiert. Sicherheitstechnische Kenngrößen sind quantitative Aussagen über Stoffeigenschaften, die für die Beurteilung von Explosionsgefahren und für die Festlegung von Schutzmaßnahmen maßgebend sind und in der Regel von der benutzten Messmethode abhängen. Sicherheitstechnische Kenngrößen sind keine physikalischen Konstanten, d. h. sie gelten nur für bestimmte Bedingungen. In der Regel sind dies atmosphärische Bedingungen, das heißt Temperaturen zwischen - 20 °C und + 60 °C, Drücke zwischen 0,8 bar und 1,1 bar sowie Luft mit ca. 21 Vol.-% Sauerstoff. Bei anderen Bedingungen kann es zu Abweichungen von den sicherheitstechnischen Kenngrößen kommen, vgl. hierzu einen Forschungsbericht auf www.exinfo.de [1].

Die Kenngrößen sollten zunächst an Feinstäuben ermittelt werden, um auch die kritischsten in der Praxis zu erwartenden Zustände zu erfassen. Dies gilt in besonderem Maße, wenn es im Prozess zu einer Änderung des Feinheitsgrades oder zum Anreichern von Feinanteilen kommt z. B. durch Mahlen, Abrieb, Absaugen oder Ablagern). Abgelagerter Staub wird hierzu im Allgemeinen in der Fraktion < 250 µm und aufgewirbelter Staub in der Fraktion < 63 µm untersucht. Je nach Fragestellung kann es darüber hinaus jedoch sinnvoll bzw. notwendig sein, den Staub, auch ohne ihn besonders aufzubereiten, also im „betriebsmäßigen Zustand“ zu untersuchen [2].

1. Sicherheitstechnische Kenngrößen, die das **Auftreten von gefährlicher/n explosionsfähiger/n Atmosphäre/Gemischen** bei brennbaren Stäuben charakterisieren:

Die **Korngrößenverteilung** eines Staubes wird grundsätzlich durch eine Siebanalyse ermittelt. Dazu wird der zu untersuchende Staub auf genormten Prüfsieben abgesiebt und der Siebrückhalt gewogen. Wird die zurückgehaltene Menge in Gewichtsprozent gegen den Korndurchmesser aufgetragen, so erhält man eine Verteilungskurve, aus der der Medianwert des untersuchten Staubes abzulesen ist. Der Medianwert ist der Wert für die mittlere Korngröße (50 Gew.-% des Staubes sind gröber und 50 Gew.-% sind feiner als der Medianwert), er kann zur groben Feinheitscharakterisierung der Staubprobe herangezogen werden.

Der Konzentrationsbereich brennbarer Stäube in einem Staub/Luft-Gemisch, in dem eine Explosion auftreten kann, wird als Explosionsbereich bezeichnet. Die **Explosionsgrenzen** sind die Grenzen des Explosionsbereiches. Die **untere Explosionsgrenze (UEG)** ist der untere Grenzwert der Konzentration eines brennbaren Stoffes in einem Gemisch mit Luft oder einem Oxidationsmittel, in dem sich nach dem Zünden eine von der Zündquelle unabhängige Flamme gerade nicht mehr selbständig fortpflanzen kann.

Im Gegensatz zur Situation bei brennbaren Flüssigkeiten und Gasen wird die obere Explosionsgrenze bei brennbaren Stäuben nicht für Schutzmaßnahmen herangezogen, weil es bei hohen Staubkonzentrationen zu Inhomogenitäten infolge von Ablagerungen kommen kann und so trotz der hohen Gesamtkonzentration zündfähige Gemische vorliegen können. Daher erfolgt bei Stäuben üblicherweise auch keine Bestimmung der oberen Explosionsgrenze.

Die untere Explosionsgrenze ist stoffspezifisch und hängt von den Umgebungsbedingungen ab.

Um eine Einschätzung der Staubexplosionsgefahr zu erhalten, kann ein Schnelltest in der

modifizierten Hartmannapparatur vorgenommen werden, der in gewissem Umfang eine Aussage zur Explosionsfähigkeit und zur Staubexplosionsklasse zulässt. Die Apparatur besteht aus einem vertikal angeordneten Glasrohr mit einem Volumen von ca. 1,2 l, das am oberen Ende mit einem Klappdeckel verschlossen ist. Der zu prüfende Staub wird mittels eines definierten Luftstoßes verteilt und dann gezündet. Je nach Reaktion des Staub/Luft-Gemisches wird der Deckel unterschiedlich weit aufgeklappt. Aus dem Öffnungswinkel sowie ggf. einer optisch wahrnehmbaren selbständigen Flammenausbreitung werden die Versuche bewertet. Erfolgt unter diesen Versuchsbedingungen kein Entzünden, rechtfertigt dies aber nicht ein Einstufen des Staubes als nichtstaubexplosionsfähig. Um zu dieser Aussage zu kommen sind weitergehende Untersuchungen in geschlossenen Apparaturen (20 Liter- oder 1 m³-Kugel) erforderlich.

Auch, um Schutzmaßnahmen richtig auslegen zu können, müssen Sicherheitstechnische Kenngrößen bekannt sein. Dies gilt nicht nur, wenn durch Lüftungstechnische Maßnahmen die UEG sicher unterschritten werden soll, sondern z. B. auch, wenn man das Auftreten gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre durch Inertisierung verhindern will. Dann muss die **Sauerstoffgrenzkonzentration (SGK)** bekannt sein. Die Sauerstoffgrenzkonzentration ist die maximale Sauerstoffkonzentration (bezogen auf den Stoffmengenanteil) in einem Gemisch eines brennbaren Stoffes mit Luft und inertem Gas, bei der eine Explosion nicht auftritt. Sie ist auch abhängig vom Gas, das zur Inertisierung eingesetzt wird, und wird ebenfalls unter festgelegten Versuchsbedingungen bestimmt. Grenzwerte für die Inertisierung brennbarer Gase und Dämpfe finden sich in der TRBS 2152 Teil 2 / TRGS 722 [4].

Sicherheitstechnische Kenngröße	Aussage/Schutzmaßnahme*
Korngröße	Beeinflusst das Sedimentations- und Dispersionsverhalten der Stäube; Staubpartikel mit einem Durchmesser $d > 500 \mu\text{m}$ werden allgemein als „nicht explosionsfähig“ eingestuft.
Wassergehalt	Explosionsfähigkeit deutlich reduziert, wenn $> 30 \%$.
Untere Explosionsgrenze (UEG)	Überschreiten der UEG führt zur Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre (g. e. A.); Bereiche mit UEG-Überschreitungen müssen lokalisiert und die Häufigkeit der Überschreitung muss abgeschätzt werden (Zoneneinteilung). Wird die UEG sicher unterschritten, können weitere Schutzmaßnahmen und Zoneneinteilungen reduziert werden.
Sauerstoffgrenzkonzentration (SGK)	Durch Inertisierung gezielt die Bildung einer g. e. A. verhindern.

*Die Inhalte der Tabelle sind entnommen aus den Erläuterungen des IFA zum Auftrag „Bestimmen von Brenn- und Explosionskenngrößen staubförmiger Feststoffe“[5].

2. Sicherheitstechnische Kenngrößen, die für die Beurteilung des Auftretens und der Wirksamkeit von **Zündquellen** relevant sind:

Die **Mindestzündenergie** ist die in einem Kondensator gespeicherte niedrigste Energie, die bei einer Entladung ausreichend ist, um unter festgelegten Prüfbedingungen die Zündung der zündfähigsten explosionsfähigen Atmosphäre auszulösen. Die Kenntnis der Mindestzündenergie ermöglicht es, zu beurteilen, ob Zündquellen, deren Energie bekannt ist oder abgeschätzt werden kann, für das vorliegende explosionsfähige Gemisch als wirksam anzusehen sind, d. h. durch Entzündung zu einer Explosion führen können. Für brennbare Stäube gibt es mehrere Sicherheitstechnische Kenngrößen, die Aussagen zur Zündwirksamkeit heißer Oberflächen erlauben:

Die **Mindestzündtemperatur einer Staubwolke** ist die (unter vorgeschriebenen Versuchsbedingungen ermittelte) niedrigste Temperatur einer heißen Oberfläche, bei der sich das zündwilligste Gemisch des Staubes mit Luft entzündet.

Die **Mindestzündtemperatur einer Staubschicht** ist die niedrigste Temperatur einer heißen Oberfläche, bei der die Staubschicht entzündet wird. Die Mindestzündtemperatur einer Staubschicht von 5 mm Dicke wird als **Glimmtemperatur** bezeichnet.

Entwickelt ein Staub brennbare dampf- oder gasförmige Produkte („Schwelgas“), gibt der **Schwelpunkt** die unter festgelegten Versuchsbedingungen ermittelte niedrigste Temperatur, bei der solchen Mengen an Schwelgas entwickelt werden, dass diese im Luftraum oberhalb der Schüttung durch eine kleine Flamme entzündet werden können.

Aussagen über die Ausbreitung eines Brandes in abgelagertem Staub können aus den Ergebnissen der Brennprüfung getroffen werden. Das Reaktionsverhalten bei lokaler Einwirkung einer hinreichend starken Zündquelle auf eine Staubschicht mit bestimmter Geometrie wird durch die **Brennzahl** beschrieben. Sie ist in Stufen von 1 bis 6 eingeteilt:

Brennzahl	Brennverhalten
BZ 1	keine Entzündung
BZ 2	kurze Entzündung, schnelles Erlöschen
BZ 3	örtlich begrenztes Verbrennen oder Glimmen nahezu ohne Ausbreitung oder nur örtliche Ausbreitung
BZ 4	Glimmen oder Schwelen (ohne Funken oder Flammen) oder langsames Zersetzen ohne Flammen
BZ 5	langsame Verbrennung mit Flammen oder Funken
BZ 6	sehr schnelle Verbrennung mit Flammen oder sehr schnelles Zersetzen

Insbesondere bei der Lagerung kann es ab einer gewissen Größe der Haufwerke durch exotherme Oxidationsvorgänge, deren freiwerdende Reaktionsenergie nicht mehr ausreichend an die Umgebung abgeführt wird, zur Selbstentzündung kommen. Um zu dieser Zündquelle Aussagen treffen zu können, werden Warmlagerversuche und definierten Bedingungen gemacht. Als **Selbstentzündungstemperatur** wird die höchste Lagerungstemperatur einer Staubschüttung bezeichnet, bei der bei allseitiger Wärmeeinwirkung und Anwesenheit von Sauerstoff/Luft gerade noch keine Entzündung eintritt. Die Selbstentzündungstemperatur ist abhängig vom Volumen und der Form der Schüttung, zu beachten ist auch die Dauer der Temperatureinwirkung auf das Produktvolumen.

Sicherheitstechnische Kenngröße	Aussage/Schutzmaßnahme*
Elektrischer Widerstand	Hoher elektrischer Widerstand kann zu erhöhter elektrostatischer Aufladung führen (Zündquelle), niedriger elektrischer Widerstand kann innerhalb elektrischer Kontakte zu Funkenbildung führen. Schutz elektrischer Geräte (IP5X, IP6X bei leitfähigen Stäuben).
Brennzahl	Zusätzliche Maßnahmen zum Brandschutz, zur Reinigung und Vermeidung von Zündquellen sind in Abhängigkeit von der BZ durchzuführen.
Selbsterhitzung	Zusätzliche Schutzmaßnahmen bei Lagerung in Silos und auf Halden bzw. bei dicken Staubablagerungen/-anbackungen.
Mindestzündtemperatur von abgelagertem/aufgewirbeltem Staub	Heiße Oberflächen als Zündquellen; Begrenzung der Oberflächentemperatur in Ex-Zonen.
Mindestzündenergie	Mindestzündenergie dient zur Abschätzung, ob potenzielle Zündquellen bei dem vorliegenden Staub wirksam werden können.

*Die Inhalte der Tabelle sind entnommen aus den Erläuterungen des IFA zum Auftrag „Bestimmen von Brenn- und Explosionskenngrößen staubförmiger Feststoffe“ [5].

3. Auch für Maßnahmen des **konstruktiven Explosionsschutzes** werden sicherheitstechnische Kenngrößen benötigt:

Für eine explosionsfeste Auslegung von Behältern muss der **maximale Explosionsdruck** bekannt sein. Dies ist der Höchstwert des Explosionsdruckes, der bei den Prüfungen des Explosionsdruckes gemessen wird, wenn der Anteil an brennbarem Staub in dem Gemisch variiert wird.

Sollen z. B. Maßnahmen der Explosionsunterdrückung eingesetzt werden oder sind explosionstechnische Entkopplungsmaßnahmen erforderlich, wird die **maximale Druckanstiegsgeschwindigkeit** benötigt. Diese wird meistens umgerechnet als **K_{St}-Wert** (für Stäube) angegeben. Der K_{St}-Wert ist eine staub- und prüfverfahrensspezifische, volumenunabhängige Kenngröße und zahlenmäßig gleich dem Wert des maximalen zeitlichen Druckanstiegs ((dp/dt)_{max}), der in einem 1 m³-Behälter unter vorgeschriebenen Versuchsbedingungen gemessen wird. Die Entzündung des Staub/Luft-Gemisches erfolgt dabei durch chemische Zünder mit einer Gesamtenergie von 10 kJ.

Zusammen mit dem maximalen Explosionsdruck charakterisiert der K_{St}-Wert das Reaktionsverhalten der vorliegenden explosionsfähigen Atmosphäre.

Zur Charakterisierung werden Stäube aufgrund ihrer K_{St}-Werte in Staubexplosionsklassen eingeordnet.

Staubexplosionsklasse	K _{St} -Wert [bar·m·s ⁻¹]
St 1	0 < K _{St} ≤ 200
St 2	200 < K _{St} ≤ 300
St 3	300 < K _{St}

Sicherheitstechnische Kenngröße	Aussage/Schutzmaßnahme*
Maximaler Explosions-(über)druck	Planung und Konstruktion konstruktiver Explosionsschutzmaßnahmen wie Explosionsdruckentlastung, Explosionsunterdrückung und Explosionsentkopplung.
K _{St} -Wert	Planung und Konstruktion konstruktiver Explosionsschutzmaßnahmen wie Explosionsdruckentlastung, Explosionsunterdrückung und Explosionsentkopplung.

*Die Inhalte der Tabelle sind entnommen aus den Erläuterungen des IFA zum Auftrag „Bestimmen von Brenn- und Explosionskenngrößen staubförmiger Feststoffe“ [5].

Tabellenwerke bzw. Datenbanken:

Bei Stäuben liegt die Situation anders als beim Explosionsschutz von Gas- bzw. Dampf/Luft-Gemischen. Die sicherheitstechnischen Kenngrößen hängen stark von der Korngrößenverteilung ab, so dass Daten aus den frei zugänglichen Datenbanken in der Regel nur orientierenden Charakter haben, wobei die z. B. bei GESTIS STAUB-EX aufgeführten Grenzen der Anwendbarkeit zu beachten sind. Für eine genaue Aussage zum Brenn- und Explosionsverhalten von Stäuben im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung und zur Festlegung von Schutzmaßnahmen im Einzelfall ist es jedoch sinnvoll, die erforderlichen Kenngrößen experimentell zu bestimmen. Dabei hängt es vom angestrebten oder vorhandenen Schutzkonzept ab, welche Kenngrößen bestimmt werden müssen. Im Allgemeinen ist es nicht erforderlich, alle Kenngrößen der gehandhabten Stäube untersuchen zu lassen.

1. Die **GESTIS-STaub-EX**-Stoffdatenbank [<https://www.dguv.de/ifa/gestis/gestis-staub-ex/index.jsp>] enthält wichtige Brenn- und Explosionskenngrößen von über 6000 Staubproben aus nahezu allen Branchen, der Zugriff ist ohne Anmeldung kostenfrei möglich.
2. Im **Stoffinformationssystem GSBLpublic** ist die **GSBL-Datenbank Stäube**, ein gemeinsamer zentraler Stoffdatenpool von Bund und Ländern, mit sicherheitstechnischen Kenngrößen in Gruppen zusammengefasster Einzelstäube (Basis: GESTIS-STaub-EX Datenbank). Angegeben werden Bandbreiten, in denen sich die sicherheitstechnischen Kenngrößen der Staubgruppen bewegen können sowie deren bewertete sicherheitsrelevante Grenzwerte. Unter GSBLpublic (www.gsbl.de) besteht ein freier Zugang zur Datenbank, die Recherche in nach den Bandbreiten sicherheitstechnischer Kenngrößen brennbarer Stäube ist kostenlos.
3. Das Gefahrstoffinformationssystem Chemikalien **GisChem** [<https://www.gischem.de/index.htm>] der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI) und der Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM) enthält neben Gefahrstoffdaten verschiedene Module, z. B. „GisChem-Interaktiv“ zur Erstellung eigener Betriebsanweisungen, „Gefahrstoffverzeichnis“ oder „Gemischrechner“ zur Einstufung von Gemischen nach der CLP-Verordnung.
5. Das Gefahrstoffinformationssystem **GisBau** [<https://www.bgbau.de/gisbau>] der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft enthält umfassende Informationen über Gefahrstoffe beim Bauen, Renovieren und Reinigen, Muster-Betriebsanweisungen gemäß §14 der Gefahrstoffverordnung, verschiedene Handlungsanleitungen und Broschüren zur Gefahrstoffproblematik,

Zum Nach- und Weiterlesen:

- [1] Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Sicherheitstechnische Kenngrößen von Stäuben bei nicht-atmosphärischen Bedingungen“,
https://www.bgrci.de/fileadmin/BGRCI/Downloads/DL_Praevention/Explosionsschutzportal/Wissen/Forschungsbericht - SKG von St%C3%A4uben bei nicht-atmosph%C3%A4rischen Bedingungen.pdf
- [2] Die Hintergrundinformationen zur GESTIS STAUB-EX Datenbank (Fortschreibung des BIA-Reports 12/97 „Brenn- und Explosionskenngrößen von Stäuben“ mit Stand 2/2001) beschreiben nicht nur die Untersuchungsverfahren zur Bestimmung der sicherheitstechnischen Kenngrößen von Stäuben, sondern erläutern auch, welche Kenngrößen bei welchen Schutzmaßnahmen zu beachten sind.
https://www.dguv.de/medien/ifa/de/gestis/staub_ex/manual45.pdf
- [3] TRBS 2152 / TRGS 720 „Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre - Allgemeines“, derzeit [12/2018] in Überarbeitung
- [4] TRBS 2152 Teil 2 / TRGS 722 „Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre“, derzeit [12/2018] in Überarbeitung
- [5] Erläuterungen des IFA zum Auftrag „Bestimmen von Brenn- und Explosionskenngrößen staubförmiger Feststoffe“,
https://www.dguv.de/medien/ifa/de/gestis/staub_ex/erlaueterungen_2015.pdf