

DIN EN 14491

ICS 13.230

Ersatz für
DIN EN 14491:2007-08 und
DIN EN 14491
Berichtigung 1:2009-03

**Schutzsysteme zur Druckentlastung von Staubexplosionen;
Deutsche Fassung EN 14491:2012**

Dust explosion venting protective systems;
German version EN 14491:2012

Systèmes de protection par évent contre les explosions de poussières;
Version allemande EN 14491:2012

Gesamtumfang 45 Seiten

Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG) im DIN

Nationales Vorwort

Diese Norm enthält sicherheitstechnische Festlegungen.

Dieses Dokument (EN 14491:2012) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 305 „Explosionsfähige Atmosphären — Explosionsschutz“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 095-02-01 AA „Explosionsschutzeinrichtungen (außer Flammendurchschlagsicherungen)“ im Normenausschusses Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG).

Änderungen

Gegenüber DIN EN 14491:2007-08 und DIN EN 14491 Berichtigung 1:2009-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) zusätzliche Erläuterungen und Erklärungen hinsichtlich hybrider Gemische aufgenommen;
- b) Neustrukturierung von 6.2.3;
- c) neue Gleichung (24) eingeführt;
- d) frühere Gleichung (17) modifiziert und in den neuen Abschnitt 6.2.3.3 übernommen;
- e) 6.2.5 „Auswirkungen flammenloser Explosionsdruck Entlastungseinrichtungen“ durch einen Hinweis auf eine vorgesehene Norm zu flammenlosen Explosionsdruck Entlastungseinrichtungen ersetzt;
- f) Anhang A (informativ), der den Einfluss von Filterelementen auf die Explosionsentlastung behandelt, hinzugefügt;
- g) Anhang B (informativ), der die Gestaltung der Einrichtung zur Explosionsdruckentlastung von Fliehkraftabscheidern behandelt, hinzugefügt;
- h) Anhang A in Anhang C unbenannt, Beispiele neu berechnet;
- i) weiteres Beispiel und Bild C.8 hinzugefügt;
- j) Abschnitt 5.5 in einen informativen Anhang D „Schutz von Gebäuden“ überführt;
- k) Abschnitt 7.2.4 in einen informativen Anhang E „Ablenkvorrichtungen“, redaktionell überarbeitet, überführt;
- l) Anhang F mit den signifikanten Änderungen im Vergleich zur vorherigen Fassung hinzugefügt;
- m) neue Literaturhinweise hinzugefügt.

Frühere Ausgaben

DIN EN 14491: 2006-07, 2007-08
DIN EN 14491 Berichtigung 1: 2009-03

Deutsche Fassung

Schutzsysteme zur Druckentlastung von Staubexplosionen

Dust explosion venting protective systems

Systèmes de protection par évent contre les explosions de poussières

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 30. Juni 2012 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN-CENELEC oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	4
4 Druckentlastung von Gehäusen	6
5 Bemessung der Entlastungsflächen	7
5.1 Allgemeines	7
5.2 Druckentlastung von einzelnen Gehäusen	8
5.3 Besondere Staubwolkenzustände	9
5.3.1 Allgemeines	9
5.3.2 Pneumatische Förderung mit axialer Produkteinleitung in Behältern und Silos	9
5.3.3 Pneumatische Förderung mit tangentialer Produkteinleitung in Behälter und Silos	11
5.3.4 Befüllung im freien Fall	12
5.4 Schutz von miteinander verbundenen Behältern	12
5.5 Schutz von Rohren	13
5.6 Einflüsse von Abblasrohren	14
5.7 Konstruktive Gestaltung von Abblasrohren	15
5.8 Hybride Gemische	16
6 Zusätzliche Hinweise für die Ausführung	17
6.1 Allgemeines	17
6.2 Explosionswirkungen außerhalb der Entlastungsöffnung	17
6.2.1 Allgemeines	17
6.2.2 Flammenwirkungen	17
6.2.3 Druckwirkungen	18
6.2.4 Wirkungen von flammenlosen Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen	20
6.2.5 Rückstoßkräfte	20
6.2.6 Unterdrucksicherungen	21
7 Kennzeichnung	21
8 Benutzerinformation	21
Anhang A (informativ) Explosionsdruckentlastung von Staubfiltern	23
Anhang B (informativ) Explosionsdruckentlastung von Fliehkraftabscheidern (Zyklonen)	25
Anhang C (informativ) Abschätzung des L/D Verhältnisses bei der Berechnung von Entlastungsflächen für lang gestreckte Gehäuse	26
Anhang D (informativ) Schutz von Gebäuden	33
D.1 Allgemeines	33
D.2 Berechnung der Entlastungsfläche	34
D.3 Berechnung der inneren Oberfläche	35
Anhang E (informativ) Ablenkvorrichtungen	36
Anhang F (informativ) Signifikante Änderungen zwischen dieser Europäischen Norm und EN 14491:2006	38
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 94/9/EG	41
Literaturhinweise	42

Vorwort

Dieses Dokument (EN 14491:2012) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 305 „Explosionsfähige Atmosphären — Explosionsschutz“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Februar 2013, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Februar 2013 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN 14491:2006, EN 14491:2006/AC:2008.

Im Anhang F sind die signifikanten Änderungen dieser Europäischen Norm gegenüber der Vorgängernorm im Einzelnen aufgeführt.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinie 94/9/EG.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt die grundlegenden Anforderungen an die konstruktive Gestaltung und für die Auswahl eines Schutzsystems zur Druckentlastung von Staubexplosionen fest. Diese Norm wurde im Rahmen der Reihe erstellt, zu der EN 14797, *Einrichtungen zur Explosionsdruckentlastung*, und EN 14460, *Explosionsfeste Geräte*, gehören. Die drei Normen zusammen bilden das Konzept der Druckentlastung von Staubexplosionen. Zur Vermeidung der Übertragung von Explosionen auf andere in Verbindung stehende Einrichtungen sollte auch EN 15089 *Explosions-Entkopplungssysteme* beachtet und angewendet werden.

Diese Europäische Norm deckt Folgendes ab:

- Größe der Entlastungsöffnung, um gegen die inneren Druckauswirkungen einer Staubexplosion zu schützen;
- Auswirkungen von Flammen und von Druck außerhalb des Behälters;
- Rückstoßkräfte;
- Einfluss der Abblasrohre;
- hybride Gemische.

Diese Europäische Norm gibt keine Gestaltungs- und Anwendungsvorschriften, durch die Auswirkungen von Detonationsreaktionen oder unkontrollierten exothermen Reaktionen vermieden werden können. Brandgefahren, die entweder von den verarbeiteten Materialien, von den vom Gerät benutzten oder freigesetzten Materialien ausgehen oder die durch Materialien hervorgerufen werden, aus denen Geräte und Gebäude bestehen, sind nicht Gegenstand dieser Europäischen Norm. Konstruktive Gestaltung, Fertigung, Prüfung und Zertifizierung von Einrichtungen, die im Fall von Explosionen für die Druckentlastung verwendet werden, sind ebenfalls nicht Gegenstand dieser Europäischen Norm.¹⁾

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 13237:2003, *Explosionsgefährdete Bereiche — Begriffe für Geräte und Schutzsysteme zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen*

EN 14460:2006, *Explosionsfeste Geräte*

EN 14797:2006, *Einrichtungen zur Explosionsdruckentlastung*

EN 15089, *Explosions-Entkopplungssysteme*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 13237:2003, EN 14460:2006 und die folgenden Begriffe.

3.1 Gebäude
umschlossener, überdachter Raum, der eine Arbeitsumgebung enthält, zu der, entweder zusammen oder getrennt, eine Anlage, Büros und Personal gehören können; der Raum selbst ist jedoch nicht Teil der Prozessanlage

1) Diese Punkte werden in EN 14797 behandelt.

3.2

Gehäuse

Behälter, der einen eigenen und erkennbaren Teil einer Anlage bildet, und bei dem der in dieser Europäischen Norm beschriebene Explosionsschutz durch Druckentlastung angewendet werden kann

3.3

hybrides Gemisch

Gemisch von Luft und brennbaren Stoffen, in unterschiedlichen Aggregatzuständen

[QUELLE: EN 13237:2003]

3.4

Staubexplosionskonstante

K_{St}

höchster Druckanstieg je Zeiteinheit $(dp/dt)_{max}$ bei Explosion einer bestimmten explosionsfähigen Atmosphäre unter Beteiligung von Staub in einem geschlossenen Behälter, der unter festgelegten Prüfbedingungen ermittelt wurde, und auf ein Behältervolumen von 1 m^3 multipliziert mit $V^{1/3}$ normalisiert wurde

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe EN 14034-2.

3.5

Staubexplosionskonstante

K_G

höchster Druckanstieg je Zeiteinheit $(dp/dt)_{max}$ während einer Explosion einer bestimmten explosionsfähigen Atmosphäre unter Beteiligung von Gas oder Dampf in einem geschlossenen Behälter, der unter festgelegten Prüfbedingungen ermittelt wurde, und auf ein Behältervolumen von 1 m^3 multipliziert mit $V^{1/3}$ normalisiert wurde

[QUELLE: EN 14994:2007, 3.8, modifiziert]

3.6

geometrische Entlastungsfläche

A_v

Verhältnis aus erforderlicher Entlastungsfläche A und Entlastungsfähigkeit E_f der Entlastungseinrichtung

Anmerkung 1 zum Begriff: Es ist der Mindestquerschnitt des Durchflussbereichs der Entlastungsöffnung unter Berücksichtigung der möglichen Querschnittverringerung, z. B. durch eine Vakuumstütze, Befestigungselemente und Teile der Druckentlastungseinrichtungen, die nach dem Bersten oder der Druckentlastung verbleiben.

3.7

erforderliche Entlastungsfläche

A

für die Explosionsdruckentlastung, ausgehend von einer optimalen Entlastungsfähigkeit, erforderliche Entlastungsfläche

3.8

Überdruck

erforderlicher Druck der Entlastungsfläche oberhalb des Umgebungsdrucks

3.9

maximaler Explosionsüberdruck

p_{max}

unter festgelegten Prüfbedingungen ermittelter maximaler Überdruck, der in einem geschlossenen Behälter bei der Explosion einer explosionsfähigen Atmosphäre auftritt

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe EN 14034-1.

3.10

Rohr

Verbindung zwischen zwei oder mehr Behältern

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Rohr kann nicht durch die in dieser Europäischen Norm beschriebenen Druckentlastungsverfahren für Behälter gegen Explosionen geschützt werden.

3.11

explosionsfähige Atmosphäre

Gemisch aus Luft und brennbaren (entzündlichen) Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben unter atmosphärischen Bedingungen, in dem sich der Verbrennungsvorgang nach erfolgter Entzündung auf das gesamte unverbrannte Gemisch überträgt

3.12

maximaler reduzierter Explosionsüberdruck

$p_{red,max}$

durch die Explosion einer explosionsfähigen Atmosphäre in einem entweder durch Explosionsentlastung (Druckentlastung) oder Explosionsunterdrückung geschützten Behälter hervorgerufener maximaler Überdruck

3.13

maximaler zeitlicher Druckanstieg

$(dp/dt)_{max}$

unter festgelegten Prüfbedingungen ermittelter höchster zeitlicher Druckanstieg in einem geschlossenen Behälter, der bei der Explosion von allen explosionsfähigen Gemischen innerhalb des Explosionsbereiches eines brennbaren Stoffes auftritt

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Kenngröße ist gleich der Kenngröße K_{St} , falls der Prüfbehälter ein Volumen von 1 m³ hat, wobei die Einheit des K_{St} -Wertes bar·m·s⁻¹ ist, wohingegen die Einheit des $(dp/dt)_{max}$ bar·s⁻¹ ist.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe EN 14034-2.

3.14

maximaler Überdruck im Außenraum

$p_{ext,max}$

Höchstwert des Überdrucks im Außenraum, der durch eine druckentlastete Staubexplosion erzeugt wird

3.15

statischer Ansprechüberdruck

p_{stat}

Differenzdruck bei dem die Zuhalteeinrichtung anspricht, so dass sich das Druckentlastungselement öffnen kann

[QUELLE: EN 14797:2006, 3.11]

3.16

Unterdrucksicherung

Einrichtung, die eine Beschädigung des Behälters verhindert, wenn der Innendruck unter den atmosphärischen Druck fällt

4 Druckentlastung von Gehäusen

Explosionsdruckentlastung ist eine Schutzmaßnahme für Gehäuse, durch die unannehmbar hohe innere Explosionsüberdrücke verhindert werden. Schwache Bereiche in den Gehäusewänden öffnen sich in einer frühen Phase der Explosion, brennendes und/oder unverbranntes Material und Verbrennungsprodukte werden freigesetzt, und der Überdruck innerhalb des Gehäuses wird reduziert. Zu den für die Berechnung der Entlastungsfläche erforderlichen Informationen gehören die Explosionsfestigkeit des Gehäuses, die Explosionseigenschaften des Staubes, Form und Größe des Gehäuses, der statische Ansprechüberdruck und weitere Eigenschaften der Entlastungsvorrichtung sowie der Zustand der Staubwolke im Gehäuse inneren.

Eine Explosionsdruckentlastung darf nicht durchgeführt werden, wenn unzulässig große Mengen an Material freigesetzt werden können, die als toxisch, korrodierend, reizend, Krebs erregend, Missbildungen oder Mutationen hervorbringend eingestuft sind. Sowohl der Staub als auch die Verbrennungsprodukte können eine Gefährdung für die unmittelbare Umgebung darstellen. Gibt es keine Alternative zur Explosionsdruckentlastung, muss ein gefährdeter Bereich festgelegt werden.

ANMERKUNG 1 Es gibt keine unmittelbare Anleitung für die Beurteilung eines durch toxische oder andere schädliche Emissionen gefährdeten Bereichs, jedoch gibt der nach den Gleichungen in 6.2 berechnete sichere Bereich für den Flammenausstoß von außen einige Hinweise auf den erforderlichen Bereich in direkter Linie von der Entlastungsöffnung aus. Schädliche Emissionen werden jedoch durch Luftbewegungen verteilt, und es kann ein ausgedehnter Bereich zu den Seiten hin erforderlich sein.

Diese Europäische Norm muss zusammen mit EN 14797 und EN 14460 angewendet werden.

Durch Druckentlastung wird eine Explosion weder verhindert noch gelöscht; es erfolgt lediglich eine Begrenzung des Explosionsüberdrucks. Es muss mit Flammen- und Druckauswirkungen außerhalb des Gehäuses sowie mit weg geschleuderten Teilen gerechnet werden, und es müssen geeignete Schutzmaßnahmen getroffen werden. Es können auch Brände im Gehäuseinneren ausbrechen.

ANMERKUNG 2 Wenn die Brände im Inneren des druckentlasteten Gehäuses nach der Explosion anhalten, kann der Behälter dadurch beschädigt werden, selbst wenn er vor durch Überdruck verursachte Beschädigungen geschützt ist.

Die Zunahme des Länge-Durchmesser-Verhältnisses eines Gehäuses führt zu einer Zunahme der Geschwindigkeit der Flammenausbreitung. Bei der Gleichung zur Bestimmung der Größe der Entlastungsöffnung (siehe Abschnitt 5) ist diese Tatsache berücksichtigt. Gehäuse in dieser Europäischen Norm sind auf $L/D \leq 20$ begrenzt.

In einem System, das aus miteinander verbundenen Gehäusen besteht, kann sich eine in einem Gehäuse ausgelöste Staubexplosion durch die Verbindung ausbreiten, verstärkt Turbulenzen hervorrufen, möglicherweise zu einer Vorverdichtung des explosionsfähigen Gemisches führen und dann eine große Zündquelle in diesem Gehäusesystem darstellen. Diese Wirkungskombination kann die Heftigkeit der Sekundärexplosion verstärken; die Anforderungen an die Druckentlastung des Systems müssen daher erhöht oder die Gehäuse voneinander explosionstechnisch entkoppelt werden (siehe 5.4).

Staubexplosionen im Inneren können Gebäude oder Gebäudeteile gefährden; durch die Anwendung der Explosionsdruckentlastung kann die Unversehrtheit der Gebäude gesichert werden. Ein gesondertes Verfahren für die Berechnung der Anforderungen an die Druckentlastung von Gebäuden ist in Anhang D angegeben.

Innere oder äußere Einbauten, die einen Einfluss auf die Entlastungsfähigkeit ausüben, müssen berücksichtigt werden. Im Zusammenhang mit der Lage und der Anordnung der Entlastungsfläche müssen Rückstoßkräfte berücksichtigt werden. Einrichtungen zur Explosionsdruckentlastung müssen so angeordnet werden, dass die Wirksamkeit des Entlastungsprozesses nicht behindert wird. Bei der Positionierung muss beachtet werden, dass durch die Druckentlastung keine Gefährdung für Personen und benachbarte Anlagen entsteht. Bei kleinen und relativ symmetrischen Gehäusen kann eine große Entlastungsöffnung zu der gleichen Wirkung führen wie mehrere kleine Entlastungsöffnungen mit gleich großer Gesamtfläche. Bei großen Gehäusen wird empfohlen, mehrere Entlastungsöffnungen so gleichmäßig wie möglich über die Oberfläche des Gehäuses verteilt anzuordnen.

ANMERKUNG 3 Bei der Anwendung der in dieser Norm enthaltenen Gleichungen ist es wichtig, die richtigen Einheiten zu verwenden, bei denen es sich nicht immer um SI-Einheiten handelt. Die Einheiten sind für jeden Kennwert in den Anwendungsgrenzen angegeben. Wird in den Gleichungen ein Logarithmus angewendet, ist $\log_{10}$ gemeint.

5 Bemessung der Entlastungsflächen

5.1 Allgemeines

Der wichtigste Gesichtspunkt bei der konstruktiven Gestaltung der Entlastungsöffnungen ist deren genaue Größenbestimmung. Die Größe der Entlastungsöffnung hängt von den Explosionseigenschaften des Staubes, dem Zustand der Staubwolke (Konzentration, Turbulenz und Verteilung), der geometrischen Gestaltung des Gehäuses und der Ausführung der Druckentlastungseinrichtung ab.

Zwei Explosionseigenschaften des Staubes sind der maximale Überdruck $p_{\max}$ und die Staubexplosionskonstante K_{St} . Bei kubischen Gehäusen sind $p_{\max}$ und K_{St} im Wesentlichen unabhängig vom Gehäusevolumen.

Das Gehäusevolumen und das für die Gehäuseform und die Lage der Entlastungsöffnung maßgebliche Länge-Durchmesser-Verhältnis L/D sind für die Größenbestimmung der Entlastungsöffnungen erforderlich. Die Explosionsfestigkeit des Gehäuses $p_{red,max}$ ist ebenfalls für die Bemessung der Entlastungsöffnungen erforderlich. Alle dem Explosionsdruck ausgesetzten Gehäuseteile, z. B. Ventile, Sichtfenster, Einstiegsöffnungen und Kanäle, müssen berücksichtigt werden, und die Explosionsfestigkeit des schwächsten Teils muss als Explosionsfestigkeit für das Gehäuse gelten.

Die beiden Hauptkenngrößen der Druckentlastungseinrichtung sind der statische Ansprechüberdruck p_{stat} und die Entlastungsfähigkeit der Druckentlastungseinrichtung. Bei der Größenbestimmung der Entlastungsöffnungen kann der Nennwert des statischen Ansprechdrucks p_{stat} verwendet werden, sofern der Toleranzbereich des statischen Ansprechüberdrucks nicht mehr als $\pm 25\%$ beträgt. Anderenfalls muss der Höchstwert des Toleranzbereichs des statischen Ansprechüberdrucks verwendet werden.

A ist die erforderliche Entlastungsfläche, mit der das Gehäuse ausgestattet werden muss, in der Annahme, dass die Entlastungsfähigkeit der Druckentlastungseinrichtung 1 beträgt und folglich die effektive Druckentlastungsfläche gleich der geometrischen Druckentlastungsfläche ist. Bei einigen Druckentlastungseinrichtungen beträgt die Entlastungsfähigkeit weniger als 1; die effektive Druckentlastungsfläche ist daher kleiner als die geometrische Druckentlastungsfläche. Um die niedrigere Entlastungsfähigkeit der Druckentlastungseinrichtung auszugleichen, muss die geometrische Entlastungsfläche A_v größer als die erforderliche Entlastungsfläche A sein.

$$A_v = A / E_f \quad (E_f: \text{Entlastungsfähigkeit}) \quad (1)$$

ANMERKUNG Einzelheiten siehe EN 14797.

5.2 Druckentlastung von einzelnen Gehäusen

Die folgenden Gleichungen sind dafür ausgelegt, die Druckentlastungsflächen für die meisten praktischen Anwendungen zu berechnen: ein Gehäuse, der vollständig mit einer im turbulenten Zustand befindlichen Staubwolke mit einer optimalen Staubkonzentration gefüllt ist.

Die Gleichungen gelten für einzeln angeordnete Gehäuse, bei denen geeignete Maßnahmen (explosions-technische Entkopplung) ergriffen wurden, um eine Flammenausbreitung zwischen den Gehäusen zu verhindern.

Die folgenden Gleichungen ermöglichen die Berechnung der erforderlichen Entlastungsfläche A für Gehäuse. Die erforderliche Entlastungsfläche kann in der praktischen Anwendung in mehrere Einzelflächen unterteilt werden, sofern deren Gesamtfläche der erforderlichen Entlastungsfläche entspricht,:

a) $0,1 \text{ bar Überdruck} \leq p_{red,max} < 1,5 \text{ bar Überdruck}$

$$A = B (1 + C \times \log L/D) \quad \text{in m}^2 \quad (2)$$

mit

$$B = \left[3,264 \cdot 10^{-5} \times p_{\max} \times K_{St} \times p_{red,max}^{-0,569} + 0,27 \times (p_{stat} - 0,1) \times p_{red,max}^{-0,5} \right] \times V^{0,753} \quad (3)$$

$$C = (-4,305 \times \log p_{red,max} + 0,758) \quad (4)$$

b) $1,5 \text{ bar Überdruck} \leq p_{red,max} \leq 2,0 \text{ bar Überdruck}$

$$A = B \quad (5)$$

Die Gleichungen gelten für:

Gehäusevolumina	$0,1 \text{ m}^3 \leq V \leq 10\,000 \text{ m}^3$;
statischen Ansprechüberdruck der Druckentlastungseinrichtung	$0,1 \text{ bar} \leq p_{\text{stat}} \leq 1 \text{ bar}$; für $p_{\text{stat}} < 0,1 \text{ bar}$ ist $p_{\text{stat}} = 0,1 \text{ bar}$ anzuwenden;
maximalen reduzierten Explosionsüberdruck	$0,1 \text{ bar} < p_{\text{red,max}} \leq 2 \text{ bar}$; und $p_{\text{red,max}}$ muss mindestens p_{stat} + das Doppelte des Toleranzbereichs von p_{stat} betragen;
K_{st} und maximalen Explosionsüberdruck	$5 \text{ bar} \leq p_{\text{max}} \leq 10 \text{ bar}$ für eine spezifische Staubexplosionskonstante von $10 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \leq K_{\text{st}} \leq 300 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $5 \text{ bar} \leq p_{\text{max}} \leq 12 \text{ bar}$ für eine spezifische Staubexplosionskonstante von $300 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} < K_{\text{st}} \leq 800 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;
Prozess-Anfangsbedingungen	Bedingungen innerhalb des geschützten Gehäuses im Moment der Zündung: — absoluter Druck $\leq 110 \text{ kPa}$; — Sauerstoffkonzentration $\leq 21 \text{ } \%$; — Temperatur zwischen $-20 \text{ } ^\circ\text{C}$ und $+60 \text{ } ^\circ\text{C}$; ANMERKUNG 1 Die Gleichungen können außerhalb dieses Temperaturbereichs angewendet werden, wenn die Explosionseigenschaften bezüglich der tatsächlichen Prozessbedingungen korrigiert sind.
Länge-Durchmesser-Verhältnis des Behälters	$1 \leq L/D \leq 20$ ANMERKUNG 2 Beispiele zur Berechnung von L/D sind in Anhang C angegeben.

Wenn eine oder mehrere der oben genannten Bedingungen nicht erfüllt sind, muss die Anwendbarkeit der oben angegebenen Gleichung verifiziert werden.

5.3 Besondere Staubwolkenzustände

5.3.1 Allgemeines

In 5.3 sind Berechnungen zur Ermittlung von Entlastungsflächen für bestimmte, durch Prüfung verifizierte Situationen angegeben. Entlastungsflächen, deren Größen in Übereinstimmung mit 5.3 ermittelt wurden, können für diese spezifischen Situationen angewendet werden, vorausgesetzt, die Parameter bleiben innerhalb ihrer für die Gleichung gegebenen Gültigkeitsbereiche.

5.3.2 Pneumatische Förderung mit axialer Produkteinleitung in Behältern und Silos

Für die pneumatische Befüllung von Behältern, bei denen das Förderrohr axial etwa in der Mitte des Behälterdachs angeordnet ist, dürfen die nachfolgenden empirischen Zahlenwertgleichungen zur Berechnung der erforderlichen Entlastungsfläche A verwendet werden.

ANMERKUNG 1 Ein typisches Beispiel ist ein Silo, bei dem die Befüllung durch ein Förderrohr in der Mitte des Behälterdachs erfolgt.

Für Behälter mit einer Höhe $L \leq 10$ m:

$$A = X(1 + Y \times \log(L/D)) \quad \text{in m}^2 \quad (6)$$

Für Behälter mit einer Höhe $L > 10$ m:

$$A = 0,1 \times L \times X(1 + Y \times \log(L/D)) \quad \text{in m}^2 \quad (7)$$

Dabei ist

$$X = (1/D_Z \times (8,6 \times \log p_{\text{red,max}} - 6) - 5,5 \times \log p_{\text{red,max}} + 3,7) \times 0,011 \times K_{\text{St}} \times D_F \quad (8)$$

$$Y = 1,0715 \times p_{\text{red,max}}^{-1,27} \quad (9)$$

Dabei ist

L/D das Länge-Durchmesser-Verhältnis des Behälters;

ANMERKUNG 2 Beispiele zur Berechnung von L/D sind in Anhang C angegeben.

D_F der Durchmesser des Förderrohres;

D_Z der effektive Durchmesser des Behälters, der folgendermaßen berechnet wird:

$$D_Z = 3 \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}} \quad (10)$$

Die Gleichungen gelten für:

eine axiale Befüllung etwa mittig **von oben** über **ein** Förderrohr mit einem Durchmesser D_F (in m) in einen Behälter/ein Silo ohne Einbauten (ausgenommen Messeinrichtungen);

Behältervolumina $10 \text{ m}^3 \leq V \leq 250 \text{ m}^3$;

maximalen Volumenstrom $2\,500 \text{ m}^3/\text{h}$;

Förderluftgeschwindigkeiten $v_L \leq 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;

Rohrdurchmesser $D_F \leq 0,3 \text{ m}$;

statischen Ansprechüberdruck der Druckentlastungseinrichtung $p_{\text{stat}} \leq 0,1 \text{ bar}$;

maximalen reduzierten Explosionsüberdruck $0,1 \text{ bar} < p_{\text{red,max}} \leq 2 \text{ bar}$; und
 $p_{\text{red,max}}$ muss mindestens p_{stat} + das Doppelte des Toleranzbereichs von p_{stat} betragen;

maximalen Explosionsüberdruck $p_{\text{max}} \leq 9 \text{ bar}$;

spezifische Staubexplosionskonstante $50 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \leq K_{\text{St}} \leq 300 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

ANMERKUNG 3 Die Gleichungen können für Behälter mit integrierten Filtern angewendet werden, solange das die Filterelemente Hüllvolumen weniger als 5 % des Gesamtvolumens des Behälters beträgt. Die Druckfestigkeit dieser integrierten Filter sollte mindestens der Druckfestigkeit des Behälters entsprechen. Für über dem Behälter angebrachte Filter mit einer Schütte in den Behälter sind eine Explosions-Entkopplung und eine Explosionsdruckentlastung dieser Filter erforderlich.

5.3.3 Pneumatische Förderung mit tangentialer Produkteinleitung in Behälter und Silos

Für die pneumatische Befüllung von Behältern, bei denen das Förderrohr tangential am Umfang am oberen Ende des Behälters angebracht ist, dürfen die folgenden empirischen Gleichungen zur Berechnung der erforderlichen Entlastungsfläche A verwendet werden:

$$A = X(1 + Y \cdot \log(L/D)) \quad \text{in m}^2 \quad (11)$$

mit

$$X = ((1/D_Z)((8,6/k) \log p_{\text{red,max}} - (K_{\text{St}}/44) - 0,513) - (5,5/k) \log p_{\text{red,max}} + (K_{\text{St}}/69) + 0,191) \times 0,011 \times K_{\text{St}} \times D_F \quad (12)$$

$$Y = 0,166 \times e^{\frac{K_{\text{St}}}{129}} \times p_{\text{red,max}}^{\frac{-1,27}{k}} \quad (13)$$

mit

$$k = 1 \text{ für } 0,1 \text{ bar} \leq p_{\text{red,max}} \leq 1 \text{ bar};$$

$$k = 2 \text{ für } 1 \text{ bar} < p_{\text{red,max}} \leq 1,7 \text{ bar}.$$

Die Gleichungen gelten unabhängig von der Produktbeladung des Förderstroms bei tangentialer pneumatischer Befüllung für:

eine tangentiale Produkteinleitung über **ein** Förderrohr mit einem Durchmesser von $D_F \leq 0,2 \text{ m}$;

runde Behälter/Silos, ohne Einbauten (ausgenommen Messeinrichtungen);

Behältervolumina $10 \text{ m}^3 \leq V \leq 120 \text{ m}^3$;

Länge-Durchmesser-Verhältnis L/D mit $1 \leq L/D \leq 5$;

ANMERKUNG 1 Beispiele zur Berechnung von L/D sind in Anhang C angegeben.

maximalen Volumenstrom $2\,500 \text{ m}^3/\text{h}$;

Förderluftgeschwindigkeiten von $v_L \leq 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;

statischen Ansprechüberdruck der Druckentlastungseinrichtung $p_{\text{stat}} \leq 0,1 \text{ bar}$;

maximalen reduzierten Explosionsüberdruck $0,1 \text{ bar} < p_{\text{red,max}} \leq 1,7 \text{ bar}$; und $p_{\text{red,max}}$ muss mindestens p_{stat} plus das Doppelte des Toleranzbereichs von p_{stat} betragen;

maximalen Explosionsüberdruck $p_{\text{max}} \leq 9 \text{ bar}$;

spezifische Staubexplosionskonstante $100 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \leq K_{\text{St}} \leq 220 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

D_Z wird nach Gleichung (10) berechnet.

Alternativ darf die Berechnung nach 5.3.2 unter den dort angegebenen Randbedingungen erfolgen.

ANMERKUNG 2 Die Gleichungen können für Behälter mit integrierten Filtern angewendet werden, solange das Hüllvolumen der Filterelemente weniger als 5 % des Gesamtvolumens des Behälters beträgt. Die Druckfestigkeit dieser integrierten Filter sollte mindestens der Druckfestigkeit des Behälters entsprechen. Für über dem Behälter angebrachte Filter mit einer Schütte in den Behälter sind eine Explosions-Entkopplung und eine Explosionsdruckentlastung dieser Filter erforderlich.

5.3.4 Befüllung im freien Fall

Bei der Befüllung im freien Fall (durch Schwerkraft), z. B. über eine Zellenradschleuse oder eine Förderschnecke, dürfen die Gleichungen (6) bis (10) zur Berechnung der erforderlichen Entlastungsfläche herangezogen werden.

Die Förderrate ist auf höchstens $8\,000\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ zu begrenzen, und der (äquivalente) Durchmesser der Füllöffnung ist anstelle von D_F in die Gleichungen einzusetzen. Ansonsten gelten die gleichen Bedingungen wie für die Zahlenwertgleichungen in 5.3.2.

ANMERKUNG Die Gleichungen können für Behälter mit integrierten Filtern angewendet werden, solange das die Filterelemente Hüllvolumen weniger als 5 % des Gesamtvolumens des Behälters beträgt. Die Druckfestigkeit dieser integrierten Filter sollte mindestens der Druckfestigkeit des Behälters entsprechen. Für über dem Behälter angebrachte Filter mit einer Schütte in den Behälter sind eine Explosions-Entkopplung und eine Explosionsdruckentlastung dieser Filter erforderlich.

5.4 Schutz von miteinander verbundenen Behältern

5.4.1 Die Gleichungen (1) bis (5) ergeben zu kleine Entlastungsflächen, wenn eine Staubexplosion aus einem Behälter über ein Rohr in einen anderen Behälter übertragen wird. Gesteigerte Turbulenz, großflächige Flammenstrahlzündung sowie Druckaufbau (Vorverdichtung) können insbesondere bei Rohrleitungslängen $> 6\text{ m}$ zu einer erhöhten Explosionsheftigkeit führen. Das führt zu einem überhöhten maximalen reduzierten Explosionsüberdruck. Explosionstechnische Entkopplungsmaßnahmen im Verbindungsrohr sind daher in den meisten Fällen notwendig.

In den nächsten Abschnitten werden zwei alternative Verfahren für bestimmte Situationen ohne Explosions-Entkopplung vorgestellt.

5.4.2 Eine Explosionsdruckentlastung ohne explosionstechnische Entkopplungsmaßnahmen darf für Behälter angewendet werden, die mit Rohren mit Nennweiten bis 300 mm und Rohrlängen bis 6 m verbunden sind, sowie für Stäube mit K_{St} -Werten nicht über $200\text{ bar}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, wenn folgende Kriterien erfüllt werden:

- a) bei gleich großen Behältern (Unterschied der Volumina nicht größer als 10 %) sind beide Behälter nach den Gleichungen (1) bis (5) zu entlasten;
- b) bei unterschiedlich großen Behältern sind die Entlastungsflächen mit einem maximalen reduzierten Explosionsüberdruck von $p_{red,max} \leq 1,0\text{ bar}$ zu berechnen. Der Auslegungsüberdruck jedes Behälters muss mindestens 2 bar betragen. Besteht keine Möglichkeit, den kleineren Behälter zu entlasten, muss dieser Behälter explosionsfest für den maximalen Explosionsüberdruck ausgelegt werden, und die Entlastungsfläche des größeren Behälters ist zu verdoppeln. Besteht keine Möglichkeit, den größeren Behälter entsprechend zu entlasten, ist die Anwendung der Schutzmaßnahme Explosionsdruckentlastung ohne explosionstechnische Entkopplung nicht möglich.

Der statische Ansprechüberdruck der Druckentlastungseinrichtung, p_{stat} , muss niedriger als $0,2\text{ bar}$ sein.

5.4.3 Eine Explosionsdruckentlastung ohne explosionstechnische Entkopplungsmaßnahmen darf für Behälter mit Volumina $\leq 20\text{ m}^3$ angewendet werden, die mit Rohren mit Nennweiten bis 500 mm und Rohrlängen bis 15 m verbunden sind, wenn folgende Kriterien erfüllt werden:

- a) bei K_{St} -Werten von $150\text{ bar}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ oder weniger begrenzen dimensionslose Entlastungsflächen von mehr als $0,25$ den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck auf $0,5\text{ bar}$;
- b) bei K_{St} -Werten zwischen $150\text{ bar}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ und $250\text{ bar}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ begrenzen dimensionslose Entlastungsflächen von mehr als $0,4$ den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck auf $0,5\text{ bar}$.