

Gefahrstoffe

Reinhaltung der Luft

Air Quality Control

Herausgeber: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA
Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL

www.technikwissen.de/gefahrstoffe

Explosionsschutz

Druckentlastung über Abblasrohre

Auszug

Druckentlastung über Abblasrohre Vergleich der Methoden

Richard Siwek

Pressure venting through vent ducts
Comparison of methods

Druckentlastung über Abblasrohre - Vergleich der Methoden

Dipl.-Ing. R. Siwek, FireEx Consultant GmbH, Giebenach, Schweiz

Zusammenfassung Die kürzlich erschiene Richtlinie VDI 3673 Blatt 1 - 2002 "Druckentlastung von Staubexplosionen" sowie der Entwurf der Europäischen Norm prEN 14491:2002 "Systeme zur Druckentlastung von Staubexplosionen" geben beide Hinweise wie der Einfluss von Abblasrohren, die einer Druckentlastungseinrichtung nachgesetzt sind, auf die Druckerhöhung im entlasteten Behälter ermittelt werden kann. In den beiden Veröffentlichungen sind unterschiedliche Zahlenwertgleichungen für diese Berechnung angegeben. Im Folgenden werden diese beiden Methoden einander gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass eine Übereinstimmung VDI-3673 mit der prEN-14491 nur bei Volumina im Bereich von 10 m^3 gegeben ist. Bei kleineren Volumina bzw. bei grösseren Volumina ist eine Überdimensionierung bzw. Unterdimensionierung gegeben.

Pressure venting through vent ducts - Comparison of methods

Abstract The recently published VDI 3673 part 1 - 2002 "pressure venting of dust explosions," as well as the draft of the European Standard prEN 14491:2002 "dust explosion venting systems", give both information regarding the calculation of the influence of vent ducts upon the pressure increase in the vented vessel, which are installed downstream the pressure venting device. In the two publications, different numerical value equations for this calculation are indicated. In the following these two methods are compared to each other. It is shown that an agreement exists only within volumes in the range of 10 m^3 to VDI-3673 with the prEN-14491. With smaller volumes and with larger volumes an over-sizing or an under-sizing, respectively were found.

1 Einleitung

Beim Ansprechen der Entlastungseinrichtung ist immer mit dem Austreten von brennendem und unverbranntem Staub, mit umfangreichen Flammenausbreitungen und auch mit Druckwirkungen zu rechnen. Um daher eine Sekundärexplosion im Betriebsraum und damit eine Gefährdung von Personen zu verhindern, sind den Entlastungseinrichtungen Abblasrohre von gleichem Querschnitt nachzusetzen. Hierdurch wird der maximale reduzierte Explosionsüberdruck im zu schützenden Behälter angehoben. Die Verstärkung der Druckwirkung hängt unabhängig vom Behältervolumen nur vom zu erwartenden maximalen reduzierten Explosionsüberdruck und von der Länge der Abblasleitung ab [1].

Bei Kenntnis des auf ein vorgegebenes Volumen und einer bestimmten Entlastungsfläche bezogenen maximalen reduzierten Explosionsüberdruckes $P_{\text{red,max}}$ kann die erforderliche Explosionsfestigkeit P (entspricht $P'_{\text{red,max}}$ mit Abblasrohr) nach den Gleichungen beschrieben in der Richtlinie VDI-3673-2002 [2] oder in der Euronorm prEN 14491:2002 [3] berechnet werden.

Da aber die beiden oben genannten Richtlinien/Normen unterschiedliche Berechnungsgleichungen anbieten werden im folgenden die beiden Berechnungsgleichungen einander gegenübergestellt.

2 VDI 3673 Blatt 1 - 2002

Der auf Grund einer der Druckentlastungseinrichtung nachgesetzten Abblasrohres erhöhte maximale Explosionsüberdruck $P'_{red,max}$ lässt sich in Abhängigkeit vom Längen/Durchmesser-Verhältnis L/D_E des zu schützenden Behälters nach den folgenden Zahlenwertgleichungen (1 und 2) berechnen [2], für

Längen/Durchmesser-Verhältnis $L/D_E = 1$

$$P'_{red,max} = P_{red,max} (1 + 17,3 \cdot (A \cdot V^{-0,753})^{1,6} \cdot \ell) \quad (1)$$

Längen/Durchmesser-Verhältnis $L/D_E = 6$

$$P'_{red,max} = (0,0586 \cdot \ell + 1,023) \cdot P_{red,max}^{(0,981 - 0,01907 \cdot 6 \cdot \ell)} \quad (2)$$

mit

$P'_{red,max}$	maximaler reduzierter Explosionsüberdruck mit Abblasrohr in bar
$P_{red,max}$	maximaler reduzierter Explosionsüberdruck ohne Abblasrohr in bar
A	geometrische Entlastungsfläche in m^2
V	Volumen des zu schützenden Behälters in m^3
ℓ	Länge des Abblasrohres in m

Die Gleichungen (1 und 2) gelten für

- Volumina $0,1 \text{ m}^3 \leq V \leq 10'000 \text{ m}^3$,
- Einen maximalen reduzierten Explosionsüberdruck ohne Abblasrohr von $0,1 \text{ bar} < P_{red,max} \leq 2 \text{ bar}$ mit $P_{red,max} > P_{stat}$,
- Einen maximalen Explosionsüberdruck von $5 \text{ bar} \leq P_{max} \leq 12 \text{ bar}$ für eine staubspezifische Kenngröße von $10 \text{ m} \cdot \text{bar} \cdot \text{s}^{-1} \leq P_{max} \leq 800 \text{ m} \cdot \text{bar} \cdot \text{s}^{-1}$,

Für ein Längen/Durchmesser-Verhältnis von $1 < L/D_E < 6$ kann mittels linearer Interpolation unter Berücksichtigung der Gleichungen (1) und (2) der entsprechende Wert für $P'_{red,max}$ ermittelt werden [2].

Bei einem Längen/Durchmesser-Verhältnis von 1 ist der Einfluss des Abblasrohres auf den reduzierten Explosionsüberdruck im Behälter am stärksten. Zunehmende Abblasrohlänge verstärkt den maximalen Explosionsüberdruck im Behälter und ist dann am stärksten, wenn die Flammenfrontgeschwindigkeit der Sekundärexplosion im Abblasrohr die Schallgeschwindigkeit erreicht. Dies gilt für Abblasrohlängen von

$$\ell = \ell_s = 4,564 \cdot P_{red,max}^{-0,37} \quad (3)$$

Druckentlastung über Abblasrohre – Vergleich der Methoden

Abblasrohrängen $\ell > \ell_s$ besitzen keinen zusätzlichen Einfluss mehr auf die Druckerhöhung. Dies gilt *nicht für Metallstäube!*

In explosionsdruckentlasteten langgestreckten Behältern/Silos ($L/D_E > 1$), die vertikal, d.h. über die Decke durch Abblasrohre entlastet werden, vermindert sich mit zunehmenden

Längen(Höhen)/Durchmesser-Verhältnis der Einfluss auf den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck. Die Flammenfront erreicht verspätet das Abblasrohr, d.h. die zeitverzögerte Einleitung der Sekundärexplosion kann den primären Explosionsablauf nicht mehr wesentlich beeinflussen.

3 prEN 14491 : 2002

Bei einem gerade verlaufenden Ablaskanal kann dessen Wirkung auf den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck nach folgender Gleichung (4) berechnet werden [3]:

$$P_{\text{red,max}}^1 = (1 + 17,3 \cdot (A/V^{0,753})^{1,6} \cdot L) \cdot P_{\text{red,max}} \quad (4)$$

mit

$P_{\text{red,max}}^1$	maximaler reduzierter Explosionsüberdruck mit Abblasrohr in bar
A	Entlastungsfläche in m^2
V	Behältervolumen in m^3
L	Längen-Durchmesser-Verhältnis des Abblasrohrs
$P_{\text{red,max}}$	maximaler reduzierter Explosionsüberdruck ohne Abblasrohr in bar

Erreicht die Länge des Abblasrohres einen Grenzwert, hat eine weitere Erhöhung der Länge keine nennenswerte Auswirkung auf den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck. Dieser Grenzwert für die Länge ist gegeben durch:

$$L_S = 4,564 \cdot P_{\text{red,max}}^{-0,37} \quad (5)$$

Gleichungen (4) und (5) gelten für einen maximalen reduzierten Explosionsüberdruck von $0,1 \text{ bar} < P_{\text{red,max}} \leq 2 \text{ bar}$.

4 Vergleich der Berechnungsmethoden

Für die Berechnung des maximalen reduzierten Explosionsüberdruckes im Behälter bei Vorhandensein eines Abblasrohres wird gemäss Abschnitt 2 nach der Richtlinie VDI die Gleichung (3) bis (5) [2] verwendet und gemäss Abschnitt 3 nach der Euronorm prEN [3] nur Gleichungen (5) und (6) angewendet. Die folgende Tabelle 1 stellt die Unterschiede einander gegenüber.

Druckentlastung über Abblasrohre – Vergleich der Methoden

Tabelle 1. Vergleich der Berechnungsmethoden VDI / prEN für Abblasrohre

	VDI 3673 Blatt 1 - 2002	prEN 14491 : 2002
Berücksichtigung des Abblasrohres	Länge ℓ	Längen-Durchmesser-Verhältnis L
Abblasrohrlänge begrenzt durch	$\ell = \ell_s$	$\ell = \ell_s$
Einfluss gegeben für Behälters mit	$1 \leq L/D_E \leq 6$.	keine Angaben
Einschränkungen für Metallstäube	gegeben	nicht gegeben

Obwohl die prEN 14491:2002 keine Angaben über die Quellen der Gleichungen macht ist es offensichtlich dass einige aus der VDI 3673-2002 entnommen wurden. Aufgrund der Angaben in Tabelle 1 werden nur Berechnungen verglichen die mit einem Längen-Durchmesser-Verhältnis des Behälters von $L/D_E = 1$ erhalten wurden. Ferner wurden folgende Einflussgrößen verändert:

- Behältervolumen von 1m^3 bis 1000m^3 ,
- Behälterfestigkeiten 0,25 bar bis 2 bar,
- Statischer Ansprechüberdruck der Berstfolien $P_{\text{stat}} = 0,1$ bar und 0,2 bar,
- Länge des Abblasrohres von 1 bis 9 m
- Maximale Explosionskonstante K_{max} (K_{St}) von $200\text{m}\cdot\text{bar}\cdot\text{s}^{-1}$ und $300\text{m}\cdot\text{bar}\cdot\text{s}^{-1}$.

Der maximaler Explosionsüberdruck wurde mit $P_{\text{max}} = 9$ bar konstant gehalten.

In der Tabelle 2 sind beispielhaft die Zahlenwerte in Abhängigkeit vom Behältervolumen und der Behälterfestigkeit für einen Staub der Staubexplosionsklasse St 1 ($P_{\text{max}} = 9$ bar, $K_{\text{max}} = 200\text{m}\cdot\text{bar}\cdot\text{s}^{-1}$) für einen $P_{\text{stat}} = 0,1$ bar und in der Tabelle 3 für einen Staub der Staubexplosionsklasse St 2 ($P_{\text{max}} = 9$ bar, $K_{\text{max}} = 300\text{m}\cdot\text{bar}\cdot\text{s}^{-1}$) für einen $P_{\text{stat}} = 0,2$ bar zusammengefasst.

Druckentlastung über Abblasrohre – Vergleich der Methoden

Tabelle 2. Einfluss der unterschiedlichen Berechnungsgleichungen für Abblasrohre auf den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck ($P_{\max} = 9 \text{ bar}$; $K_{\max} = 200 \text{ m}\cdot\text{bar}\cdot\text{s}^{-1}$; $P_{\text{stat}} = 0.1 \text{ bar}$)

Ohne Abblasrohr			Berechnung nach VDI-3673 - 2002					Berechnung nach prEN 14491:2002				
V	A	P _{red,max} [bar]	P' _{red,max} mit Abblasrohr [bar] bei Abblasrohrlängen von									
[m ³]	[m ²]		1m	3m	5m	7m	9m	1m	3m	5m	7m	9m
1	0.13	0.25	0.4	0.7	1.1	1.4	1.5	0.7	1.5	2.3	3.1	3.3
1	0.09	0.50	0.7	1.0	1.4	1.5	1.5	1.0	2.1	3.2	3.7	3.7
1	0.06	1.00	1.2	1.6	1.9	1.9	1.9	1.7	3.1	4.2	4.2	4.2
1	0.05	1.50	1.7	2.1	2.3	2.3	2.3	2.4	4.1	4.8	4.8	4.8
1	0.04	2.00	2.2	2.6	2.7	2.7	2.7	2.9	4.7	5.1	5.1	5.1
3	0.3	0.25	0.4	0.7	1.1	1.4	1.5	0.5	1.1	1.6	2.2	2.3
3	0.2	0.50	0.7	1.0	1.4	1.5	1.5	0.9	1.5	2.2	2.6	2.6
3	0.13	1.00	1.2	1.6	1.9	1.9	1.9	1.4	2.3	3.0	3.0	3.0
3	0.11	1.50	1.7	2.1	2.3	2.3	2.3	2.0	3.1	3.6	3.6	3.6
3	0.09	2.00	2.2	2.6	2.7	2.7	2.7	2.6	3.7	4.0	4.0	4.0
6	0.5	0.25	0.4	0.7	1.1	1.4	1.5	0.5	0.9	1.3	1.7	1.8
6	0.34	0.50	0.7	1.0	1.4	1.5	1.5	0.8	1.3	1.9	2.1	2.1
6	0.23	1.00	1.2	1.6	1.9	1.9	1.9	1.4	2.1	2.6	2.6	2.6
6	0.18	1.50	1.7	2.1	2.3	2.3	2.3	1.9	2.7	3.1	3.1	3.1
6	0.15	2.00	2.2	2.6	2.7	2.7	2.7	2.4	3.3	3.5	3.5	3.5
10	0.73	0.25	0.4	0.7	1.1	1.4	1.5	0.4	0.8	1.1	1.4	1.5
10	0.49	0.50	0.7	1.0	1.4	1.5	1.5	0.7	1.2	1.6	1.8	1.8
10	0.33	1.00	1.2	1.6	1.9	1.9	1.9	1.3	1.9	2.3	2.3	2.3
10	0.26	1.50	1.7	2.1	2.3	2.3	2.3	1.8	2.5	2.8	2.8	2.8
10	0.22	2.00	2.2	2.6	2.7	2.7	2.7	2.4	3.1	3.3	3.3	3.3
30	1.67	0.25	0.4	0.7	1.1	1.4	1.5	0.4	0.6	0.8	1.0	1.1
30	1.13	0.50	0.7	1.0	1.4	1.5	1.5	0.7	0.9	1.2	1.4	1.4
30	0.76	1.00	1.2	1.6	1.9	1.9	1.9	1.2	1.6	1.9	1.9	1.9
30	0.6	1.50	1.7	2.1	2.3	2.3	2.3	1.7	2.2	2.4	2.4	2.4
30	0.51	2.00	2.2	2.6	2.7	2.7	2.7	2.2	2.7	2.9	2.9	2.9
100	4.15	0.25	0.4	0.7	1.1	1.4	1.5	0.3	0.5	0.6	0.8	0.8
100	2.79	0.50	0.7	1.0	1.4	1.5	1.5	0.6	0.8	1.0	1.0	1.0
100	1.88	1.00	1.2	1.6	1.9	1.9	1.9	1.1	1.4	1.6	1.6	1.6
100	1.5	1.50	1.7	2.1	2.3	2.3	2.3	1.6	1.9	2.1	2.1	2.1
100	1.27	2.00	2.2	2.6	2.7	2.7	2.7	2.2	2.5	2.5	2.5	2.5
300	9.48	0.25	0.4	0.7	1.1	1.4	1.5	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6
300	6.39	0.50	0.7	1.0	1.4	1.5	1.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9
300	4.31	1.00	1.2	1.6	1.9	1.9	1.9	1.1	1.2	1.4	1.4	1.4
300	3.42	1.50	1.7	2.1	2.3	2.3	2.3	1.6	1.8	1.9	1.9	1.9
300	2.9	2.00	2.2	2.6	2.7	2.7	2.7	2.1	2.3	2.4	2.4	2.4
1000	23.47	0.25	0.4	0.7	1.1	1.4	1.5	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5
1000	15.82	0.50	0.7	1.0	1.4	1.5	1.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7
1000	10.67	1.00	1.2	1.6	1.9	1.9	1.9	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2
1000	8.47	1.50	1.7	2.1	2.3	2.3	2.3	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7
1000	7.19	2.00	2.2	2.6	2.7	2.7	2.7	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2

Druckentlastung über Abblasrohre – Vergleich der Methoden

Tabelle 3. Einfluss der unterschiedlichen Berechnungsgleichungen für Abblasrohre auf den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck ($P_{\max} = 9 \text{ bar}$; $K_{\max} = 300 \text{ m}\cdot\text{bar}\cdot\text{s}^{-1}$; $P_{\text{stat}} = 0.2 \text{ bar}$)

Ohne Abblasrohr			Berechnung nach VDI-3673 - 2002					Berechnung nach prEN 14491:2002				
V [m ³]	A [m ²]	P _{red,max} [bar]	P' _{red,max} mit Abblasrohr [bar] bei Abblasrohr­längen von									
			1m	3m	5m	7m	9m	1m	3m	5m	7m	9m
1	0.25	0.25	0.7	1.6	2.6	3.5	3.8	1.1	2.8	4.4	6.1	6.6
1	0.17	0.50	1.0	2.0	3.0	3.5	3.5	1.6	3.8	6.0	6.9	6.9
1	0.12	1.00	1.5	2.6	3.5	3.5	3.5	2.5	5.5	7.9	7.9	7.9
1	0.09	1.50	2.1	3.2	3.7	3.7	3.7	3.3	6.4	7.8	7.8	7.8
1	0.08	2.00	2.6	3.8	4.1	4.1	4.1	3.9	7.7	8.7	8.7	8.7
3	0.57	0.25	0.7	1.6	2.6	3.5	3.8	0.8	1.9	3.0	4.1	4.4
3	0.39	0.50	1.0	2.0	3.0	3.5	3.5	1.2	2.7	4.1	4.8	4.8
3	0.26	1.00	1.5	2.6	3.5	3.5	3.5	1.9	3.8	5.2	5.2	5.2
3	0.21	1.50	2.1	3.2	3.7	3.7	3.7	2.6	4.8	5.8	5.8	5.8
3	0.18	2.00	2.6	3.8	4.1	4.1	4.1	3.2	5.7	6.3	6.3	6.3
6	0.96	0.25	0.7	1.6	2.6	3.5	3.8	0.7	1.5	2.4	3.2	3.5
6	0.65	0.50	1.0	2.0	3.0	3.5	3.5	1.1	2.2	3.3	3.8	3.8
6	0.44	1.00	1.5	2.6	3.5	3.5	3.5	1.7	3.2	4.3	4.3	4.3
6	0.35	1.50	2.1	3.2	3.7	3.7	3.7	2.3	4.0	4.8	4.8	4.8
6	0.30	2.00	2.6	3.8	4.1	4.1	4.1	2.9	4.8	5.3	5.3	5.3
10	1.40	0.25	0.7	1.6	2.6	3.5	3.8	0.6	1.3	2.0	2.7	2.9
10	0.96	0.50	1.0	2.0	3.0	3.5	3.5	1.0	1.9	2.8	3.2	3.2
10	0.65	1.00	1.5	2.6	3.5	3.5	3.5	1.6	2.8	3.7	3.7	3.7
10	0.52	1.50	2.1	3.2	3.7	3.7	3.7	2.2	3.6	4.2	4.2	4.2
10	0.44	2.00	2.6	3.8	4.1	4.1	4.1	2.8	4.3	4.7	4.7	4.7
30	3.21	0.25	0.7	1.6	2.6	3.5	3.8	0.5	0.9	1.4	1.9	2.0
30	2.19	0.50	1.0	2.0	3.0	3.5	3.5	0.8	1.4	2.0	2.3	2.3
30	1.49	1.00	1.5	2.6	3.5	3.5	3.5	1.4	2.2	2.8	2.8	2.8
30	1.19	1.50	2.1	3.2	3.7	3.7	3.7	2.0	2.9	3.3	3.3	3.3
30	1.02	2.00	2.6	3.8	4.1	4.1	4.1	2.3	3.6	3.8	3.8	3.8
100	7.95	0.25	0.7	1.6	2.6	3.5	3.8	0.4	0.7	1.0	1.3	1.4
100	5.42	0.50	1.0	2.0	3.0	3.5	3.5	0.7	1.1	1.5	1.6	1.6
100	3.69	1.00	1.5	2.6	3.5	3.5	3.5	1.3	1.8	2.2	2.2	2.2
100	2.95	1.50	2.1	3.2	3.7	3.7	3.7	1.8	2.4	2.7	2.7	2.7
100	2.52	2.00	2.6	3.8	4.1	4.1	4.1	2.3	3.0	3.2	3.2	3.2
300	18.18	0.25	0.7	1.6	2.6	3.5	3.8	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0
300	12.39	0.50	1.0	2.0	3.0	3.5	3.5	0.6	0.9	1.1	1.3	1.3
300	8.44	1.00	1.5	2.6	3.5	3.5	3.5	1.2	1.5	1.8	1.8	1.8
300	6.75	1.50	2.1	3.2	3.7	3.7	3.7	1.7	2.1	2.3	2.3	2.3
300	5.76	2.00	2.6	3.8	4.1	4.1	4.1	2.2	2.7	2.8	2.8	2.8
1000	45.02	0.25	0.7	1.6	2.6	3.5	3.8	0.3	0.4	0.6	0.7	0.7
1000	30.67	0.50	1.0	2.0	3.0	3.5	3.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.0
1000	20.90	1.00	1.5	2.6	3.5	3.5	3.5	1.1	1.3	1.5	1.5	1.5
1000	16.71	1.50	2.1	3.2	3.7	3.7	3.7	1.6	1.9	2.0	2.0	2.0
1000	14.25	2.00	2.6	3.8	4.1	4.1	4.1	2.1	2.2	2.5	2.5	2.5

Druckentlastung über Abblasrohre – Vergleich der Methoden

Die Berechnungsmethode nach VDI-3673 -2002 [2] zeigt deutlich, dass die Einflussnahme des Abblasrohres nur vom vorgegebenen maximalen reduzierten Explosionsüberdruck $P_{red,max}$ im Behälter ohne Abblasrohr abhängig ist. Zunehmender $P_{red,max}$ im Behälter führt zu einer systematischen Zunahme des $P'_{red,max}$ - Wertes im Behälter. Eine Zunahme der Abblasrohrlänge bis zum Erreichen der Grenzwertlänge des Abblasrohres ℓ_s führt auch zu einer systematischen Zunahme des $P'_{red,max}$ - Wertes im Behälter.

Da der vorgegebene maximale reduzierte Explosionsüberdruck $P_{red,max}$ im Behälter in einem eindeutigen Zusammenhang mit dem Behältervolumen V und der Entlastungsfläche A steht, ist der Einfluss des Abblasrohres für einen bestimmten $P_{red,max}$ unabhängig vom Behältervolumen. Bei Anwendung der Gleichung (4) nach prEN 14491:2002 ist die Einflussnahme des Abblasrohres auf den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck $P'_{red,max}$ im Behälter nicht nur bis zur Grenzwertlänge des Abblasrohres und vom $P_{red,max}$ - Wert ohne Abblasrohr, sondern auch vom zu schützenden Volumen und somit auch von der Größe der Entlastungsfläche abhängig.

Vergleicht man nun die Zahlenangaben der Tabellen 2 und 3, die bei Anwendung der Gleichung (4) nach prEN 14491:2002 [3] mit denjenigen die mit Gleichung (1) nach VDI-3673 -2002 [2] (entsprechen 100%) erhalten wurden, so ergibt sich im Mittel, unabhängig vom $K_{max}(K_{St})$ -Wert und unabhängig vom statischen Ansprechüberdruck P_{stat} , folgende Übereinstimmungen:

Behältervolumen :	$1 \leq V < 10 \text{ m}^3$	Keine Übereinstimmung, bei $V = 1 \text{ m}^3$ werden mit der prEN doppelt so hohe Werte (200%) für $P'_{red,max}$ ermittelt. <i>Es erfolgt eine Überbewertung!</i>
Behältervolumen :	$V = 10 \text{ m}^3$	Übereinstimmung
Behältervolumen :	$10 < V \leq 1000 \text{ m}^3$	Keine Übereinstimmung, bei $V = 1000 \text{ m}^3$ werden mit der prEN nur halb so hohe Werte (50%) für $P'_{red,max}$ ermittelt. <i>Es erfolgt eine Unterbewertung!</i>

Für die Volumina 1 m^3 , 10 m^3 und 1000 m^3 sind die Ergebnisse in Abhängigkeit von der Explosionskonstante K_{max} und vom Ansprechdrucke P_{stat} für Abblasrohrängen 1 m, 3 m, und 5 m in den Bildern 1 bis 12 grafisch dargestellt.

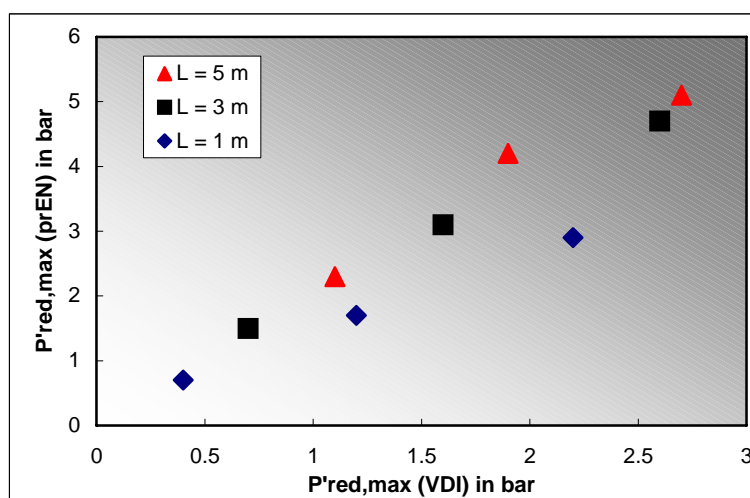


Bild 1. Einfluss der unterschiedlichen Berechnungsgleichungen für Abblasrohre auf den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck mit Abblasrohre $P'_{red,max}$ ($V = 1 \text{ m}^3$; $P_{max} = 9 \text{ bar}$; $K_{max} = 200 \text{ m} \cdot \text{bar} \cdot \text{s}^{-1}$; $P_{stat} = 0.1 \text{ bar}$)

Druckentlastung über Abblasrohre – Vergleich der Methoden

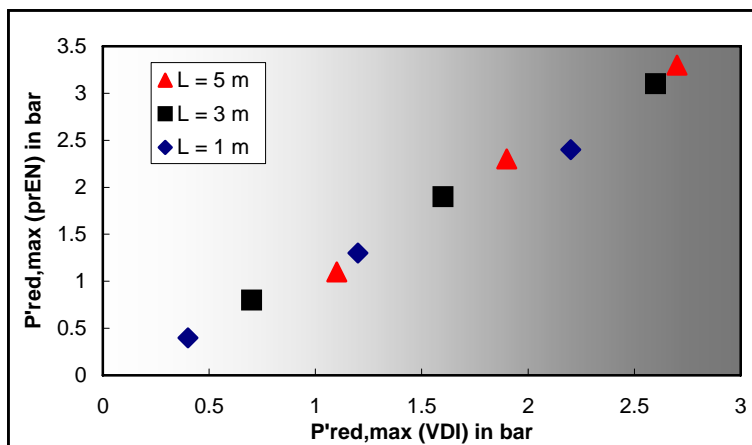


Bild 2. Einfluss der unterschiedlichen Berechnungsgleichungen für Abblasrohre auf den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck mit Abblasrohre $P'_{red,max}$ ($V = 10 \text{ m}^3$; $P_{max} = 9 \text{ bar}$; $K_{max} = 200 \text{ m}\cdot\text{bar}\cdot\text{s}^{-1}$; $P_{stat} = 0.1 \text{ bar}$)

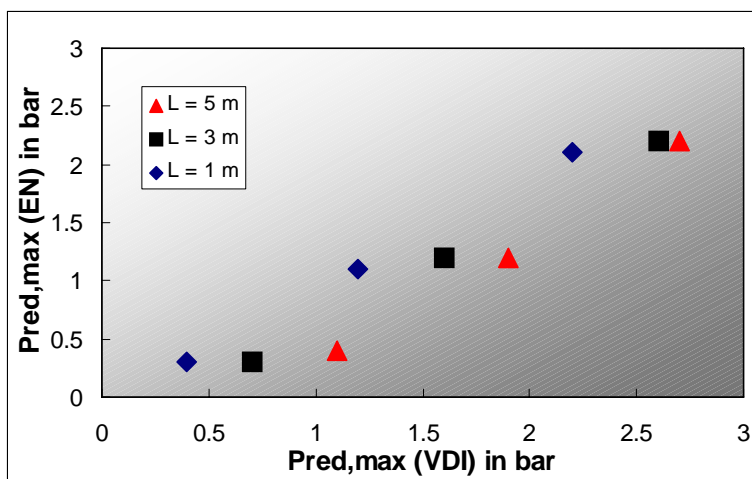


Bild 3. Einfluss der unterschiedlichen Berechnungsgleichungen für Abblasrohre auf den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck mit Abblasrohre $P'_{red,max}$ ($V = 1000 \text{ m}^3$; $P_{max} = 9 \text{ bar}$; $K_{max} = 200 \text{ m}\cdot\text{bar}\cdot\text{s}^{-1}$; $P_{stat} = 0.1 \text{ bar}$)

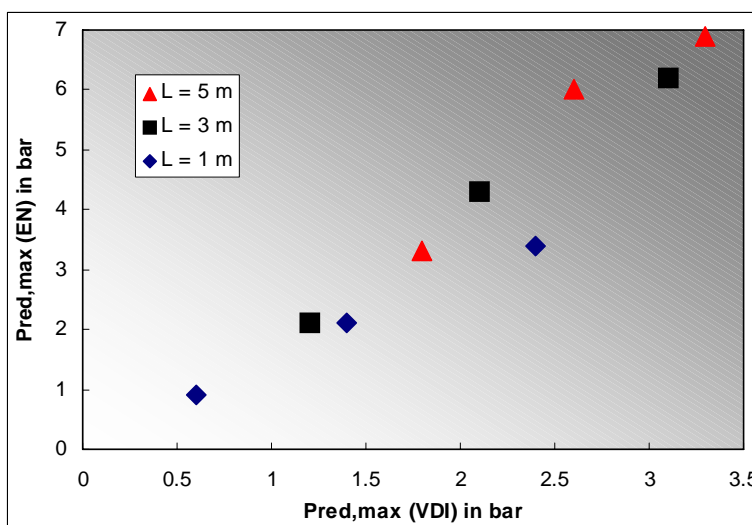


Bild 4. Einfluss der unterschiedlichen Berechnungsgleichungen für Abblasrohre auf den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck mit Abblasrohre $P'_{red,max}$ ($V = 1 \text{ m}^3$; $P_{max} = 9 \text{ bar}$; $K_{max} = 300 \text{ m}\cdot\text{bar}\cdot\text{s}^{-1}$; $P_{stat} = 0.1 \text{ bar}$)

Druckentlastung über Abblasrohre – Vergleich der Methoden

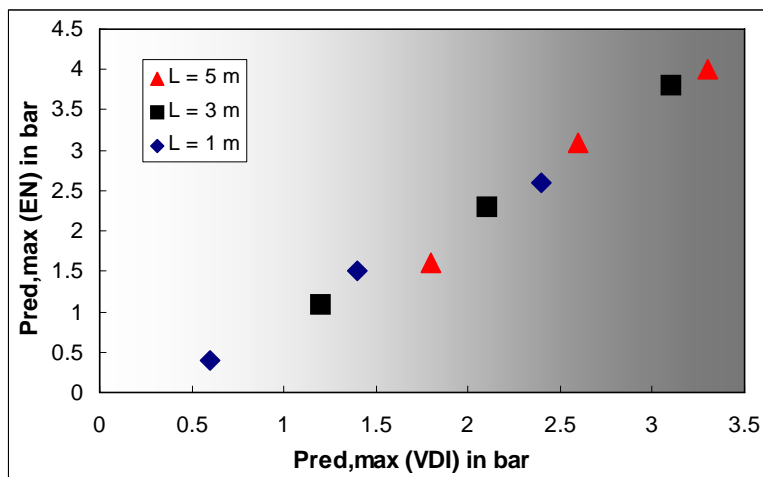


Bild 5. Einfluss der unterschiedlichen Berechnungsgleichungen für Abblasrohre auf den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck mit Abblasrohre $P'_{red,max}$ ($V = 10 \text{ m}^3$; $P_{max} = 9 \text{ bar}$; $K_{max} = 300 \text{ m}\cdot\text{bar}\cdot\text{s}^{-1}$; $P_{stat} = 0.1 \text{ bar}$)

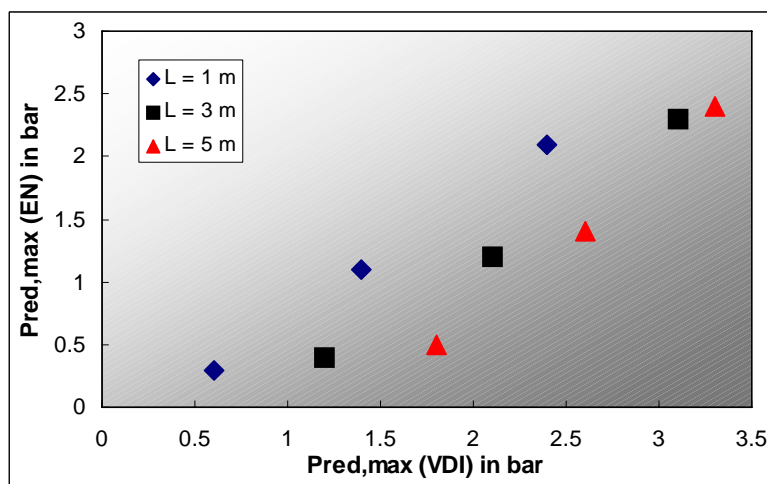


Bild 6. Einfluss der unterschiedlichen Berechnungsgleichungen für Abblasrohre auf den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck mit Abblasrohre $P'_{red,max}$ ($V = 1000 \text{ m}^3$; $P_{max} = 9 \text{ bar}$; $K_{max} = 300 \text{ m}\cdot\text{bar}\cdot\text{s}^{-1}$; $P_{stat} = 0.1 \text{ bar}$)

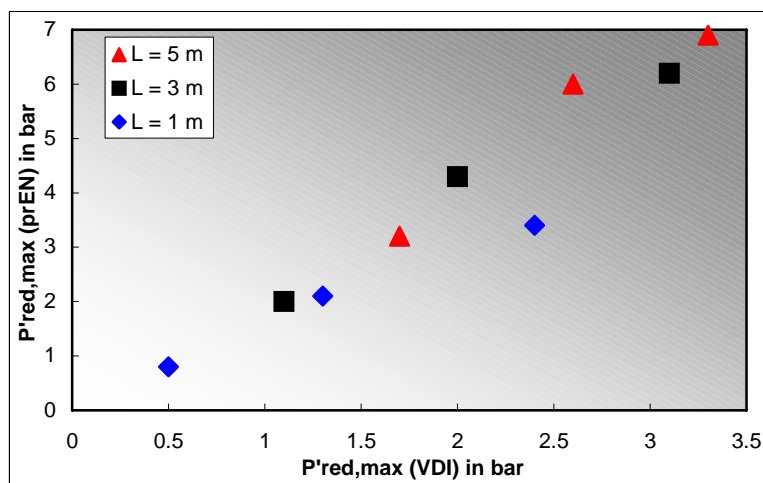


Bild 7. Einfluss der unterschiedlichen Berechnungsgleichungen für Abblasrohre auf den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck mit Abblasrohre $P'_{red,max}$ ($V = 1 \text{ m}^3$; $P_{max} = 9 \text{ bar}$; $K_{max} = 200 \text{ m}\cdot\text{bar}\cdot\text{s}^{-1}$; $P_{stat} = 0.2 \text{ bar}$)

Druckentlastung über Abblasrohre – Vergleich der Methoden

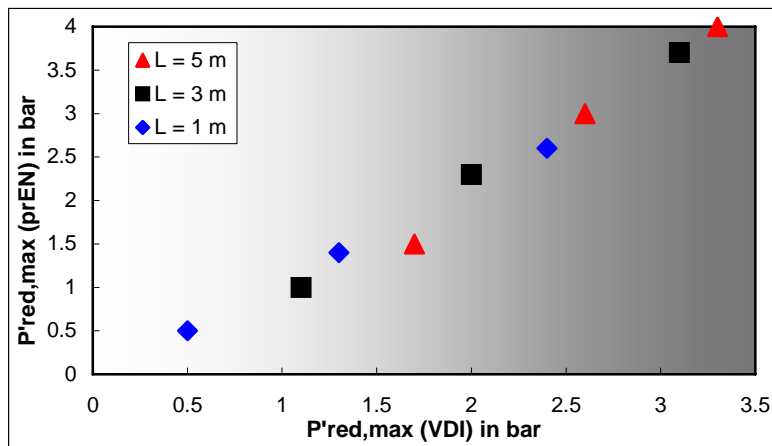


Bild 8. Einfluss der unterschiedlichen Berechnungsgleichungen für Abblasrohre auf den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck mit Abblasrohre $P'_{red,max}$ ($V = 10 \text{ m}^3$; $P_{max} = 9 \text{ bar}$; $K_{max} = 200 \text{ m}\cdot\text{bar}\cdot\text{s}^{-1}$; $P_{stat} = 0.2 \text{ bar}$)

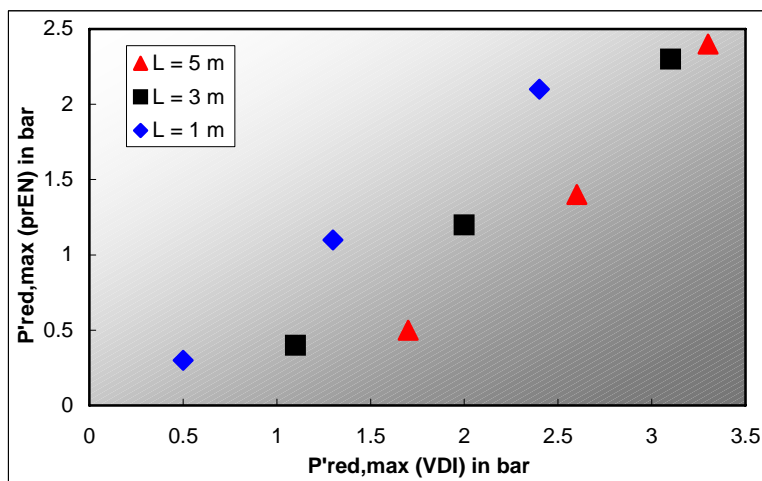


Bild 9. Einfluss der unterschiedlichen Berechnungsgleichungen für Abblasrohre auf den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck mit Abblasrohre $P'_{red,max}$ ($V = 1000 \text{ m}^3$; $P_{max} = 9 \text{ bar}$; $K_{max} = 200 \text{ m}\cdot\text{bar}\cdot\text{s}^{-1}$; $P_{stat} = 0.2 \text{ bar}$)

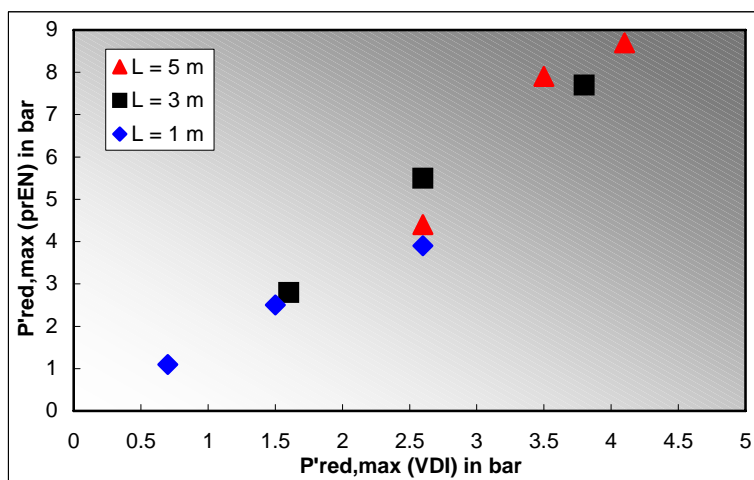


Bild 10. Einfluss der unterschiedlichen Berechnungsgleichungen für Abblasrohre auf den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck mit Abblasrohre $P'_{red,max}$ ($V = 1 \text{ m}^3$; $P_{max} = 9 \text{ bar}$; $K_{max} = 300 \text{ m}\cdot\text{bar}\cdot\text{s}^{-1}$; $P_{stat} = 0.2 \text{ bar}$)

Druckentlastung über Abblasrohre – Vergleich der Methoden

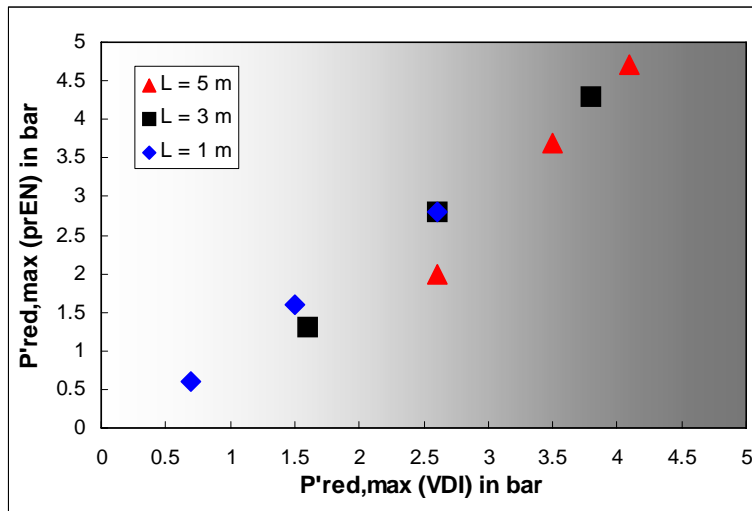


Bild 11. Einfluss der unterschiedlichen Berechnungsgleichungen für Abblasrohre auf den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck mit Abblasrohre $P'_{red,max}$ ($V = 10 \text{ m}^3$; $P_{max} = 9 \text{ bar}$; $K_{max} = 300 \text{ m}\cdot\text{bar}\cdot\text{s}^{-1}$; $P_{stat} = 0.2 \text{ bar}$)

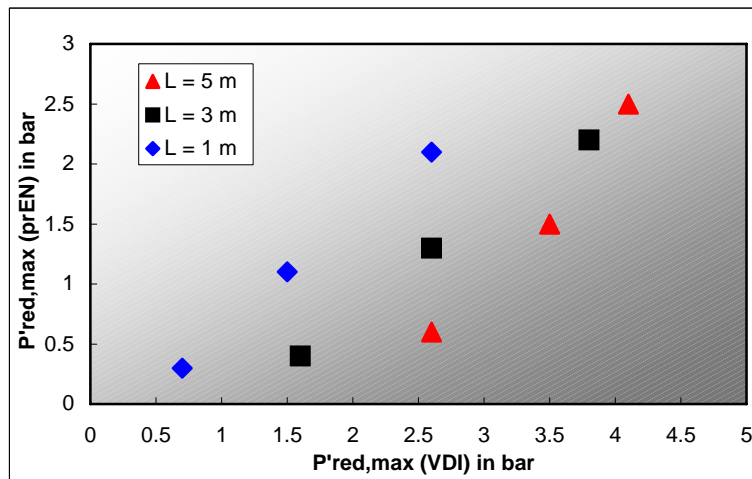


Bild 12. Einfluss der unterschiedlichen Berechnungsgleichungen für Abblasrohre auf den maximalen reduzierten Explosionsüberdruck mit Abblasrohre $P'_{red,max}$ ($V = 1000 \text{ m}^3$; $P_{max} = 9 \text{ bar}$; $K_{max} = 300 \text{ m}\cdot\text{bar}\cdot\text{s}^{-1}$; $P_{stat} = 0.2 \text{ bar}$)

5 Schlussfolgerungen

Aufgrund der Ergebnisse in Abschnitt 4 hat sich ergeben, dass die Gleichung (4) für Abblasrohre nach prEN 14491:2002 nicht verwendet werden soll, da sie gegenüber der Gleichung (1) nach VDI 3673-2002 nur in seltenen Fällen (Behältervolumen im Bereich von 10 m^3) zu Übereinstimmung führt.

Um obige Aussage zu erhärten, werden in den folgenden Bildern 13 bis 15, Messergebnisse [4, 5] die in Volumina von 1 m^3 und $2,4 \text{ m}^3$ mit unterschiedlichen Stäuben bei statischen Ansprechüberdrücken von $P_{stat} = 0,1 \text{ bar}$ und $0,2 \text{ bar}$ erhalten wurden, mit den beiden unterschiedlichen Berechnungsgleichungen (1) und (4) verglichen. Die Länge der Abblasrohre bewegte sich jeweils zwischen 1 m bis 15 m.

Druckentlastung über Abblasrohre – Vergleich der Methoden

Wie zu erwarten, stimmen die Werte die mit der Berechnungsmethode nach VDI 3673-2002 ermittelt wurden, im Rahmen der Versuchsgenauigkeit, recht gut mit den Messergebnissen überein. Die Werte die mit der Berechnungsmethode nach prEN 14491:2002 ermittelt wurden stimmen viel weniger gut überein und führen sehr oft zu einem sehr konservativen Wert, der doppelt so hoch sein kann wie der gemessene.

Die Berechnungsmethode nach prEN 14491:2002 ist somit nicht zu empfehlen.

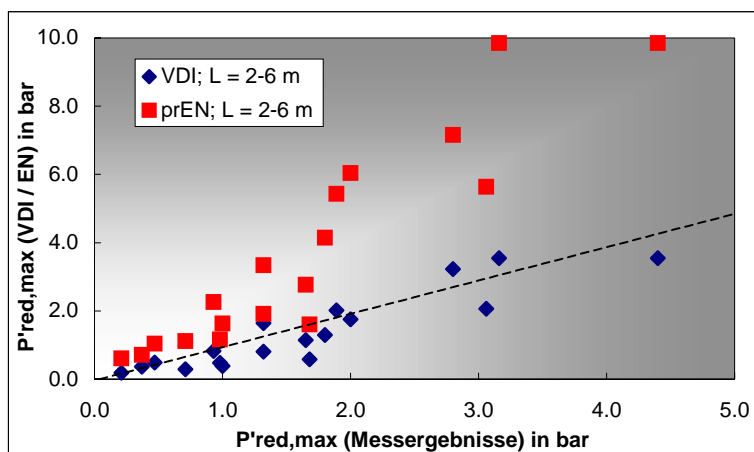


Bild 13. Zusammenhang zwischen errechnetem (VDI / prEN) und gemessenem maximalen reduzierten Explosionsüberdruck mit Abblasrohre $P'_{red,max}$ ($V = 1 \text{ m}^3$; $P_{max} = 8,7\text{-}9,1\text{ bar}$; $K_{max} = 100\text{-}250 \text{ m}\cdot\text{bar}\cdot\text{s}^{-1}$; $P_{stat} = 0.1 \text{ bar}$)

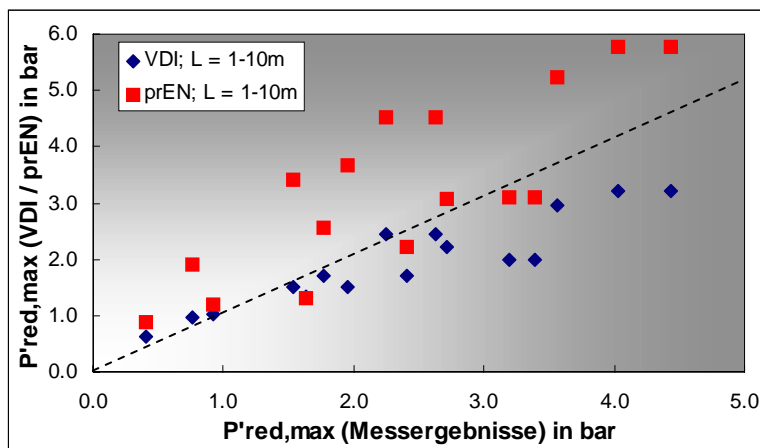


Bild 14. Zusammenhang zwischen errechnetem (VDI / prEN) und gemessenem maximalen reduzierten Explosionsüberdruck mit Abblasrohre $P'_{red,max}$ ($V = 2,4 \text{ m}^3$; $P_{max} = 9,0\text{-}9,1\text{ bar}$; $K_{max} = 216\text{-}312 \text{ m}\cdot\text{bar}\cdot\text{s}^{-1}$; $P_{stat} = 0.1 \text{ bar}$)

Druckentlastung über Abblasrohre – Vergleich der Methoden

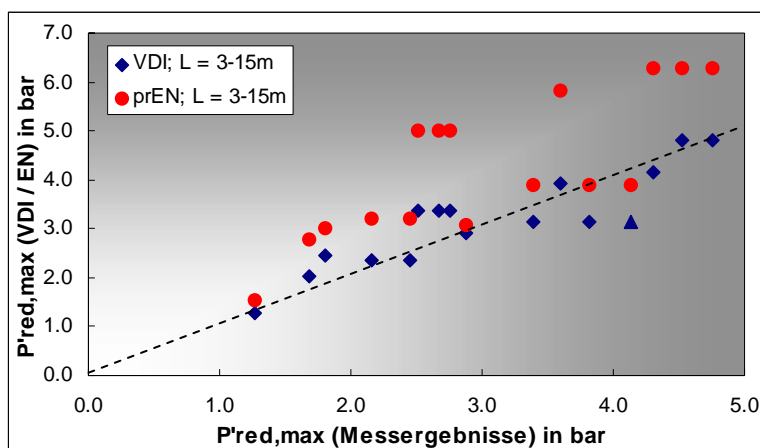


Bild 15. Zusammenhang zwischen errechnetem (VDI / prEN) und gemessenem maximalen reduzierten Explosionsüberdruck mit Abblasrohre $P'_{red,max}$
($V = 2,4 \text{ m}^3$; $P_{max} = 9,0-9,1 \text{ bar}$; $K_{max} = 216-312 \text{ m} \cdot \text{bar} \cdot \text{s}^{-1}$; $P_{stat} = 0,2 \text{ bar}$)

6 Literaturangaben

- [1] Bartknecht, W.: Explosionen, Grundlagen und Anwendungen, Springer-Verlag, 1993.
- [2] VDI 3673, Blatt 1 – 2002: Druckentlastung von Staubexplosionen, Berlin: Beuth Verlag.
- [3] prEN 14491 Entwurf: 2002: Systeme zur Druckentlastung von Staubexplosionen, Berlin: Beuth Verlag.
- [4] Bartknecht, W.: Einfluss von Abblasrohren auf die Verstärkung der Staubexplosionsheftigkeit in druckentlasteten Behältern und Prüfung von Bandsicherungen als mechanische Flammensperre gegenüber Staubexplosionen, Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten, 1992.
- [5] Siwek, R.: Explosionsdruckentlastungsversuche in einen 2.4-m³-Behälter über Abblasrohre in Abhängigkeit vom statischen Ansprechdruck der Entlastungseinrichtung; Ciba, Konzernbereich Sicherheit und Umwelt, Explosionstechnik/Elektrostatik, 1995.