

Handlungsempfehlung der Verbände DVS, IGV und VDMA

zum Thema:

Explosionsdruckstoßfeste Auslegung und Prüfung von
Acetylen HD-Rohrleitungen nach TRGS 407

Inhaltsverzeichnis

1. Hintergrund
2. Sicherheitstechnische Begründung für einen abgesenkten Prüfdruck
3. Anlagenspezifische Konstruktions- und Auslegungshinweise
 - 3.1. Anlagenteile, die gerade ausgeführt sind und keine Reflexionsstelle darstellen
 - 3.2. Anlagenteile, die eine Reflexionsstelle darstellen
 - 3.3. Anlagenteile mit Umlenkungsradien $< 5 \times$ dem Rohrendurchmesser
4. Weitere Hinweise / Erläuterungen zu auslegungsrelevanten Abschnitten der TRGS 407
 - 4.1. Auszug aus der TRGS 407, Anhang A.4.9 Absatz 10
 - 4.2. Auszug aus der TRGS 407, Anhang A.4.9 Absatz 11
5. Alternative zur Auslegung nach Bemessungsdrücken: Experimentelle Auslegung mittels Acetylenzerfallsprüfung
6. Zusammenfassung der Bemessungs- und Prüfdrücke
7. Verbände

Erläuterung

Diese Information dient als unverbindliche Handlungsempfehlung für den Umgang mit der TRGS 407 „Sicherheitstechnisch relevante Eigenschaften zur Beurteilung von Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Acetylen“. Das Dokument erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und auf exakte Auslegung der bestehenden Rechtsvorschriften. Es darf die Recherche der relevanten Richtlinien, Gesetze und Verordnungen nicht ersetzen. Ferner sind die Besonderheiten der jeweiligen Produkte, deren unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten sowie die unternehmens- und produkt-spezifischen Anforderungen beim Herstellungsprozess zu berücksichtigen. Der Inhalt ist sorgfältig und nach bestem Wissen erstellt worden. Die Verbände übernehmen keinerlei Haftung für eventuell falsche oder missverständliche Darstellungen.

1 Hintergrund

Die Festigkeitsprüfung vor Inbetriebnahme bzw. die einmalige Festigkeitsprüfung des Designs von Anlagen, in denen Dichtungen bei Verbindungselementen zur Anwendung kommen, kann in der Praxis nicht immer mit dem für die explosionsdruckstoßfeste Auslegung in der TRGS 407, Anhang A.4.9 Absatz 13 genannten Prüfdruck von $0,9 \times$ Bemessungsdruck, von dem in der Regel auszugehen ist, ausgeführt werden. Ähnliches gilt für die DGRL 2014/68/EU Anhang 1 Absatz 7.4.

Der Grund hierfür ist, dass bei diesem hohen Prüfdruck Leckagen an den Dichtungen auftreten. Der damit einhergehende Druckverlust macht eine Prüfung unmöglich. Zudem zerstört der hohe Prüfdruck sowohl das Dichtsystem (z.B. werden die Elastomer-Dichtungen in einen Spalt hineinextrudiert) wie auch die Anschlussgewinde.

Die Prüfdrücke können daher nach den nachfolgend beschriebenen Verfahren abgesenkt werden.

Anmerkung:

- *Nach § 14 und § 15 BetrSichV, sowie nach DGRL 2014/68/EU Anhang 1 Absatz 3.2.2 müssen Prüfinhalte, die im Rahmen von Konformitätsbewertungsverfahren geprüft und dokumentiert wurden, vor Inbetriebnahme nicht erneut geprüft werden.*
- *Grundsätzlich müssen alle Bauteile den in der TRGS 407 genannten Drücken standhalten. Die dort genannten möglichen auftretende Drücke sind nicht von der Nennweite der Rohrleitungen abhängig.*

2 Sicherheitstechnische Begründung für einen abgesenkten Prüfdruck

Bei einem tatsächlich auftretenden Acetylenzerfall sind bei Anwendung eines verringerten Prüfdrucks keine Leckagen an den Dichtungen zu erwarten. Die dynamische, detonative Druckbelastung wird durch Spalte ($\leq 0,1$ mm) und Gewinde vor den Dichtungen abgeschwächt. Der statische Vergleichsdruck am Umschlagpunkt von Deflagration zu Detonation (DDT; z. B. 1.029 bar abs. bei 20 °C und 26 bar abs. Anfangsdruck) oder an Reflexionsstellen einer stabilen Detonation (z. B. 1.716 bar abs. bei 20 °C und 26 bar abs. Anfangsdruck) tritt hier nicht in der gleichen Höhe wie an der Rohrwand auf.

Die an den eigentlichen Dichtelementen auftretenden Drücke sind maximal in einer Größenordnung des Produktes aus Deflagrationsdruckverhältnis und Anfangsdruck zu erwarten (z. B. ergäbe sich für einen Anfangsdruck von 26 bar abs. sowie für ein Deflagrationsdruckverhältnis von 10 bei 20 °C ein maximaler zu erwartender Druck in einer Größenordnung von ca. 10×26 bar abs. = 260 bar).

3 Anlagenteilspezifische Konstruktions- und Auslegungshinweise

3.1 Anlagenteile, die gerade ausgeführt sind und keine Reflexionsstelle darstellen

Unter anderem gehören zu diesen Anlagenteilen gerade Rohre, gerade Einschraubverbindungen, gerade Schweißverbindungen (Rundnähte) und sonstige gerade Bauteile.

3.1.1 Die rechnerische Bestimmung der Wandstärke für gerade Anlagenteile erfolgt gemäß dem Stand der Technik (Norm, Richtlinie). Als Bemessungsdruck muss der statische Vergleichsdruck am DDT (z. B. 1.029 bar abs. bei 20 °C und 26 bar abs. Anfangsdruck) verwendet werden (gemäß TRGS 407, Anhang A.4.9 Gleichung 11) mit 1-facher Sicherheit gegen die Streckgrenze.

3.1.2 Die einmalige Festigkeitsprüfung des Designs erfolgt gemäß TRGS 407, Anhang A.4.9 Absatz 13, jedoch mit dem 0,9-fachen statischen Vergleichsdruck im Bereich der stabilen Detonation ($p_{\text{stat_stabil}}$ nach TRGS 407, Anhang A.4.9 Gleichung 8), typischerweise in Form einer Wasserdruckprüfung.

Dies entspricht 0,9 x 686 bar abs. = 617 bar abs.

Bei der einmaligen Festigkeitsprüfung des Designs dürfen keine sichtbaren Verformungen und Undichtigkeiten auftreten. Ein Setzen der Rohrverbindungen ist jedoch dabei zulässig. Danach sind diese Anlagenteile explosionsdruckstoßfest ausgelegt.

3.1.3 Bei der Auslegung von Gewindeanschlüssen sind die Gaswege zu betrachten. Befindet sich das Dichtelement hinter dem in der Regel sehr engen Spalt (bewährt in der Praxis haben sich enge Spalte < 0,1 mm; die dynamische, detonative Druckbelastung wird durch Spalte, durch die der Zerfall einläuft, sowie durch Gewinde vor den Dichtungen abgeschwächt), so ist die auf das Dichtelement einwirkende detonative Druckbelastung wesentlich geringer als die auf die Wand des Rohres. Eine einmalige nachweisliche Druckprüfung dieser Verbindungen mit einem Druck von 617 bar abs. ist damit ausreichend. (Anforderungen aus 3.1.2).

3.2 Anlagenteile, die eine Reflexionsstelle darstellen

Unter anderem gehören zu Reflexionsstellen (geschlossene) Kugelhähne, Ventile, geschlossene Enden oder T-Stücke.

- 3.2.1** Die rechnerische Bestimmung der Wandstärke für Anlagenteile, die eine Reflexionsstelle darstellen, erfolgt gemäß dem Stand der Technik (Norm, Richtlinie). Als Bemessungsdruck muss der statische Vergleichsdruck einer reflektierten stabilen Detonation (max. 1.715 bar abs. bei einem maximalen Anfangsdruck von 26 bar abs.) verwendet werden (gemäß TRGS 407, Gleichung 12) mit 1-facher Sicherheit gegen die Streckgrenze.
- 3.2.2** Die einmalige Festigkeitsprüfung des Designs erfolgt gemäß TRGS 407, Anhang A.4.9 Absatz 13, jedoch mit dem 0,9-fachen statischen Vergleichsdruck im Bereich der stabilen Detonation ($p_{\text{stat_stabil}}$ TRGS 407, Anhang A.4.9 Gleichung 8), typischerweise in Form einer Wasserdruckprüfung.

Dies entspricht $0,9 \times 686 \text{ bar abs.} = 617 \text{ bar abs.}$

Bei der einmaligen Festigkeitsprüfung des Designs dürfen keine sichtbaren Verformungen und Undichtigkeiten auftreten. Ein Setzen der Rohrverbindungen ist jedoch dabei zulässig. Danach sind diese Anlagenteile explosionsdruckstoßfest ausgelegt.

- 3.2.3** Bei der Auslegung von Gewindeanschlüssen sind die Gaswege zu betrachten. Befindet sich das Dichtelement hinter dem in der Regel sehr engen Spalt (bewährt in der Praxis haben sich enge Spalte $< 0,1 \text{ mm}$; die dynamische, detonative Druckbelastung wird durch Spalte, durch die der Zerfall einläuft, sowie durch Gewinde vor den Dichtungen abgeschwächt), so ist die auf das Dichtelement einwirkende detonative Druckbelastung wesentlich geringer als die auf die Wand des Rohres. Eine einmalige nachweisliche Druckprüfung dieser Verbindungen mit einem Druck von 617 bar abs. ist damit ausreichend (Anforderungen aus 3.2.2).
- 3.2.4** Die axiale Ausdehnung (Belastungszone) durch die Reflexion einer stabilen Detonation beträgt maximal 5 x Innendurchmesser der Rohrleitung ausgehend von der Reflexionsstelle. Eine Verstärkung der betroffenen Belastungszone ist vorzunehmen, sofern Reflexionsstellen nicht gänzlich vermeidbar sind. Innerhalb der Belastungszone können Wandstärken von Armaturengehäusen oder Verschraubungen, die das eigentliche Rohr umhüllen, als Verstärkung der Rohrwandstärke angesehen werden.

3.3 Anlagenteile mit Umlenkungsradien < 5 x dem Rohrlinnendurchmesser

- 3.3.1** Die rechnerische Bestimmung der Wandstärke für einen Umlenkungsradius < 5 x dem Rohrlinnendurchmesser erfolgt gemäß dem Stand der Technik (Norm, Richtlinie). Als Bemessungsdruck muss der statische Vergleichsdruck am Umschlagpunkt von Deflagration zu Detonation multipliziert mit einem Faktor von 1,5 (1.544 bar abs. bei 20 °C und 26 bar abs. Anfangsdruck verwendet werden ($p_{\text{stat_stabil}}$ TRGS 407, Gleichung 11 sowie Absatz 7) mit 1-facher Sicherheit gegen die Streckgrenze.
- 3.3.2** Die einmalige Festigkeitsprüfung des Designs erfolgt gemäß TRGS 407, Anhang A.4.9 Absatz 13, jedoch mit dem 0,9-fachen statischen Vergleichsdruck im Bereich der stabilen Detonation ($p_{\text{stat_stabil}}$ TRGS 407, Anhang A.4.9, Gleichung 8), typischerweise in Form einer Wasserdruckprüfung.

Dies entspricht $0,9 \times 686 \text{ bar abs.} = 617 \text{ bar abs.}$

Bei der einmaligen Festigkeitsprüfung des Designs dürfen keine sichtbaren Verformungen oder Undichtigkeiten auftreten. Ein Setzen der Rohrverbindungen ist jedoch dabei zulässig. Danach sind diese Anlagenteile explosionsdruckstoßfest ausgelegt.

4 Weitere Hinweise / Erläuterungen zu auslegungsrelevanten Abschnitten der TRGS 407

4.1 Auszug aus der TRGS 407, Anhang A.4.9, Absatz 10

Für den Bemessungsdruck muss ausschließlich die stabile Detonation gemäß Gleichung 8 und an Stellen möglicher Reflektion der Druck gemäß Gleichung 12 berücksichtigt werden

- 1. bei Rohrleitungen in Füllanlagen basierend auf TRBS 3145 / TRGS 745 Nummer 4.3.1 Absatz 2 und 3 und den besonderen Maßnahmen gemäß TRBS 3145 / TRGS 745 Nummer 4.3.6 Absatz 1,*
- 2. bei Batterieanlagen für Acetylen, wenn diese DIN EN ISO 14114 entsprechen und der Hochdruckteil in einem Bereich angeordnet ist, zu dem nur besonders unterwiesene Personen Zugang haben.*

HINWEIS: Beim Aufstellen von Anlagen wird der Kunde grundsätzlich darauf hingewiesen, dass die Acetylenanlage nur von unterwiesenem Personal betreten werden darf.

4.2 Auszug aus der TRGS 407, Anhang A.4.9, Absatz 11

Von einer explosionsdruckfesten Auslegung von Rohrleitungen kann abgewichen werden, und es kann eine explosionsdruckstoßfeste Auslegung erfolgen. In dem Fall müssen nach einem Acetylenzerfall die Rohrleitungen auf sichtbare Deformationen untersucht und ggf. ausgetauscht werden.

HINWEIS: Die Explosionsdruckstoßfestigkeit einer existierenden Rohrleitung kann z.B. mit Hilfe von TRGS 407, Anhang A.4.9, Absatz 12, nachträglich ermittelt werden.

5 Alternative zur Auslegung nach Bemessungsdrücken: Experimentelle Auslegung mittels Acetylenzerfallsprüfung

- 5.1** Alternativ zur Auslegung gemäß dem berechneten Bemessungsdruck kann auch eine experimentelle Auslegung mittels Acetylenzerfallsprüfung erfolgen. Diese kann z. B. nach DIN EN ISO 15615 durchgeführt werden. Bei der Acetylenzerfallsprüfung dürfen keine sichtbaren permanenten Deformationen und keine Undichtigkeiten auftreten (siehe TRGS 407, Anhang A.4.9, Absatz 9).
- 5.2** Für bestimmte Anlagenteile ist die Acetylenzerfallsprüfung in einschlägigen Produktnormen explizit vorgesehen (z. B. Hauptstellendruckminderer nach EN ISO 7291 oder Hochdruck-Acetylen-Kugelhähne nach DIN EN ISO 15615).

6 Zusammenfassung der Bemessungs- und Prüfdrücke

Bemessungsdrücke und Prüfdrücke für die verschiedenen detonativen Belastungsszenarien

Detonatives Belastungsszenario	Bemessungsdruck [bei 20 °C und 26 bar abs. Acetylen-Anfangsdruck]	Bauteile (Beispiele)	Druck der einmaligen Festigkeitsprüfung des Designs oder der Festigkeitsprüfung vor Inbetriebnahme	Druck der Dichtigkeitsprüfung vor Inbetriebnahme
Umschlag von Deflagration zu Detonation (DDT) in geradem Rohr	1029 bar abs.	<ul style="list-style-type: none"> gerade Rohre gerade Schweißverbindungen (Rundnähte) sonstige gerade Bauteile Bögen mit Umlenkungsradien $\geq 5 \times$ dem Rohrinne Durchmesser gerade Einschraubverbindungen gekoppelt an verschiedene Parameter (siehe TRGS 407, A.4.7 und A.4.8)	617 bar abs. → Anforderung: Keine sichtbare bleibende Verformung oder keine erkennbaren Undichtigkeiten	1,5 bar abs. und 28,5 bar abs.
Umschlag von Deflagration zu Detonation (DDT) in einem Rohr mit Krümmungsradius $< 5 \times$ Rohrinne Durchmesser	1544 bar abs.	<ul style="list-style-type: none"> Anlagenteile mit Umlenkungsradien $< 5 \times$ dem Rohrinne Durchmesser 		
an Reflexionsstellen einer stabilen Detonation	1716 bar abs.	<ul style="list-style-type: none"> Kugelhähne (geschlossene) Ventile geschlossene Enden T-Stücke Winkel 		

7 Verbände

DVS	DVS - Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V. Aachener Straße 172 40223 Düsseldorf
IGV	Industriegaseverband e. V. Französische Straße 8 10117 Berlin
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. Fachverband Schweiß- und Druckgastechnik Lyoner Straße 18 60528 Frankfurt / Main