

Dicke Backen I.

Was bedeutet die EXPLOSIONSDRUCKSTOSSFESTE AUSFÜHRUNG von Transporttanks, wie kann sie nachgewiesen und berechnet werden? Ein Leitfaden für Tankhersteller.

Von Prof. Dr.-Ing. Jörg Ludwig, Berlin*

Speziell beim Befüllen und Entleeren sowie bei Reinigungs- und Reparaturarbeiten besteht die Gefahr, dass Transporttanks durch eine Explosion im Tankinneren über ihre Versagensgrenzen hinaus beansprucht werden. Zumindest solange, wie

Gegen die Auswirkungen einer derartigen Explosion empfiehlt sich die explosionsdruckfeste oder explosionsdruckstoßfeste Bauweise von Transporttanks als alternative Sicherungsmaßnahme. Damit wird erreicht, dass der Tank den Beanspruchungen durch eine Explosion im Tankinneren ohne oder mit Verformungen gewachsen ist. Sinnvoll anwendbar ist diese Maßnahme jedoch nur dann, wenn die Art und Höhe der Beanspruchung durch eine entsprechende Explosion bekannt ist. Hierbei spielen neben stofflichen Gesichtspunkten verschiedene Aspekte konstruktiver Art, die Einfluss auf den Reaktionsablauf in einem Tank haben, eine wesentliche Rolle.

Der Anlage A des ADR folgend sind alle Tanks für Stoffe, denen nach Kap. 3.2 Tab. A Spalte (12) ein Tankcode LGBF entsprechend Abs. 4.3.4.1.1 zugewiesen ist, mit einer Lüftungseinrichtung gemäß Abs. 6.8.2.2.6 mit Flammendurchschlagsicherung auszustatten oder explosionsdruckstoßfest zu gestalten. Das heißt, zur Beförderung der genannten Stoffe müssen mindestens Tanks verwendet werden, die ihrerseits wenigstens einem Tankcode LGBF entsprechend gestaltet und gekennzeichnet sind.

Dieselbe Bedeutung – nur verständlicher ausgedrückt – hatte der Satz 5 Rn. 211 332 Anhang B.1a der bis Juni 2001 geltenden Gefahrgutverordnung Straße:

Tanks für Stoffe nach Randnummer 211 310 d) – z.B. Benzin (Ottokraftstoff), Roherdöl, Düsenkraftstoff, Dieselmotorkraftstoff, Heizöl usw. – mit einem Flammpunkt bis höchstens 61 °C mit nicht absperrbarer Lüftungseinrichtung müssen in der Lüftungseinrichtung eine Flammendurchschlagsicherung haben oder explosionsdruckstoßfest sein.

Überdies gelten zusätzlich die Anforderungen nach Abs. 4.3.2.2.4 – soweit Tanks zur Beförderung flüssiger Stoffe

nicht durch Trenn- und Schwallwände in Abteile von höchstens 7.500 Liter Fassungsraum unterteilt sind, müssen sie entweder zu mindestens 80 Prozent oder zu höchstens 20 Prozent ihres Fassungsraumes gefüllt sein – und Satz 2 Abs. 6.8.2.1.22 ADR – die Fläche der Schwallwand muss mindestens 70 Prozent der Querschnittsfläche des Tanks der Tankfahrzeuge betragen, in dem sich die Schwallwand befindet.

Ohne wenn und aber

Der Schutz gegen Explosionen im Tankinneren ist also durch Flammendurchschlagsicherungen oder explosionsdruckstoßfeste Bauweise des Tanks zu gewährleisten. In den Rechtsvorschriften selbst finden sich außer der Definition des Schutzziels keine präziseren Angaben im Sinne von Beschaffenheitsforderungen. Insbesondere zur Definition und zu den Nachweismöglichkeiten der Explosionsdruckstoßfestigkeit lassen sich diesbezüglich die einzigen existierenden Hinweise den Technischen Richtlinien Tanks (TRT) 006 entnehmen, die inzwischen nur mehr empfehlenden Charakter haben.

Kurz gesagt sind Tanks hiernach explosionsdruckstoßfest gebaut, wenn nachgewiesen ist, dass sie einer Explosion im Inneren standhalten, ohne aufzureißen; dabei sind bleibende Verformungen zulässig. Der Nachweis der Explosionsdruckstoßfestigkeit konnte nach den ursprünglichen TRT 006 auf zweierlei Weise geführt werden:

- Berechnung aller drucktragenden Teile des Tanks mit dem höchsten auftretenden Explosionsdruck p_{ex} und 1,3-facher Sicherheit gegen die Zugfestigkeit; anwendbar nur für Tanks ohne Einbauten (zum Beispiel Schwallwände)
- Experimentelle Prüfung, zum Beispiel durch eine Explosion mit explosionsfähigstem Ethylen/Luft-Gemisch im Tank.

Der Explosionsdruck ist stoffabhängig und abhängig vom Ausgangsdruck, bei dem die Zündung im Tank erfolgt. Der höchste auftretende Explosionsdruck ergibt sich als Produkt aus dem Betrag des Explosionsdrucks für das explosionsfähigste Ethylen/Luft-Gemisch und dem Ausgangsdruck im Tank. Der Ausgangsdruck ist abhängig vom Durchmesser der betriebsmäßig freien Öffnung, durch die eine Flamme in den Tank zurückschlagen kann. Unter den anzunehmenden Voraussetzungen ist daher mit einem höchsten auftretenden absoluten Explosionsdruck zwischen 11 und 12 bar zu rechnen.



(Foto: Gela-Archiv)

Wenn ein Tank nicht explosionsdruckstoßfest ist ... hier die Reste eines Silotanks mit Natriumchlorat

sich zum Beispiel Ladegutrestmengen oder etwa Lösemittel im Tank befinden.

Voraussetzung für eine derartige Explosion ist demnach das Vorhandensein eines explosiblen Gas- beziehungsweise Dampf/Luft-Gemisches geeigneter Verteilung und Konzentration im Inneren und einer Zündquelle innerhalb oder außerhalb des Tanks.

Schutz für den Tank

Einer Reaktionsübertragung aus der Umgebung des Tanks über eine betriebsmäßig freie Öffnung in das Tankinnere kann bei entsprechend geringen Durchmessern durch das Vorsehen einer Flammendurchschlagsicherung begegnet werden. Hierbei wird vorausgesetzt, dass sich die Zündquelle außerhalb des Tanks befindet. Bei Arbeiten im oder am offenen Tank (zum Beispiel Schweißarbeiten) kann es jedoch direkt zu einer Zündung im Tankinneren kommen.

* Leiter der Fachgruppe III.2 (Gefahrgut tanks und Unfallmechanik) bei der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Da das Vorsehen explosionsdruckstoffester Bauweise bei einer Auslegung auf den höchsten auftretenden Explosionsdruck gegenüber der Auslegung auf den Prüfdruck im Allgemeinen zu einer massiveren Bauweise entsprechender Transporttanks führt, ergibt sich daraus ein Optimierungsproblem:

Die höchstzulässige Gesamtmasse einer Beförderungseinheit auf der Straße, bestehend aus Basisfahrzeug, Tank und Füllung, beträgt nach Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) 40 Tonnen. Das Ziel konstruktiver Auslegungen von Beförderungseinheiten ist die Verringerung der Taramassen von Basisfahrzeugen und Tanks, um einen möglichst hohen Füllungsanteil befördern zu können. Dieser grundsätzlichen Zielvorgabe steht eine zunächst unvermeidbare Erhöhung der Taramasse von Tanks infolge explosionsdruckstoffester Bauweise gegenüber. Um die – inhärente Sicherheit bietende – Maßnahme Explosionsdruckstoffestigkeit dennoch anwendbar zu halten, ist einerseits die Optimierung von Bemessungsgrundlagen und Nachweismöglichkeiten und andererseits die konstruktive Optimierung der Tanks auf analytischer und experimenteller Basis anzustreben.

Versuche zur Qualifizierung nach Rechtsvorschriften

Zwischen Juni 1984 und März 1997 wurden in der BAM insgesamt 33 Versuche an Tanks vorgenommen, davon als

● Explosionsversuche

- 4 Versuche mit zylindrischen Tanks ohne Einbauten,
- 3 Versuche mit zylindrischen Tanks mit Trennboden,
- 12 Versuche mit zylindrischen Tanks mit Schwallwänden und Trennboden,
- 2 Versuche mit kofferförmigen Tanks mit Schwallwand und Trennboden;

● Wasserdruckversuche

- 5 Versuche mit zylinderförmigen Tanks und Tankabschnitten.

Es handelte sich hierbei um Tanks, für die sich der rechnerische Nachweis der Explosionsdruckstoffestigkeit nicht erbringen ließ, und es wurden Tanks geprüft, die mit einer oder mehreren Schwallwänden sowie Trennböden unterschiedlichster Bauart versehen waren.

Von besonderem Interesse waren:

- Verhalten des Tankwerkstoffes,
- Verhalten der Schweißnähte,
- Verhalten der Domdeckelkonstruktion,
- Verhalten von Aufsattelungen,



Foto: BAM

Versuchstank THEBETA zur Untersuchung der Wirkung von Explosionsdruckstößen

- Verhalten der Stützen unterschiedlicher Größe
- Einfluss des Tankdurchmessers und der Tanklänge.

Über die in den TRT 006 enthaltenen Anforderungen hinaus wurde der positive Nachweis der Explosionsdruckstoffestigkeit zunächst wie folgt definiert:

- der Tank darf nicht aufgerissen sein,
- keine abgerissenen Bauteile,
- der Tank darf bleibend verformt sein,
- die Domdeckeldichtung darf herausgedrückt sein, jedoch darf der Domdeckel nicht so verformt sein, dass der Tank erheblich offen ist.

Ausgangs-Annahmen

Anhand der Ergebnisse verschiedener Versuche mit Tanks ohne Einbauten wie Schwallwände, wurden zunächst folgende, mehr oder weniger gesichert erscheinende Annahmen getroffen:

Die Explosion des zündfähigsten Gemisches (nach Kenntnis zum Zeitpunkt der Versuche bestehend aus 7,4 Volumenprozent Ethylen in Luft) führt in kerbfreien beziehungsweise störstellenfreien Bereichen des zylindrischen Teils von Tanks zu Beanspruchungsverhältnissen, die im Wesentlichen denen statischer Druckbeanspruchungen entsprechen, die die gleiche Höhe aufweisen.

Unter dieser Voraussetzung kann dann als gesichert angenommen werden, dass das auf Membranspannungen im elastischen Bereich bezogene Ergebnis auf beliebige Konfigurationen übertragbar ist, die bereits plastische Verformung erlitten haben. Das heißt, auch in Kremen- und Mannlochbereichen können Beanspruchungsverhältnisse, wie sie infolge Explosionsdruckes vorliegen, denen statischer Druckbeanspruchung im Wesentlichen gleichgesetzt werden.

Für die weitere Betrachtung muss daher zunächst nur noch auf den Zylinder- und Dom- beziehungsweise Mannlochbereich eingegangen werden, da der Bodenbereich (Klöpfer- oder gün-

stigenfalls Korbbogenboden) bei Druckbeanspruchungen über die Streckgrenze hinaus in Richtung auf eine Halbkugelgestalt, das heißt, eine spannungsgünstigere Form als im Zylinderbereich des Tanks vorhanden, zu fließen beginnt, ohne dass der Boden aufreißt.

Ebenso werden durch plastische Verformung des Kremenbereichs die dort herrschenden Spannungsspitzen abgebaut. Auflagerbereiche können von den weiteren Betrachtungen ebenfalls ausgenommen werden, wenn ihre konstruktive Gestaltung als spannungsgünstig angenommen werden kann. Dies ist immer der Fall, wenn Aufsattelungen denen entsprechen, die an Tanks vorhanden waren, die einer Prüfung auf Explosionsdruckstoffestigkeit unterzogen worden waren.

– wird fortgesetzt –