

Untersuchungen zur Wirksamkeit der Brandschutzisolierung von Flüssiggas-Lagertanks

Autoren: Dr. B. Droste, M. Mallon, U. Probst, W. Schön

1. Einleitung

Bei der Lagerung von Flüssiggas*) im Freien, in der Nähe von Wohngebäuden oder von anderen betriebsfremden Gebäuden mit Räumen zum dauernden Aufenthalt von Menschen kommt dem Brandschutz vom sicherheitstechnischen Standpunkt her eine besondere Bedeutung zu. Aufgrund des dem Flüssiggas spezifischen Gefährdungspotentials (Brennbarkeit, Explosionsfähigkeit) muß durch entsprechende sicherheitstechnische Maßnahmen die Brandeinwirkung auf einen Lagertank verhindert oder so beherrscht werden, daß eine unzulässige Undichtheit oder gar ein Bersten des Tanks nicht auftreten kann.

Da bei Flüssiggasen entsprechend der Dampfdruck-Temperatur-Kurve zudem eine geringfügige Temperaturerhöhung schon einen recht starken Druckanstieg bewirken kann, müssen die Brandschutzmaßnahmen bei der Flüssiggaslagerung besonders wirksam sein.

Optimal ist sicher die unterirdische oder erdgedeckte Aufstellung der Lagerbehälter, wie dies die „Technische Regel Druckbehälter TRB 610“ [1] vom Januar 1984 vorsieht. Danach sind jedoch auch, bei Beachtung bestimmter Abstandsverhältnisse zu potentiellen Gefahrenquellen, alternative Brandschutzmaßnahmen zulässig.

Dies kann z. B. eine Wasserberieselung in Verbindung mit besonderen Schutzabständen oder auch anstelle der Erddeckung eine Wärmeschutzisolierung des Lagerbehälters sein, welche einen Schutz vor unzulässiger Brandeinwirkung mindestens 90 Minuten sicherstellen soll

(TRB 610 Ziff. 6.1.3). Diese Anforderung an eine „Brandschutzisolierung“ – wir verwenden diesen Begriff anstelle des im Regelwerk üblichen Begriffes „Wärmedämmstoff“, der nur ein Bestandteil der komplexer aufgebauten Brandschutzisolierung ist – erscheint nur auf den ersten Blick klar definiert, da der Eignungsnachweis für konkrete technische Ausführungen, die diese Anforderung erfüllen, bisher offen ist.

Aus diesem Grunde führt die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) in Zusammenarbeit mit dem Technischen Überwachungs-Verein Hannover e.V. praktische Untersuchungen der Wirksamkeit von Brandschutzmaßnahmen durch. Diese Untersuchungen erfolgen im Rahmen des Forschungs-Teilprojektes „Ermittlung gesicherter Erkenntnisse und Aufstellung sicherheitstechnischer Kriterien zur Gewährleistung der Schutzziele bei Lagerung, Transport und Umschlag von Flüssiggas“. Dieses Projekt ist ein Bestandteil des vom Bundesminister für Forschung und Technologie geförderten Forschungs-Verbundprojektes „Ermittlung sicherheitstechnischer Kriterien zur Flüssiggastechnologie und Herleitung geeigneter Sicherheitsstandards“, dessen Projektleitung die BAM durchführt.

Nachfolgend wird über zwei Brandversuche berichtet, die von der BAM und dem TÜV Hannover ausgeführt wurden. Hier wurden brandschutzisolierte Flüssiggastanks im Originalmaßstab mit Flüssiggasfüllung untersucht. Aus den Versuchsergebnissen werden wichtige Folgerungen für die anforderungsgerechte Gestaltung von Isolierungen hergeleitet.

Eine ausführlichere Darstellung der Untersuchungen erfolgte in einem Forschungsbericht [5].

2. Brandversuche mit isolierten Flüssiggastanks

Nach bereits durchgeführten Versuchen mit ungeschützten Flüssiggas-Lager-

tanks im Unfallfeuer [3, 4] und den daraus gewonnenen Erkenntnissen über deren Verhalten wurden für die experimentellen Untersuchungen der Wirksamkeit einer Brandschutzisolierung ebenfalls Tanks mit einem Nenninhalt von 4850 l (entsprechend DIN 4680) ausgewählt. Die Behälter wurden hierbei einer vollständigen Unterfeuerung mit einem Heizölfeuer ausgesetzt. Die Versuche wurden auf dem Prüfstand der BAM in Lehre bei Braunschweig ausgeführt.

Nach der TRB 610 [1] sollen die Schutzzonen um die Behälter frei von brennbaren Stoffen sein und der Boden unter dem Tank soll ein Gefälle von mindestens 2 % aufweisen. Somit stellt die vollständige Unterfeuerung eine konservative Prüfbedingung dar, mit der auch thermische Einwirkungen sehr geringer Wahrscheinlichkeit abgedeckt werden (z. B. Unterfeuerung eines Flüssiggasbehälters auf einem Tankstellengelände nach einer Freisetzung brennbarer Flüssigkeiten).

Die Versuchsbehälter wurden mit einem zweiten zusätzlichen Sicherheitsventil ausgerüstet (wie in einem Erlaß des Niedersächsischen Sozialministers für oberirdische Behälter von Treibgastankstellen vorgesehen [2]).

In dem ersten der beiden nachstehend aufgeführten Versuche (Versuch 1.5/417) wurde das angestrebte Ziel (Gewährleistung der Sicherheit über eine Branddauer von 90 Minuten) nicht erreicht. Beim zweiten Versuch (1.5/418) wurde daraufhin die Wärmedämmschichtdicke von 80 mm auf 100 mm erhöht, ferner wurden Modifikationen der Armaturendichtungsmaterialien sowie eine Optimierung der Brandschutzisolierung im Armaturenbereich vorgenommen.

Weiterhin wurde der Tankfüllgrad von 50 % auf 20 % reduziert, um mit der daraus resultierenden verminderten Wärmekapazität eine noch schärfere Prüfbedingung abzudecken.

*) Nach DIN 51 622 Kohlenwasserstoffe wie Propan, Propen, Butan, Buten und deren Gemische

2.1 Versuchsobjekte

2.1.1 Tanks

Für die Brandversuche standen zwei baugleiche Flüssiggas-Lagerbehälter mit Abstellereinrichtung für die oberirdische Aufstellung, entsprechend DIN 4680, mit einem Nenninhalt von 4850 l zur Verfügung. Die Tanks sind nach einem zulässigen Betriebsüberdruck von 15,6 bar und einem Prüfüberdruck von 20,3 bar ausgelegt.

2.1.2 Tankarmaturen

Die Tanks waren mit folgenden Armaturen ausgerüstet:

- 1. Sicherheitsventil (S+R, Typ Nr. 486) NPT 1", Ansprechüberdruck 15,6 bar
- 2. Sicherheitsventil (W, Typ SV 741) Ansprechüberdruck eingestellt auf ca. 19 bar bei Versuch Nr. 1.5/417 bzw. auf ca. 18 bar bei Versuch Nr. 1.5/418
- Füllventil (S+R, Typ Nr. 481) NPT 1 1/4"
- Flüssigentnahmeventil (S+R, Typ Nr. 484) NPT 3/4"
- Gasentnahmeventil (S+R, Typ Nr. 483) NPT 3/4"
- Füllstandsanzeiger (S+R, Typ Nr. 705) Schaftlänge 630 mm.

In Bild 1 sind die Angaben über die Funktionsfähigkeit der Tankarmaturen dargestellt.

2.1.3 Brandschutzisolierung der Tanks

Die Montage der Brandschutzisolierung der Tanks wurde wie folgt vorgenommen (siehe hierzu auch Bild 2):

Armatur	1. Versuch (1. 5/417)	2. Versuch (1.5/418)
Füllventil	nicht funktionsfähig Perbunandichtung zerstört	undicht
Gasentnahmeventil	nicht funktionsfähig	undicht
Flüssigentnahmeventil	nicht funktionsfähig	Stopfbuchse undicht, funktionsfähig
Füllstandsanzeiger	nicht funktionsfähig	Tankanschluß verformt, keine Meßfunktion
1. Sicherheitsventil	funktionsfähig, Öffnung bei 14,5 bar Überdruck; Schließen bei ca. 14 bar Überdruck	funktionsfähig, Öffnung bei 15 bar Überdruck; Schließen bei 13-14 bar Überdruck
2. Sicherheitsventil	funktionsfähig, Öffnung bei 18-19,5 bar Überdruck; Schließen bei 12,5-13,5 bar Überdruck	keine Funktionsprüfung möglich; Ventil dauernd geöffnet
Werkstoff der Flachdichtung am Tankanschluß		
	Perbunan	Vilon

Bild 1 Ergebnisse der Funktionsprüfung der Tankarmaturen

Zunächst wurde jeweils eine Abstandshalterkonstruktion, bestehend aus Flachstahl (30 x 3 mm) um den Behälter gelegt und mit verzinktem Draht miteinander verbunden. Danach wurden zwei Lagen Mineralfaser-Wärmedämmmatten, jeweils

40 mm (Versuch 1.5/417) bzw. 50 mm (Versuch 1.5/418) dick, fugenversetzt aufgebunden. Abschließend wurde als äußerer Mantel beidseitig verzinktes Stahlblech (1 mm; 275 g/m² Zinkauflage, Güteklasse II) montiert, so daß zwischen

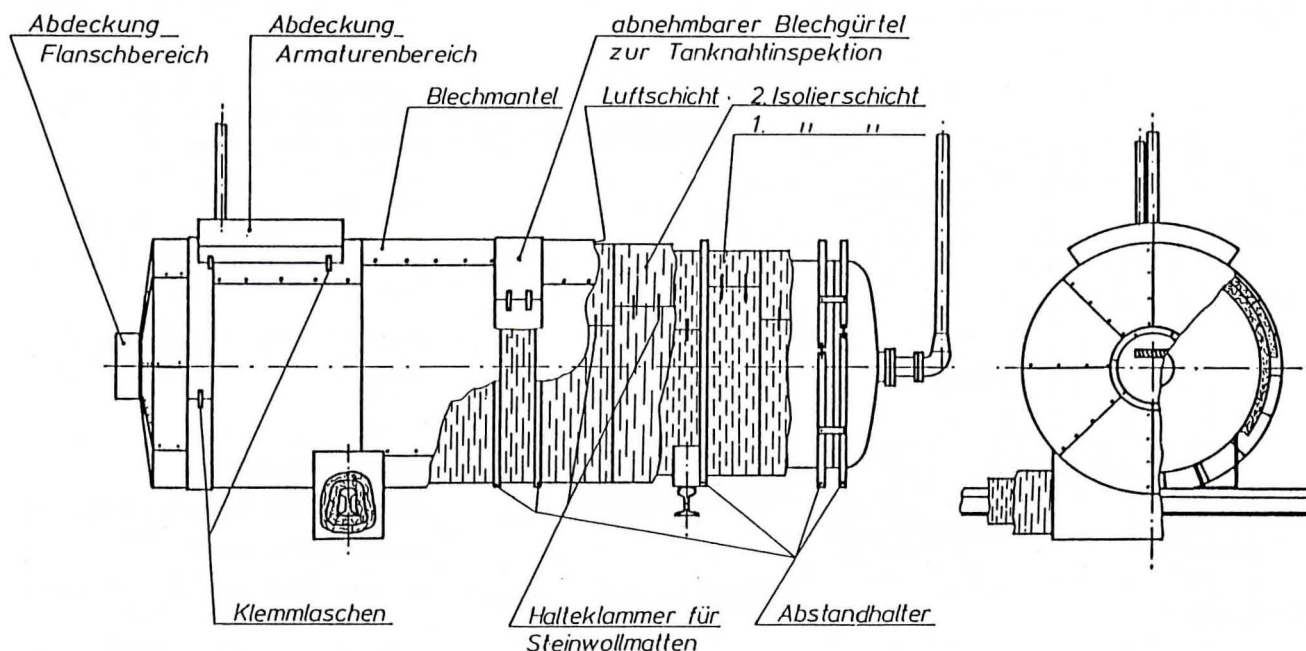


Bild 2 Schematische Darstellung des Aufbaus der Brandschutzisolierung

der Isolierung und dem Mantelblech ein 30 mm hoher Luftraum entstand. Die Besichtigungsöffnung und der Armaturenbereich waren mit demontierbaren Blechhauben, innen mit Isoliermaterial gefüllt, geschützt. Da sich der Armaturenschutz beim ersten Versuch als unzureichend erwiesen hatte, wurde für den zweiten Versuch eine verbesserte Konstruktion verwendet (s. Bild 3).

Bei dem verwendeten Wärmedämmstoff handelte es sich um sogenannte „ISOVER-Wärmeschutzmatten MD 2“. Das Material ist nichtbrennbar (Baustoffklasse A1 nach DIN 4102) und ist nach Angaben des Herstellers frei von korrosionsfördernden Stoffen (AS-Qualität nach AGI Q 135 und schwefelfrei). Die spezifische Wärmekapazität wird mit $0,84 \text{ kJ/kg K}$, die Wärmeleitfähigkeit ist in DIN 52612 Teil 1 angegeben. Danach beträgt der Wärmedurchgangskoeffizient k der im 2. Versuch untersuchten Wärmedämmstoffschicht (100 mm) $0,4 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ (bei 50°C) bzw. $1,2 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ (bei 350°C).

Die Blechnähte wurden als sogenannte Regennähte ausgeführt, um das Eindringen von Wasser zu verhindern.

2.2 Versuchsvorbereitungen

2.2.1 Feuerprüfstand

Die Versuche wurden auf dem Feuerprüfstand der BAM durchgeführt, dessen Brandwanne eine Länge von 6 m, eine Breite von 3 m und eine Tiefe von ca. 0,5 m aufweist. Die Brandwanne ist mit einer Klappen Vorrichtung versehen, über die

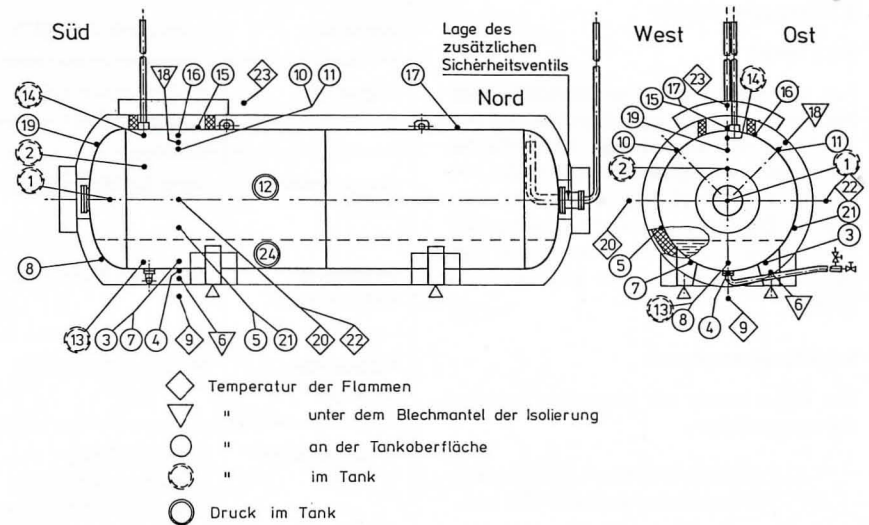


Bild 4.
Meßstellenplan für den zweiten Versuch

jederzeit das brennende Heizöl in einen Löschbunker abgeleitet und ein Versuch somit abgebrochen werden kann.

Vor Versuchsbeginn wurde eine Schicht Heizöl EL von ca. 120 mm Höhe in die Brandwanne eingelassen. Dies entspricht unter den genannten Bedingungen einer Branddauer von ca. 30 min. Über eine fernbetätigte Pumpe wurde während der Versuche in entsprechenden Zeitabständen Heizöl in die Brandwanne nachgepumpt.

Der Abstand des Heizöls bis zur unteren Mantellinie der Tanks betrug ca. 300 mm.

Die Zündung des Heizöls wurde über eine aus sicherer Entfernung betätigte Zündeinrichtung vorgenommen.

2.2.2 Instrumentierung der Tanks

Die Instrumentierung des Tanks bei Versuch 1.5/418 mit Thermoelementen und Druckaufnehmern wurde entsprechend dem in Bild 4 enthaltenen Meßstellenplan vorgenommen. Die Instrumentierung bei Versuch 1.5/417 wurde in ähnlicher Weise durchgeführt. Zur Erfassung der Temperaturen wurden Mantelthermoelemente Typ MTA 1 CA/32, Thermopaar Ni/Cr-Ni verwendet. Der Behälterinnen-Druck wurde mit zwei Druckaufnehmern, Meßbereich 0–40 bar, gemessen. Der Anschluß vom Tank an die Meßgeräte erfolgte über Ermeto-Druckrohrleitungsabschnitte ($\varnothing 6 \text{ mm}$). Sowohl die Ausgleichsleitungen für die Temperaturmessung als auch die Ermetoleitungen wurden über ca. 25 m Entfernung in einen geschützten Meßcontainer geführt, in dem die Instrumente zur Meßwerterfassung untergebracht waren. Die Versuchsmannschaft hielt sich während der Versuche in einem ca. 230 m entfernten Schutzstand auf. Das Versuchsgeschehen wie auch die Meßwerte wurden mit Videokameras aufgezeichnet und direkt in den Bunker übertragen.

Bild 5 (nächste Seite) zeigt den fertig vorbereiteten Tank von Versuch Nr. 1.5/418.

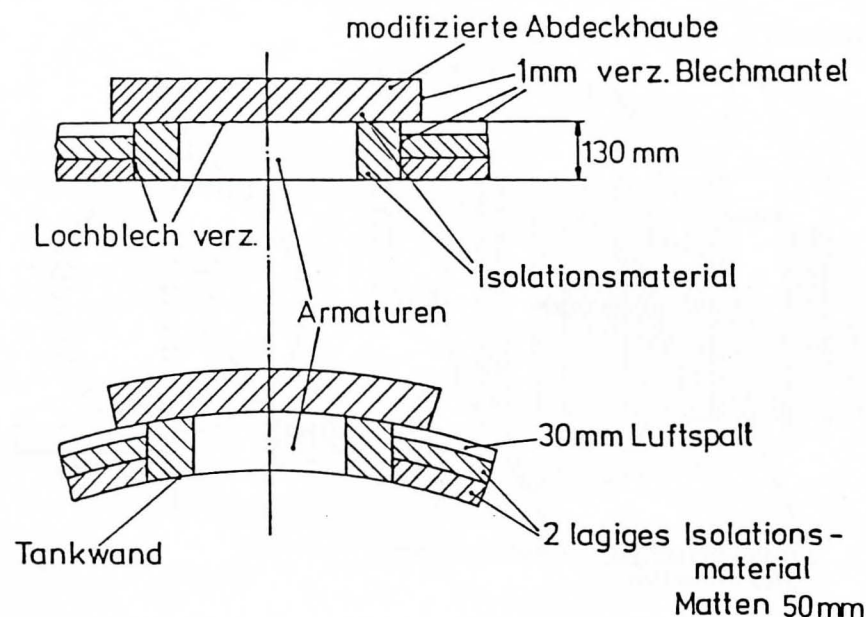


Bild 3 Isolierung des Armaturenbereiches bei Versuch 1.5/418

2.3 Versuchsablauf

2.3.1 Erster Brandversuch (Nr. 1.5/417)

Versuchsbedingungen:

- Füllgrad des Tanks mit Propan: 50% (2450 l bei 17°C eingefüllt)
- Überdruck des Propans bei Versuchsbeginn: 8 bar
- Umgebungstemperatur: 16°C

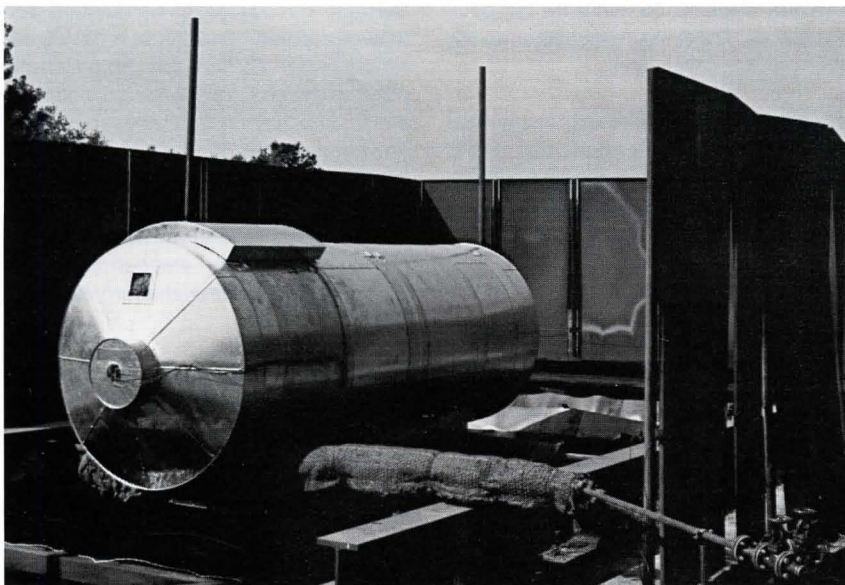


Bild 5 Isolierter und instrumentierter Tank für den zweiten Versuch (1.5/418)

- Wetterverhältnisse: frischer Wind aus West, trocken, bedeckter Himmel

Der Tank wurde aufgrund der vorherrschenden Windverhältnisse auf seiner östlichen Seite wesentlich stärker befeuert als auf der westlichen Luv-Seite.

Nach einer Branddauer von ca. 20 bis 30 min. wurden die Druckmessungen unterbrochen. Zurückzuführen war dies vermutlich auf eine Undichtheit und daraus resultierende Wärmebeaufschlagung an der Anschlußstelle der Ermetoleitungen im Armaturenbereich.

Nach 46 min. sprach das 1. Sicherheitsventil an. Nach 54 min. kippte das Ausblasrohr des 2. Sicherheitsventils auf die Seite. 60 min. nach Zündung schlugen deutlich sichtbar Flammen unter der Abdeckhaube des Armaturenbereichs hervor.

Nach 70 min. wurde an der Tankwandung im Domscheitel eine Temperatur von 200°C erreicht. Aufgrund dieses kritischen Wertes und wegen des unkontrollierten Brandes im Armaturenbereich wurde der Versuch hier abgebrochen.

Insgesamt 3 h und 30 min. nach Versuchsbeginn waren die Temperaturen der Tankwandung so weit abgesunken, daß eine gefahrlose Annäherung an den Tank möglich war und die Flammen im Bereich der Abdeckhaube durch einen Einsatz der Feuerwehr gelöscht werden konnten.

Eine Mengenabschätzung des während des Versuches abgelassenen Gases über die Sicherheitsventile konnte nicht durchgeführt werden.

2.3.2 Zweiter Brandversuch (Nr. 1.5/418)

Versuchsbedingungen:

- Füllgrad des Tanks mit Propan: 20 % (971 l, eingefüllt bei 26°C)
- Überdruck des Propans bei Versuchsbeginn: 9,0 bar
- Umgebungstemperatur: 28°C
- Wetterverhältnisse: schwacher Wind aus West, trocken, klares Hochdruckwetter

Aufgrund der schwachen Luftbewegung konnte sich ein gleichmäßiges Feuer entwickeln. In der 21. und 32. min. traten kurzzeitig Flammen unter der Abdeckhaube hervor, vermutlich zurückzuführen auf Brenngase unter dem Blechmantel der Isolierung. Nach 52 min. war ein schwacher Gasaustritt aus dem 2. Sicherheitsventil bei 14,5 bar zu verzeichnen. Nach 53 min. öffnete das 1. Sicherheitsventil bei einem Überdruck von 14,8 bar.

Die Temperatur- und Druckmeßwerte stiegen nicht in kritische Bereiche, so daß der Versuch über eine Dauer von 90 min. durchgeführt werden konnte.

5 min. nach Versuchsende erlosch die Flamme über dem 2. Sicherheitsventil, nach weiteren 9 min. erlosch auch die Flamme über dem 1. Sicherheitsventil. Es waren jedoch weiterhin leise Ausblasegeräusche zu hören. 35 min. nach Beendigung des Versuches löschte die Feuerwehr die kleinen, im Bereich der Abdeckhaube austretenden Flammen.

Der nach dem Versuch im Behälter verbliebene flüssige Inhalt wurde in ein Stra-

ßentankfahrzeug zurückgepumpt, das anschließend gewogen wurde. Hieraus ergibt sich nach einer groben Abschätzung, daß etwa 270 kg Propan (von ursprünglich 470 kg) über die Sicherheitsventile bzw. undichten Armaturen während des Versuches abgelassen wurden. Die nach Versuchsende noch ausgetretene Menge bis zur Entleerung des Tanks dürfte vergleichsweise sehr klein sein.

2.4 Versuchsergebnisse

2.4.1 Temperatur- und Druckmessungen beim 1. Versuch (1.5/417)

Die Tankwandungstemperaturen am Gasraum des Behälters stiegen bis auf 235°C an der wärmsten Stelle im Tankscheitel, wo bei Versuchsabbruch 200°C erreicht waren und das Maximum 25 Minuten nach Versuchsabbruch auftrat. Eine Ausnahme bildete die Meßstelle unmittelbar auf der Tankwandung neben den Armaturen. Hier war ein starker Temperaturanstieg im Zusammenhang mit der unzureichenden Isolierung dieses Bereiches zu verzeichnen. Durch die unzulässige Erwärmung wurden die Armaturen undicht und ausströmendes Gas sorgte für eine zusätzliche Befeurung. Eine maximale Temperatur von ungefähr 400°C an dieser Stelle ist nicht auszuschließen. Am flüssigkeitsgekühlten Bereich der Behälterwandung stiegen die Temperaturen lediglich bis auf 40°C; nur an einer etwas höher am Behälterboden gelegenen Stelle wurden 95°C verzeichnet.

Die Temperatur der Flüssigphase stieg bis auf ca. 50°C, die Gasphasentemperaturen weisen einen deutlichen Gradienten mit einer Zunahme in Richtung des Tankscheitels (von ca. 60°C bis max. ca. 180°C) auf.

Da der Brand im Armaturenbereich auch den Ausfall der Druckmessung zur Folge hatte, ist der Druckverlauf für die letzte Phase des Versuches rechnerisch aus der Flüssigphasentemperatur rekonstruiert worden. Demnach ist ein Überdruck von ca. 19 bar sicherlich nicht überschritten worden, zumal auch das 2. Sicherheitsventil nicht angesprochen hatte.

2.4.2 Temperatur- und Druckmessungen beim zweiten Versuch (1.5/418)

Das Temperaturspektrum des Feuers mit Werten zwischen 600°C und 1100°C (jeweils im Abstand von 10 cm zur Tankoberfläche gemessen) war ziemlich unregelmäßig.

Bild 6 zeigt die Tankwandungstemperaturen. Die Wandungstemperaturen am Gasraum (Meßstellen 5, 10, 11, 15, 17, 21) lagen bei Versuchsende zwischen 115 °C (Meßstelle 21) und 205 °C (Meßstelle 17, wärmste Stelle auf dem Tankscheitel, wo 18 min. nach Versuchsende ein Maximum von 220 °C erreicht war). Die Tankwandungstemperaturen im flüssigkeitsgekühlten Bereich (Meßstellen 3 und 7) erreichten Werte von ca. 45 °C bis 55 °C.

Die Temperaturen im Tankinnenraum (Bild 7) erreichten in der Gasphase (Meßstellen 1, 2, 14) Werte zwischen 90 °C und 150 °C bei Versuchsende. Das Maximum wurde 35 min. nach Versuchsende an der Meßstelle 14 mit ca. 175 °C erreicht. Die Meßstelle 13 im flüssigen Propan

erreichte nach ca. 55 min. eine Temperatur von ca. 55 °C. Bei Versuchsende lag die Temperatur bei 45 °C.

Der Innendruck (Meßstellen 12, 24) stieg bis zur 60. Minute stetig bis auf 15 bar Überdruck an, verharrte auf diesem Wert und fiel einige Minuten vor Versuchsende langsam ab.

2.4.3 Zustand der Brandschutzisolierungen nach den Versuchen

Der äußere Blechmantel der Isolierung war nach den Versuchen zum Teil stark gewellt und deformiert (siehe Titeltbild). Die stärksten Beanspruchungen traten an den Flanken des zylindrischen Tank-

teils auf. Hier waren die Blechmäntel stellenweise durchgebrannt, und die darunterliegenden Partien der Brandschutzmatten wiesen starke Versinterungen auf. Weiterhin waren die Schnappverschlüsse der Blechstreifen für die Schweißnahtinspektionsstreifen zum Teil aufgezo- gen. Im Umfeld von Blechschrauben waren Risse im Blechmantel vorhanden. Leichtmetallnieten waren weggebrannt und Bindedraht an Abstandshaltern war gerissen.

Beim zweiten Versuch hatte sich die Brandschutzisolierung des Tankbodens auf der Seite, wo das 2. Sicherheitsventil im Bodenflansch montiert war, gelöst und war um ca. 10 cm abgerutscht, so daß sie im wesentlichen lediglich noch vom Abblaserohr gehalten wurde.

2.4.4 Zustand der Tankarmaturen nach den Versuchen

Beim ersten Versuch führte der Brand im Armaturenbereich zu einem völligen Funktionsverlust dieser Armaturen (Bild 1). Auch nach Versuchsabbruch und Löschen des Brandes war ein starker Gasaustritt aus den Armaturen mit entsprechender Vereisung zu verzeichnen.

Eine wesentliche Erkenntnis aus diesem Versuch war einerseits, daß die Brandschutzisolierung des Armaturenbereiches verbessert und andererseits auch die Temperaturbeständigkeit der dichtenden Elemente der Tankarmaturen erhöht werden muß.

Mit der optimierten Gestaltung der Brandschutzhaube für den Armaturenbereich und mit der Auswahl temperaturbeständiger Dichtungsmaterialien (siehe Bild 1) wurde im 2. Versuch erreicht, daß die Tankarmaturen insoweit dicht blieben, daß kein Armaturenbrand auftrat, der weitere Schädigungen zur Folge hatte. Eine grobe Dichtheitsprüfung (Bubble-Test) unmittelbar nach dem 2. Versuch zeigte lediglich eine Undichtheit mit geringfügigem Gasaustritt am Füllventil, was auf den Funktionsverlust der Perbunandichtung (siehe Bild 1) zurückzuführen ist.

Die nach den Versuchen ausgebauten Tankarmaturen wurden im BAM-Labor 4.44 einzelnen Funktionsprüfungen unterzogen, deren Ergebnis ebenfalls in Bild 1 wiedergegeben ist.

Die inneren Undichtheiten des Füll-, Gasentnahme- und Flüssigentnahme-

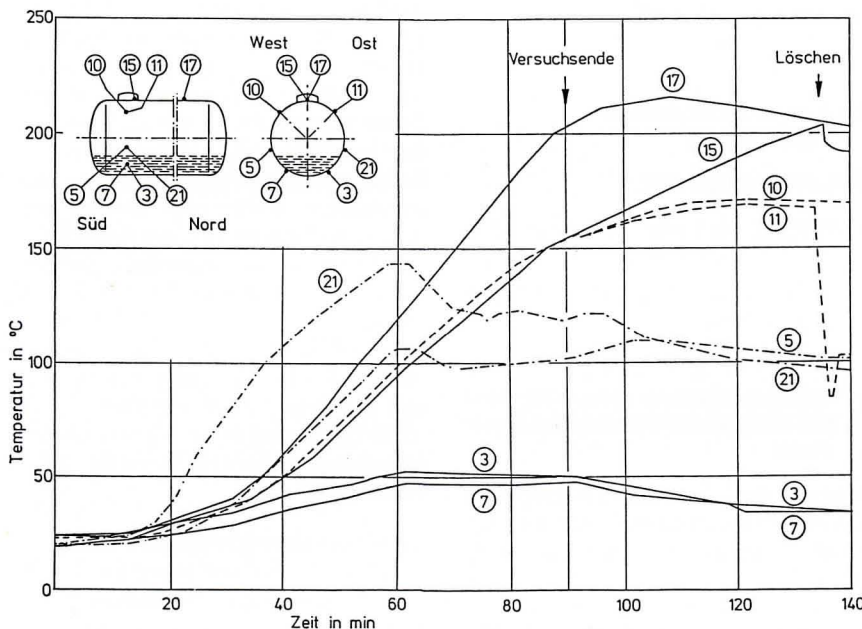


Bild 6 Temperaturen der äußeren Tankwandung beim zweiten Versuch (1.5/418)

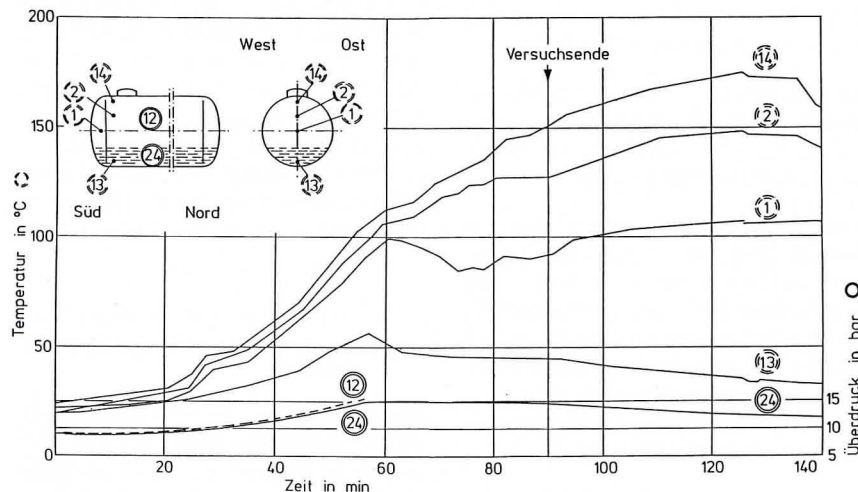


Bild 7 Innenraumtemperaturen und -drücke beim zweiten Versuch (1.5/418)

ventils konnten keinen größeren Gasaustritt und damit einen Brand im Armaturenbereich verursachen. Das 1. Sicherheitsventil bewahrte in beiden Versuchen seine Funktion. Das 2. Sicherheitsventil war nach dem 1. Versuch funktionsfähig; nach dem 2. Versuch war es permanent geöffnet. Dieser Funktionsverlust ist vermutlich auf das Verrutschen der Tankbodenisolierung und der damit verbundenen erhöhten Wärmebeaufschlagung zurückzuführen.

3. Bewertung der Versuchsergebnisse und Schlußfolgerungen

Durch die beim zweiten Versuch verwendete Brandschutzisolierung mit einer Mineralfaser-Wärmedämmstoffschichtdicke von 100 mm und äußerem Blechmantel, einer optimierten Gestaltung der Brandschutzhaube des Armaturenbereiches sowie den Einsatz von temperaturbeständigeren Dichtungswerkstoffen wurde der Nachweis der ausreichenden Sicherheit eines lediglich zu 20 % gefüllten Flüssiggastanks bei 90minütiger Brandeinwirkung einer völligen Heizöl-Unterfeuerung erbracht.

Die Flüssigphase wurde lediglich bis auf 55°C erwärmt. Der daraus resultierende Druckaufbau wurde durch das Ansprechen der Sicherheitsventile auf 15 bar begrenzt.

Sowohl aus dem Temperatur- und Druckverlauf als auch aus der Tatsache, daß die abgeblasene Gasmenge relativ gering war, läßt sich schlußfolgern, daß bei entsprechender Isolierung ein bisher übliches Sicherheitsventil einen ausreichenden Schutz gegen einen kritischen Druckaufbau darstellt. Die Temperaturen der Tankwandung im flüssigkeitsbenetzten Bereich entsprechen in etwa der Temperatur der Flüssigphase.

Die oberhalb der Flüssigphase gemessenen Tankwandungstemperaturen hingegen stiegen in Richtung Tankscheitel stark an. Als Maximalwert wurden hier 220°C registriert. Dabei ist noch keine nennenswerte Schwächung der Widerstandsfähigkeit des Tankwerkstoffes zu erwarten. Durch die Erhöhung der Wärmedämmschichtdicke von 80 mm auf 100 mm wurde eine nennenswerte Reduzierung dieser Maximaltemperatur bewirkt. Dies zeigt ein Vergleich von zwei, bei beiden Versuchen an gleicher Stelle befindlichen Temperaturmeßstellen;

nach der Versuchsdauer von 70 min. (Zeitpunkt des Abbruchs beim 1. Versuch) wurden beim 1. Versuch 200°C und beim 2. Versuch lediglich 150°C gemessen.

Die Gasphase weist wesentlich höhere Temperaturen als die Flüssigphase auf, wobei die Gasphasentemperatur mit der jeweils örtlich benachbarten Tankwandungstemperatur korrespondiert. Der Innendruck wird jedoch ausschließlich durch die Flüssigphasentemperatur bestimmt.

Da auch unterhalb der Brandschutzisolierung nennenswerte Temperaturen auftreten, müssen die Tankarmaturen bis zu einer Temperatur von ca. 250°C ihre Dichtheit bewahren (Brand im Armaturenbereich beim 1. Versuch). Dieses Auslegungskriterium ist bei der Auswahl der Dichtungswerkstoffe der Tankarmaturen unbedingt zu beachten.

Über die mit positivem Ergebnis untersuchte Ausführung der Brandschutzisolierung hinsichtlich Wärmedämmstoff, Schichtdicke, Stützkonstruktion, äußerem Blechmantel, Armaturenschutzhaube sowie demontierbaren Abdeckkappen am Bodenflansch, lassen sich aus dem Verhalten der Brandschutzkonstruktion noch Hinweise für konstruktive Optimierungen herleiten:

Die Befestigung der einzelnen Bestandteile der Stützkonstruktion, des äußeren Blechmantels sowie der Isolierung ist so zu gestalten, daß die Isolierung in jedem Fall während einer Brandeinwirkung am Tank verbleibt. Haltetaschen und Verschlüsse von leicht demontierbaren Abdeckhauben (z. B. von Besichtigungsöffnungen) sind entsprechend widerstandsfähig und gegen selbsttätiges Öffnen gesichert auszuführen. Zur Befestigung von Verschlüssen und Blechteilen sind Stahlnieten oder -schrauben zu verwenden.

Über den Einfluß von Feuchtigkeitskondensation in oder unter der Isolierung, die durch Belüftbarkeit der Isolierung minimiert werden kann, liegen zur Zeit nur begrenzte Erkenntnisse vor. Daher bedarf dieser Aspekt im Hinblick auf das Langzeitverhalten noch verstärkter Aufmerksamkeit. Es sollten deshalb weiterhin die folgenden Hinweise beachtet werden:

Abdeckhauben für Armaturenbereiche oder Besichtigungsöffnungen sind so zu gestalten, daß sie möglichst „nahtlos“ in die Isolierung des Tankmantels bzw. der Tankböden eingepaßt werden können. Der Wärmedämmstoff soll aus hydrophober, chlorid- und schwefelfreier Mineralfaser bestehen. Trotz regendichter Gestaltung des Blechmantels sowie Be- und Entlüftbarkeit des Zwischenraumes zwischen Dämmstoff und Blechmantel sollte der Tank mit einem unbeschädigten Korrosionsschutzanstrich oder entsprechender Lackierung versehen sein. Die Brandschutzisolierung sollte zudem demontierbare Abschnitte aufweisen, durch die eine äußere Inspektion von Teilen der Tankoberfläche möglich ist.

Literatur

- [1] Technische Regeln Druckbehälter TRB 610 „Aufstellung von Druckbehältern zur Lagerung von Gasen“ Ausgabe Januar 1984, BArbBl Nr. 1/1984
- [2] Der Niedersächsische Sozialminister: Besondere Brandschutzmaßnahmen bei der Lagerung von Flüssiggas in oberirdischen Kompaktanlagen auf öffentlichen Mineralöltankstellen; September 1983
Bezug: Nr. 2.1 des Runderlasses des MS vom 28.09.1981 – 501-43.70 – GültL 90/148 –
- [3] B. Droste, H. W. Hübner und U. Probst: Brandversuche mit Tanks zur oberirdischen Lagerung von Flüssiggas Technische Überwachung 25 (1984) Nr. 6, S. 272-275
- [4] B. Schulz-Forberg, B. Droste und H. Charlet: Failure Mechanism of Propane-Tanks under Thermal Stresses Including Fire Engulfment Proc. Int. Symp. „Transport and Storage of LPG & LNG“ Brugge, May 7-10, 1984
Koninklijke Vlaamse Ingenieursvereniging, Vol. 1, pp. 295-305
- [5] B. Droste u. U. Probst: Untersuchungen zur Wirksamkeit der Brandschutzisolierung von Flüssiggas – Lagertanks Forschungsbericht Nr. 125 der Bundesanstalt für Materialprüfung, Juli 1986