

# Pumpen und Rohrsysteme

Fachbuch der Binnenschifffahrt

mit Lösungsbeispielen

van den Boom



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Leistungs- und Pumpensysteme für den Produkttransport.....</b>	<b>2</b>
2.1	Anforderungen an Produkttanks.....	2
2.2	Lagern und Transportieren.....	2
2.3	Laden und Löschen der Tanks und Behälter.....	3
2.3.1	Vertiefung und Übung.....	4
2.4	Leistungs- und Pumpensysteme der Tankschiffe.....	4
2.4.1	Laden und Löschen mit einer Pumpe auf dem Deck.....	5
2.4.2	Produkttank mit Pumpe auf dem Deck.....	8
2.4.2.1	Beispiele zum Laden und Löschen.....	10
2.4.2.2	Vertiefung und Übung.....	12
2.4.3	Laden und Löschen mit Tauchpumpen.....	13
2.4.3.1	Beispiele zum Laden und Löschen.....	17
2.4.3.2	Vertiefung und Übung.....	19
2.4.4	Flüssiggasttankschiffe.....	19
2.4.4.1	LNG Tankschiffe.....	31
2.4.4.2	Vertiefung und Übung.....	33
<b>3</b>	<b>Ballastsysteme.....</b>	<b>34</b>
3.1	Ballastsystem 1.....	34
3.2	Ballastsystem 2.....	35
3.3	Ballastsystem 3.....	37
3.4	Ballastsystem 4.....	38
3.5	Vertiefung und Übung.....	39
<b>4</b>	<b>Kraftstoffbereitstellung.....</b>	<b>40</b>
4.1	Vertiefung und Übung.....	44
<b>5</b>	<b>Motorkühlsysteme.....</b>	<b>45</b>
5.1	Vertiefung und Übung.....	46
<b>6</b>	<b>Baugruppen der Tanksysteme.....</b>	<b>46</b>
6.1	Pumpen.....	46
6.1.1	Förderprinzipien.....	46
6.1.2	Bauarten.....	47
6.1.3	Kreiselpumpen.....	48
6.1.3.1	Aufbau und Funktion.....	48
6.1.3.2	Formen und Anzahl der Laufräder.....	48
6.1.3.3	Selbstentlüftung.....	49
6.1.4	Strahlpumpen, Ejektoren.....	51
6.1.5	Zahnradpumpen.....	52



6.1.6	Hubkolbenpumpen.....	52
6.1.6.1	Wasser-Kolbenpumpe.....	53
6.1.6.2	Hydraulik-Axialppumpe.....	54
6.1.7	Drehkolbenpumpe.....	55
6.1.8	Handflügelpumpe.....	55
6.1.9	Membranpumpe.....	56
6.1.10	Schraubenspindelpumpe.....	57
6.1.11	Exzentrerschneckenpumpe.....	58
6.1.12	Impellerpumpe.....	58
6.1.13	Vertiefung und Übung.....	59
6.2	Armaturen.....	61
6.2.1	Sperrglieder.....	61
6.2.1.1	Ventile.....	61
6.2.1.2	Klappen.....	62
6.2.1.3	Schieber.....	62
6.2.1.4	Hähne.....	63
6.2.2	Sicherheitsarmaturen.....	63
6.2.2.1	Flammensicherungen (Detonationssicherung).....	63
6.2.2.2	Detonationsöffnungen.....	64
6.2.2.3	Unterdruckventile.....	64
6.2.2.4	Überdruckventile.....	65
6.2.3	Vertiefung und Übung.....	66
<b>7</b>	<b>Naturwissenschaftliche Zusammenhänge.....</b>	<b>67</b>
7.1	Der Druck und seine Einheiten.....	67
7.2	Förderstrom (Q).....	69
7.3	Strömungsursachen und Steighöhe.....	69
7.3.2	Hydrostatischer Druck als Strömungsursache.....	70
7.3.3	Atmosphärischer Druck als Strömungsursache.....	70
7.4	Die Aggregatzustände.....	72
7.5	Das Teilchenmodell der Stoffe.....	74
7.6	Kavitation.....	75
7.7.1	Leeren mit Pumpen auf dem Deck.....	77
7.7.2	Leeren mit Tauchpumpen.....	80
7.8	Gesetze der strömenden Flüssigkeiten und Gase.....	80
7.9	Vertiefung und Übung.....	82
<b>8</b>	<b>Lösungsvorschläge zu Vertiefen und Übung.....</b>	<b>84</b>
<b>9</b>	<b>Graphische Symbole nach DIN 85005.....</b>	<b>89</b>

# 1 Einleitung

Binnenschiffe sind mit unterschiedlichen Leitungssystemen zum Zweck des Produkttransportes, zum Ballastladen, zur Brennstoffversorgung der Maschinen, zum Kühlen der Maschinen und vieles mehr ausgestattet. Abhängig von den Aufgaben und einer möglichen Gefährdung, die von einem System ausgehen kann, unterscheiden sich die Systeme stark, obwohl gleiche physikalische und technische Gesetzmäßigkeiten zu Grunde liegen.

Im Folgenden werden die Rohrleitungssysteme der genannten Aufgabenbereiche, die verwendeten Pumpen, Armaturen und die wichtigen physikalischen und mathematischen Grundlagen vorgestellt.

## 2 Leitungs- und Pumpensysteme für den Produkttransport

Die Leitungs- und Pumpensysteme der Tankschiffe ermöglichen das Laden und Löschen von Tanks, das Lagern von Produkten, aber auch die Reinigung. Vielfältige Einflüsse und Gefahren, die vom geladenen Produkt ausgehen, erfordern besondere Sicherheitsmaßnahmen und -systeme. Auch die Möglichkeit, verschiedene Produkte gleichzeitig zu transportieren, führt zu besonderen Ausstattungen.

### 2.1 Anforderungen an Produkttanks

Unabhängig vom Tank und von der transportierten Flüssigkeit, müssen Tankschiffe stets die vorgeschriebenen Anforderungen während des Lagerns, des Transportes, des Ladens und des Löschens erfüllen.

Verschiedene gesetzliche Regelwerke schreiben Bauweisen und Einrichtungen verbindlich vor, wie zum Beispiel

- die Bauvorschriften der Klassifikationsgesellschaften,
- das ADN (Europäische Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf Binnenwasserstraßen) und
- der ES-TRIN (Europäischer Standard der

technischen Vorschriften für Binnenschiffe).

### 2.2 Lagern und Transportieren

Auf Fahrt sind Lade- und Löscharmaturen geschlossen, während sich das Produkt oder die Produkte in Tanks befinden. In dieser Zeit können sie unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt sein, die gefährliche Auswirkungen haben können, wenn nicht geeignete Vorkehrungen getroffen und technischen Einrichtungen verbaut werden.

Zum Beispiel verursacht eine Sonneneinstrahlung eine zunehmende Umgebungstemperatur, so dass der Dampfdruck im Tanksystem ansteigt. Bei Dunkelheit sinkt die Außentemperatur wieder und der Druck verringert sich. Da schon eine Veränderung des Behälterdrucks um wenige Zehntel Bar eine bleibende Verformung der Tankwände und der Schweißnähte verursachen kann, müssen Dämpfe über entsprechende Ventile bei erhöhtem Druck herausgelassen und Luft oder Inertgas bei verminderten Druck hineingelassen werden.

Werden leichtentzündliche oder giftige Flüssigkeiten transportiert, stellen ihre Dämpfe erhebliche Gefahren für Mensch und Material dar. Bei gefährdenden Stoffen müssen Tank- und Leitungssysteme deshalb mit geeigneten Sicherheitsarmaturen den Über- und Unterdruckventilen (Abb. 1) ausgestattet werden.

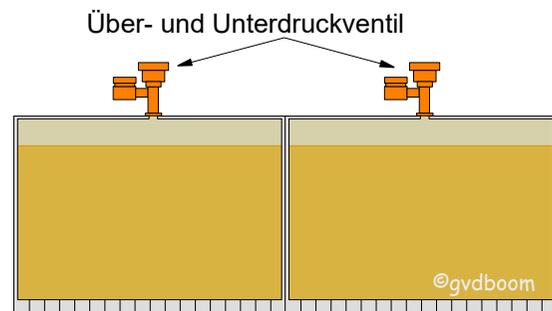


Abb. 1: Produkttanks mit Ventilen zur Druckentlastung

Bei zu hohem Druck öffnet ein Überdruckventil (Abb. 2) und lässt Dampf in die Umgebung entweichen oder in eine Gassammelleitung

(Gaspendelleitung) strömen, damit der Druck abgebaut werden kann. (vgl. S. 64)

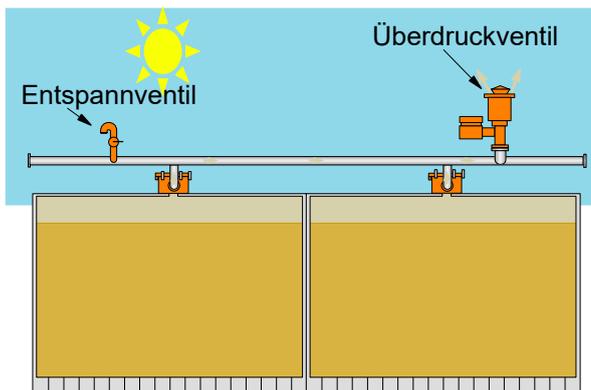


Abb. 2: Produkttanks bei steigender Temperatur

Das Unterdruckventil wird oftmals in Kombination mit einem Überdruckventil verbaut. Es öffnet, um Luft in den Tank hineinzulassen, damit der Unterdruck aufgehoben wird (Abb. 3).

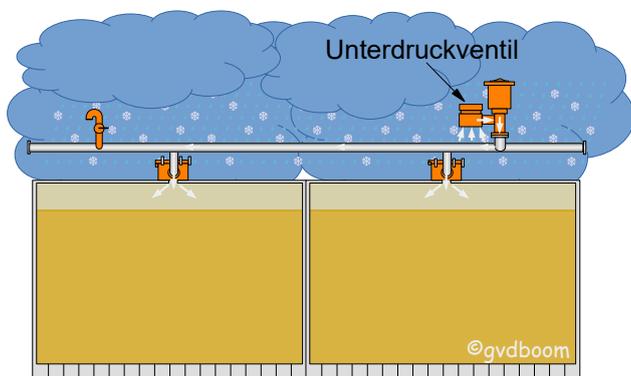


Abb. 3: Produkttanks bei fallender Temperatur

Zusätzlich besteht mit einem Entspannventil die Möglichkeit, den Druckunterschied manuell auszugleichen (Abb. 2).

In Einrichtungen für den Transport mit entzündlichen Stoffen sind alle Öffnungen zur Umgebungsluft mit Flammenschutzeinrichtungen ausgestattet. Es werden Flammendurchschlagsiebe oder Hochgeschwindigkeitsventile verwendet (vgl. S. 65).

In den Abbildungen 1 bis 3 wurden die Ventile direkt auf dem Tank montiert, jedoch können sie sich auch entlang einer Gaspendelleitung befinden.

## 2.3 Laden und Löschen der Tanks und Behälter

Beim **Laden** strömt Flüssigkeit durch einen Ladearm und die Ladeleitungen des Schiffes in die Tanks. Wahlweise füllen sich ein oder mehrere Tanks gleichzeitig.

Die Ladeleitung im Tank reicht bis wenige Dezimeter über den Tankboden und kann dort eine 90°-Krümmung haben. Mit einem kurzen Rohr würde die Flüssigkeit im leeren Zustand des Tanks auf den Boden stürzen, so dass sie zu schäumen beginnt, weil sie sich stark mit den Gasen im Tank vermischt. Zusätzlich würde sie sich auf Grund der inneren Reibung elektrostatisch aufladen. Bei nicht leitenden Flüssigkeiten, wie den meisten Kohlen-Wasserstoffen (z.B. Kraftstoffe), wird die elektrische Ladung während des Transportes nicht an die Außenhaut abgegeben und verbleibt in den Flüssigkeiten, bis sie gelöscht werden. Erst während des Löschens werden die elektrischen Ladungen an ein metallisches Rohrleitungssystem abgegeben, das sich auf diese Weise elektrisch auflädt (vgl. S. 8).

Eine statische Entladung durch einen Funken in einem zündfähigen Gasgemisch führt zur Zündung und einer Explosion, die unbedingt verhindert werden müssen.

Die Explosionsgefahr kann sowohl im Tank vorliegen, wenn während des Löschens durch Zufuhr von Luftsauerstoff ein zündfähiges Gemisch entsteht oder außerhalb des Tanks, wenn ein unbeabsichtigter Flüssigkeitsaustritt stattgefunden hat.

Aus diesen Gründen wird ein Schiff während des Ladens und Löschens zur Sicherheit geerdet.

Reichen Laderohre bis kurz über den Tankboden und haben dort eine 90°-Krümmung, wird die elektrostatische Aufladung verringert. Zusätzlich werden Tanks langsam angefüllt, bis das Laderohr in der Flüssigkeit eingetaucht ist. Auch während des weiteren Ladevorgangs darf eine maximale Strömungsgeschwindigkeit nicht überschritten werden. Sie wird über die Menge, der pro Zeiteinheit strömenden Flüssigkeit, erfasst. Es ist die Laderate, die mit Hilfe des Lei-



tungsdrucks berechnet wird. Man verwendet häufig die englische Bezeichnung: *pressure drop calculation*.

Das **Löschen** eines Tanks hängt von den technischen Grenzen der unterschiedlichen Pumpen und ihren physikalischen Gesetzmäßigkeiten ab, denen sie unterliegen. Die Unterscheidung zwischen Deckspumpen und Tauchpumpen ist bei der Beurteilung eines Löschvorgangs notwendig (vgl. S. 70 u. 77).

### 2.3.1 Vertiefung und Übung

1. Beschreiben Sie die Anforderungen an einen gefüllten Produkttank während des Transportes.
2. Während der Fahrt öffnet sich das Unterdruckventil eines Tanks. Wodurch wurde das Öffnen des Ventils verursacht?
3. Schildern Sie eine Situation, in der das Überdruckventil eines Tankschiffs öffnet.
4. Mit welchen Sicherheitselementen müssen Produkttanks zusätzlich ausgerüstet sein, wenn die austretenden Gase leicht entzündlich sind?
5. Begründen Sie die Notwendigkeit, Produkte ohne starke Verwirbelung in die Tanks einströmen zu lassen.
6. Mit welchen Maßnahmen wird eine starke Verwirbelung verhindert?
7. Warum werden Tankschiffe während des Lade- und Löschvorganges geerdet?

## 2.4 Leitungs- und Pumpensysteme der Tankschiffe

Die Tanks der Tankschiffe können mit Pumpen auf dem Deck oder mit Tauchpumpen geleert werden. Sollen unterschiedliche Produkte gleichzeitig gefahren werden, müssen Schiffe aufwändig ausgestattet werden.

Grundsätzlich gibt es zwei Pumpensysteme, das eine hat gemeinsame Ladungspumpen für alle Tanks auf dem Deck, das andere verwendet in jedem Tank installierte Tauchpumpe. Die Leitungssysteme zum Laden, Löschen und zur Entgasung beider Systeme unterscheiden sich deutlich.

Wichtige Dokumentationen dieser Systeme sind die Leitungspläne. In ihnen befindet sich der Bug immer rechts und das Heck immer links. Die Tanks werden vom Bug zum Heck gezählt (Abb. 4) und es werden die Zeichensymbole der DIN 85005 und EN 12874 verwendet.

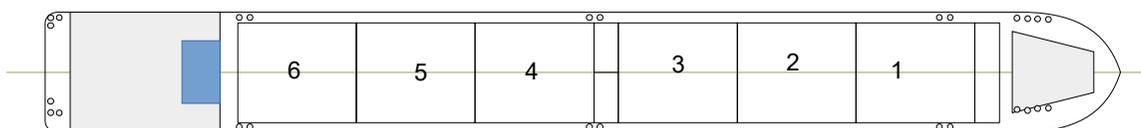


Abb. 4: Tankanordnung

Im Folgenden werden die Systeme in fotografischen Abbildungen und in graphisch vereinfachten Darstellungen mit den dazugehörigen Leitungsplänen vorgestellt. Diese beziehen sich auf Schiffe mit großen, von backbord bis steuerbord reichenden, zentrisch angeordneten Tanks (Abb. 4). Zur besseren Übersicht wird nur der Bereich der Tanks 4 bis 6 aufgenommen.

## 2.4.1 Laden und Löschen mit einer Pumpe auf dem Deck



Abb. 5: Tankdeck mit Ladungspumpe auf dem Deck

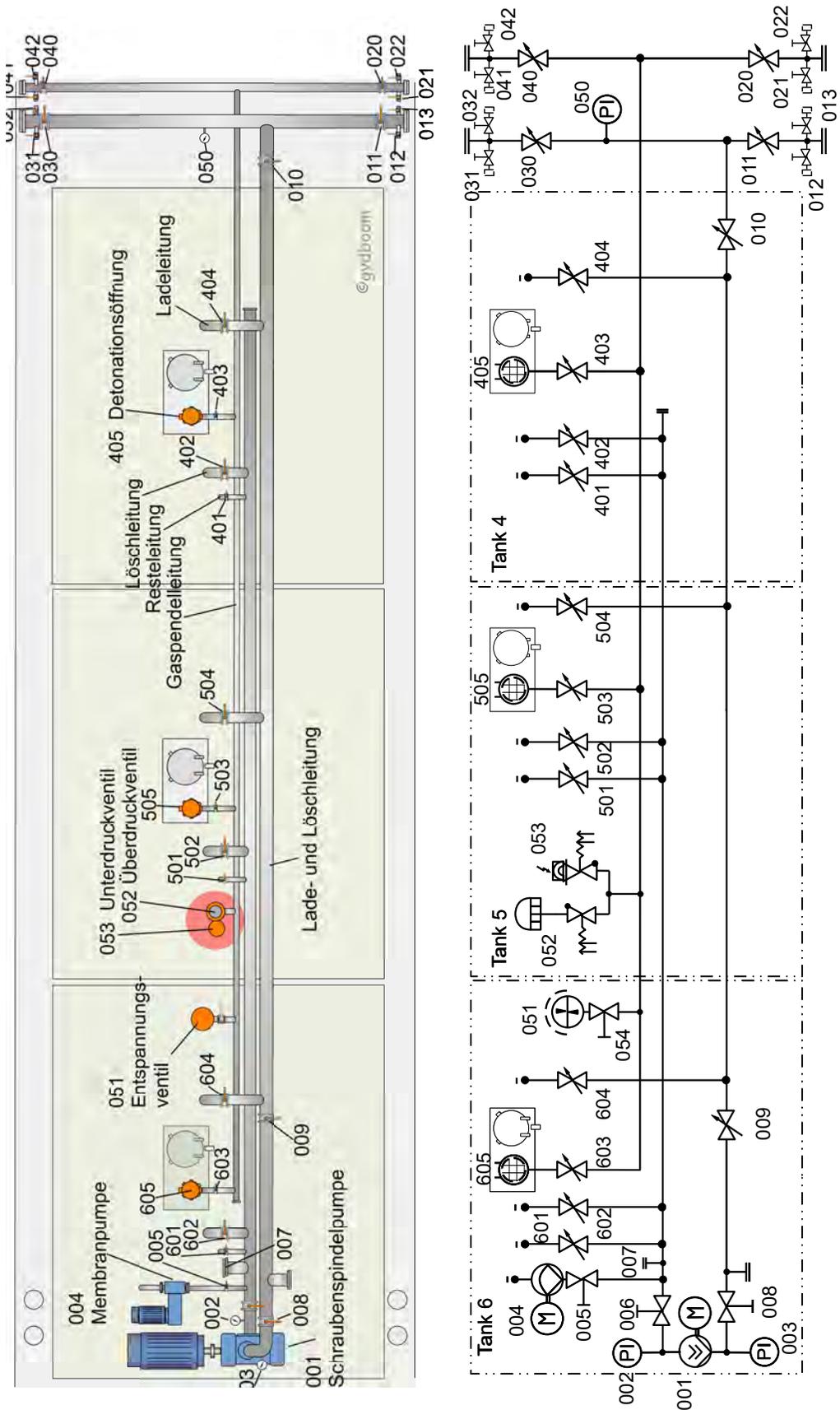


Abb. 6: Tanks 4 bis 6 mit Ladungspumpe, Abbildung und Leitungsplan



Stückliste zum Leitungsplan (Abb. 6)		
Position	Bezeichnung	Bemerkung
001	Spindelpumpe	mit geregeltm Elektromotor und Steuerung
002	Manometer	Unterdruck
003	Manometer	Überdruck
004	Membranpumpe	mit Elektromotor und Hubgetriebe
007	Flansch	Anschlussmöglichkeit
011, 012, 021, 021, 031, 0,32, 041, 042,	Kugelhahn	Betätigung von Hand, mit Camlock
005, 006, 008, 009, 010, 020, 030, 040, 054, 401, 402, 403, 404, 501, 502, 503, 604, 601, 602, 603, 604	Klappen	verstellbar, Betätigung von Hand
405, 505, 605	Detonationsöffnung	Sicherung mit Flammenfilter
050	Manometer	Überdruck
051	Entspannungsventil	mit Flammendurchschlagsicherung
052	Unterdruckventil	mit Flammendurchschlagsicherung $\ddot{O} = -20 \text{ kPa}$
053	Überdruckventil	Hochgeschwindigkeitsventil $\ddot{O} = 50 \text{ kPa}$

Eine Pumpe auf dem Deck unterliegt grundsätzlich anderen physikalischen Bedingungen, als eine Tauchpumpe auf dem Tankboden. Dementsprechend hat ihr Leitungssystem besondere Merkmale und die Handhabung besondere Regeln. (vgl. S. 77 ff)

Das in der bildlichen Darstellungen und dem Leitungsplan (Abb. 6) dargestellte Tanksystem ist eine Minimalausstattung für ein Systems mit einer Ladungspumpe dieser Art.

Das Leitungssystem hat an der Querleitung backbords und steuerbords jeweils einen Anschluss zum Anschlauchen des Ladearms an die Lade-, Löschleitung und an die Gaspendeleitung.

Gelöscht wird in diesem System mit einer Schraubenspindelpumpe 001 auf dem Deck. Sie kann Produkte aus mehr als vier Meter Tiefe und aus weit entfernt liegenden Tanks anheben und ist geeignet, Zuflussleitungen selbst zu entlüften.

Um Beschädigungen zu vermeiden, darf sie nicht trocken gestartet werden, weswegen sie angefüllt werden muss. Entweder entleerte man die Lade- und Löschleitungen beim vorangegangenen Ladevorgang nicht oder man füllt die Löschleitung vor dem Löschen. Dazu kann Produktflüssigkeit oder Wasser genommen werden, vorausgesetzt Wasser vermindert nicht die Produktqualität. Im abgebildeten System steht dem sechsten Tank zusätzlich eine Membranpumpe 004 zum Löschen zur Verfügung. Mit ihr kann die Schraubenspindelpumpe angefüllt werden.

Da in diesem System nur eine große Produktpumpe vorhanden ist, befinden sich an den Leitungen in unmittelbarer Nähe der Pumpe Anschlussmöglichkeiten für eine Ersatzpumpe. Fällt die Pumpe aus und soll trotzdem gelöscht werden, besteht die Möglichkeit, dass ein anderes Tankschiff an einer Schiffsseite festmacht und mit seiner Pumpe am Flansch 007 die Tanks über eine Schlauchleitung löscht.

Das System enthält folgende Sicherheitsarmaturen: eine Detonationsöffnung, ein Entspannungsventil, ein Unterdruckventil und ein Überdruckventil. (Abb. S. 64)

In der Detonationsöffnung befindet sich das Flammendurchschlagsieb, das das Aus- und Eintreten von Flammen verhindern soll. Die Öffnung ist während des Transportes, beim Laden und beim Löschen gleichzeitig die Aus- und Einlassöffnung für Gase, die durch die Gaspen-