

VERTÄUSYSTEME FÜR CONTAINERSCHIFFE

Wolf-Werner Scheuermann

EINLEITUNG

Auf vielfach geäußerten Wunsch hin sind im folgenden die Ergebnisse und Schlußfolgerungen der 1986 entstandenen gemeinsamen Diplomarbeit [1] von Margret Eismann und Wolf-Werner Scheuermann zusammengefaßt und erläutert.

Neben einer Recherche der Grundlagen des Festmachens umfaßt die Arbeit die detaillierte Computersimulation von Festmachetrossen und Winden und darauf aufbauend eine Simulationserweiterung der Schiffsführungs- und Simulationsanlage SUSAN der Fachhochschule Hamburg, so daß das Festmachen von Schiffen unter beliebigen Umwelteinflüssen durchgeführt werden kann. Es wurden die Auswirkungen verschiedener Vertäusysteme auf die Trossenkräfte und die Schiffsbewegungen vor allem auch im Hinblick auf die zum Teil sehr unterschiedlichen Äußerungen und Empfehlungen in der Literatur an einem 209.92 m langen Containerschiff von 32471 t Deadweight untersucht.

Um zu allgemeingültigen Aussagen zu gelangen, wurde auf die Angabe absoluter Werte (Größe von Kräften, Geschwindigkeiten etc.) verzichtet und die Vertäusysteme lediglich relativ zueinander qualitativ verglichen hinsichtlich Trossenkräften, maximal kompensierbaren äußeren Kräften und Bewegungen des Schiffes an der Pier, zumal da die Versuche unter reinen Experimentalbedingungen stattfanden und aus Zeitgründen keine Versuchsreihen durchgeführt werden konnten.

BEGRIFFSBESTIMMUNGEN UND ERLÄUTERUNGEN

Trosse/Leine:

Trossen oder Festmacheleinen sind alle Fasertauwerke (Kunst- wie auch Naturfaser) und Drähte, die zum Festmachen und Vertäuen eines Schiffes Verwendung finden und an Bord mitgeführt werden. Für die Ausrüstung und Dimensionierung der Leinen geben die Klassifikationsgesellschaften Empfehlungen.

Trossen-/Leinengruppe:

Beim Festmachen werden die Leinen in Gruppen zusammengefaßt. Wir unterscheiden Vorleinen, Achterleinen, Vorsprings, Achtersprings, vordere Querleinen und achtere Querleinen. Trossen einer Gruppe wirken alle an etwa derselben Stelle in etwa dieselbe Richtung.

Vertäusystem:

Wir unterscheiden Vertäusysteme nach ihrer Geometrie und Leinenführung, also insbesondere nach den vorkommenden Trossenlängen und Trossengruppen. In den Versuchen wurden verwendet:

Vertäusysteme mit relativ langen Leinen. Vgl. Abb.1. Die Längen der Leinen innerhalb der einzelnen Trossengruppen sind maximal, wobei es jedoch im allgemeinen Unterschiede zwischen den Trossengruppen gibt.

Vertäusysteme mit relativ kurzen Leinen. Vgl. Abb.2. Die Längen der Leinen sind so gering wie möglich, wobei auch hier wieder Unterschiede zwischen den verschiedenen Trossengruppen existieren.

Vertäusysteme mit gleich langen Leinen. Vgl. Abb.3. Es wurde eine Leinenführung gewählt, bei der alle Leinen in etwa dieselbe Länge haben.

Vertäusysteme nach "amerikanischem" System. Vgl. Abb.4 und Abb.5. Bei Crenshaw [2] fanden sich interessante Bilder über die Vertäuerung von amerikanischen Zerstörern und Flugzeugträgern. Die Vertäuerung des Zerstörers scheint sich auch auf ein großes Containerschiff anwenden zu lassen. Die bei Crenshaw mit den Nummern 3 und 4 versehenen Leinen übernehmen dort offensichtlich die Rolle von herkömmlichen Vor- und Achterleinen, allerdings mit einem völlig anderen Hebelarm. Bei der Übertragung dieses Systems auf ein Containerschiff werden z.B. die Vorleinen dort ausgebracht, wo herkömmlich die Springs ausgesteckt werden und umgekehrt, so daß sich die Leinen beider Trossengruppen kreuzen. Als Nebeneffekt dieses Vertäusystems ergeben sich in etwa gleiche Trossenlängen in allen Trossengruppen.

Vertäusysteme nach "amerikanischem" System, ergänzt um herkömmliche Vor- und Achterleinen. Vgl. Abb.6.

Ein vertäutes Schiff in Wechselwirkung mit Pier, Fendern und Trossen ist auch ohne äußere Einwirkungen und ohne regelnde Winden ein im allgemeinen statisch unbestimmtes System, d.h. eine geschlossene Berechnung der Gleichgewichtslagen des Systems ist nicht möglich. Enthält das System, wie in unserem Fall, elastische Elemente (Fender, Trossen), so besitzt es Freiheitsgrade und kann kein Tragwerk im Sinne der Statik sein. Zweck des Vertäuens ist es aber gerade, das Schiff in seiner Ruhelage an der Pier stationär zu halten und große horizontale Schiffsbewegungen zu verhindern.

Haltefähigkeit/-kraft, Wirkung des Vertäusystems:

Bewertet wird die Haltefähigkeit(-kraft, Wirkung) eines Vertäusystems an der Größe der äußeren Kräfte (Wind, Strom), die es eben noch kompensieren kann, ohne daß das Schiff von seinem Liegeplatz vertreibt oder Leinen brechen. Je höher dabei die Werte der äußeren Einflüsse, desto besser ist das Vertäusystem.

Mooringwinde, Konstantzugwinde:

DIN definiert eine Konstantzugwinde als "Winde mit Seiltrommel auf horizontaler Welle ohne Spillkopf zum Verholen und Festmachen des Schiffes mit vorgewählter Seilzugkraft, die durch Automatiksteuerung konstant gehalten wird" [3]. Diese Winden werden an Bord und von Herstellern "Automatische Mooringwinden" oder kurz Mooringwinden genannt. Die Hievgeschwindigkeit im Automatikbetrieb entspricht der niedrigstmöglichen der Winde. Dadurch werden Leistungsverluste und Probleme durch Erwärmung gering gehalten. Der Trossenzug wird bei Mooringwinden über die Änderung der Trossenlänge geregelt. Um ununterbrochenes Arbeiten der Winden zu vermeiden ist um den Sollzug ein Zugsbereich, begrenzt durch einen oberen und einen unteren Schwellwert, gelegt. Bewegt sich der Trossenzug in diesem Bereich, so erfährt die Trosse lediglich Längenänderungen aufgrund ihrer Elastizität. Übersteigt die Trossenkraft dagegen den oberen Schwellwert, so fiert die Winde die

Trosse auf, unterschreitet der Trossenzug den unteren Schwellwert, so hievt die Winde die Trosse ein. Damit erhält man eine Regelungshysterese.

Mooringleine: -----

Mooringleine bedeutet eine Leine, die auf eine Mooringwinde geführt ist und deren Trossenzug im Automatikbetrieb über eine Änderung der Trossenlänge konstant gehalten wird.

Festleine: -----

Festleine bedeutet, daß die aktuelle Länge der Trosse konstant bleibt, auch wenn sich der Abstand der Befestigungspunkte und damit der Trossenzug ändert. Bei einer Festleine können also alle Trossenzüge von 0 kN bis zum Bruch der Trosse auftreten. Die Leine ist gewissermaßen an Land über einen Poller gehakt und an Deck auf einem Poller belegt, bzw. auf eine Winde mit abgeschalteter Mooringautomatik und angezogener Bremse geführt.

Mixed Mooring: -----

Ein Vertäusystem, vor dem überwiegend gewarnt wird, ist das sog. "Mixed Mooring". Nach [4] ist darunter das gemeinsame Ausbringen von Trossen unterschiedlichen Materials zu verstehen, nicht jedoch die Verbindung von Drähten mit Synthetik-Vorläufern. Im Vordergrund der Überlegungen steht dabei das Verhältnis von etwa 20:1 der Elastizitätsmodulen von Stahltrossen und Faserleinen und die Befürchtung, daß sich die weichen Leinen kaum an der Lastaufnahme beteiligen. Wir verwenden den Begriff "Mixed Mooring" hier für Vertäusysteme, in denen Leinen unterschiedlichen Elastizitätsmoduls gemischt werden. Ein interessantes Ergebnis unserer Arbeit ist nun, daß selbst bei absolut homogenen Trossen mit jeweils gleichem Elastizitätsmodul Mixed Mooring nicht vermieden wird, da der effektive Elastizitätsmodul einer Leine erheblich von der Geometrie der Vertäuung bestimmt wird:

Eine festgemachte Trosse läßt sich in zwei Teile gliedern:

- das Stück Trosse aussenbords vom Poller bis zur Klüse in der Bordwand des Schiffes
- das Stück Trosse binnenbords von der Klüse bis zur Windentrommel oder einem Poller an Deck.

Das Trossenstück binnenbords bewirkt keine externen Kräfte am Schiffsrumpf, sondern lediglich Verspannungen in den Schiffsverbänden (innere Kräfte), seine Dehnung wird allerdings durch die Klüse nach außenbords geführt, wodurch das Trossenstück außenbords weicher erscheint, als es der Materialkonstante nach sein müßte. Der Faktor der scheinbaren Änderung des Elastizitätsmoduls bestimmt sich aus dem Verhältnis der Länge des Trossenstücks außenbords zur gesamten Trossenlänge. Nur wenn also für alle Leinen dieses Verhältnis gleich wäre könnte Mixed Mooring im genannten Sinne wirklich vermieden werden (Vgl. [1], S.16ff).

Homogenes Vertäusystem: -----

Ein homogenes Vertäusystem ist das Gegenteil von Mixed Mooring: Wir verstehen darunter ein Vertäusystem, in dem alle Leinen die gleichen physikalischen Eigenschaften, insbesondere den gleichen Elastizitätsmodul haben.

Vorspannung:

Unter Vorspannung ist bei einer Festleine der Trossenzug gemeint, auf den die Leine gehievt wird, bevor sie abgestoppt wird.

ERGEBNISSE UND SCHLUßFOLGERUNGEN

Der Vergleich der Simulationsversuche führt zu folgenden Ergebnissen:

Leinenlängen:

- Vertäusysteme mit insgesamt relativ langen Leinen vertragen bis zum Trossenbruch (bei Festleinen) bzw. Abdriften (bei Mooring-Leinen) höhere äußere Einflußgrößen als Vertäusysteme mit relativ kurzen Leinen.
- Ein Vertäusystem mit insgesamt relativ kurzen Leinen hält das Schiff dichter an der Pier als ein System mit langen Leinen; dies gilt sowohl für reine Festleinen-Systeme als auch für reine Mooring-Leinen-Systeme.
- Werden in einem Festleinen-System sehr kurze Leinen zwischen im Vergleich dazu relativ langen Leinen verwendet, so wird die Wirkung des Gesamtsystems schlechter, da die kurzen Leinen die größte Last tragen und zuerst brechen. Beim Bruch der kurzen Trossen nimmt das Schiff so viel Fahrt auf, daß die restlichen Leinen es meist nicht mehr aufstoppen können. Dadurch wird meist eine Kettenreaktion ausgelöst, in deren Verlauf die Leinen in der Reihenfolge ihrer Länge brechen.
- Bei Mooring-Leinen-Systemen dagegen spielt die Länge der Leinen kaum eine Rolle, da die Wirkung dieser Systeme vor allem von der Sollzug-Einstellung der Winden abhängt.
- Querleinen, die - wie meist üblich - z.B. vorn an der Schulter ausgebracht werden, wirken sich aufgrund ihrer geringen Länge (siehe oben) und ihrer Steilheit eher negativ aus. Wenn nur eine bestimmte Leinenzahl zur Verfügung steht, sollte daher auf ungünstig stehende Querleinen verzichtet und die betreffenden Leinen stattdessen an anderen Stellen effektiver eingesetzt werden.
- Sehr lange Leinen in einem Festleinen-System mit im Vergleich dazu relativ kurzen Leinen beteiligen sich kaum an der Lastaufnahme um eine in etwa gleichmäßige Lastaufnahme aller Trossen zu erreichen, sollten in etwa gleich lange Leinen ausgebracht werden

Vorspannung bei Festleinen:

- Die Erhöhung der Vorspannung bei Festleinen-Systemen verbessert nicht die Haltefähigkeit des Systems unter äußeren Einflüssen, das Schiff wird aber insgesamt dichter an der Pier gehalten.

Mooring-Leinen:

- Reine Mooring-Leinen-Systeme vertragen generell geringere äußere Kräfte als Festleinen-Systeme, dabei spielen Leinenlängen, -führung, -material und -alter keine Rolle. Mit einem reinen Mooring-System

kann das Schiff ab einer bestimmten Größe der äußeren Kräfte nicht mehr befriedigend an der Pier gehalten werden.

- Reine Mooring-Leinen-Systeme reagieren bei niedrigen Sollzug-Einstellungen empfindlich auf ungleiche Längskomponenten der Trossenzüge der Trossengruppen. Bei Festleinen spielen diese keine Rolle, da sich ein Gleichgewicht einstellen kann, was bei Mooring-System nicht möglich ist.
- Die Erhöhung der Sollzüge bei reinen Mooring-Leinen-Systemen verbessert die Wirkung des Vertäusystems hinsichtlich Pierabstand und Stärke der noch kompensierbaren äußeren Kräfte.

Trossenkräfte:

- Bei Mooring-Leinen spielen Trossenkräfte im allgemeinen keine Rolle solange die Fiergeschwindigkeit der Mooring-Winde ausreiche groß ist, sonst kann es auch bei Mooring-Leinen zum Trossenbruch kommen.
- Bei Festleinen nehmen generell die kürzeren Leinen größere Lasten auf als die längeren.
- Bei einem System mit insgesamt relativ kurzen Leinen unterliegen alle Leinen raschen zyklischen Lastwechseln.
- In einem Festleinen-System mit einigen sehr langen Leinen unter im Vergleich dazu kurzen Leinen beteiligen sich die langen Leinen kaum an der Lastaufnahme.

Trossenmaterialien:

- Für Mooring-Leinen-Systeme spielt das Trossenmaterial kaum eine Rolle, da die Wirkung des Systems von den Sollzug-Einstellungen der Winden abhängt.
- Bei gleicher Vorspannung spielt das Material in einem homogenen Vertäusystem auch bei Festleinen keine Rolle.
- Verwendet man Mixed Mooring (verschiedene Trossenmaterialien in einem Vertäusystem) nur in Bezug auf ganze Trossengruppen, mischt also nicht auch noch in den einzelnen Leinengruppen, so sind die Ergebnisse hinsichtlich äußerer Kräfte und Pierabstand nicht signifikant schlechter als bei homogenen Vertäusystemen.

Vertäusysteme:

- Obwohl die Querkomponenten der Springs relativ klein sind, spielen sie im Gesamtvertäusystem eine nicht unerhebliche Rolle, denn bei gleicher gegebener Leinenzahl liegt das Schiff insgesamt deutlich dichter und ruhiger an der Pier, wenn Springs vorhanden sind.
- Je stumpfer der Winkel ist, den feste Vor- und Achterleinen mit der Pier bilden, desto dichter bleibt das Schiff bis zum Trossenbruch an der Pier.
- Die einfachste Art, die Haltekraft eines Festleinen-Systems zu

verbessern, ist das Doppeln oder Mehrfach-Ausbringen von Leinen.

- Die Erhöhung der Bruchlast der Trossenausrüstung erbringt demgegenüber nur geringe Verbesserungen.
- Eine große Zahl normal dimensionierter Leinen (z.B. nach GL-Empfehlung) ist somit günstiger als eine geringe Zahl von Trossen mit hoher Bruchlast.
- Mooring-Leinen-Systeme lassen sich durch deutlich erhöhte Sollzüge verbessern.
- Für Containerschiffe ist Wind die stärkste Einflußgröße, Strom ist dagegen fast unbedeutend in seiner Wirkung.
- Bei ablandigem Wind schräg von vorn wirkt sich bei Festleinen ein glatter Fender positiv aus, da das Schiff sich früher vom Fender lösen und eine gleichmäßige Trossenlastverteilung erreichen kann als bei einem rauheren Fender, wo die Vorsprung "abgehebelt" wird, da das Achterschiff sehr lange am Fender gehalten wird.
- Das "amerikanische" Vertäusystem verbessert die Haltefähigkeit eines Festleinen-Systems zwar nur geringfügig (bei gleicher Leinenzahl wie ein konventionelles System), das Schiff wird aber unter allen (getesteten) Bedingungen dichter und ruhiger an der Pier gehalten, wobei alle Leinen raschen zyklischen Lastwechseln ausgesetzt sind (etwa wie bei einem Vertäusystem mit insgesamt relativ kurzen Leinen).
- Beim "amerikanischen" Vertäusystem haben die Querleinen - aufgrund ihrer Ausbringung direkt am Bug bzw. Heck - offensichtlich eine ausreichende Mindestlänge, so daß sie nicht mehr die kürzesten Leinen sind und damit das Gesamtsystem destabilisieren.
- Das "amerikanische" Vertäusystem bietet die Möglichkeit, die für Großtanker gewonnenen Erkenntnisse - "Vertäuung innerhalb der eigenen Länge" - auch auf Großcontainerschiffe mit ihrem anders gearteten Design der Manöverstationen an ihren anders konzipierten Piers anzuwenden.

Mooring-Winden:

- Bei den heute bei (serienmäßigen) Automatikwinden einstellbaren Sollzügen ist ein Mooring-Leinen-System nicht in der Lage, das Schiff ebenso gut wie ein Festleinen-System an der Pier zu halten
- Sollen ähnlich gute Ergebnisse erreicht werden wie mit Festleinen, so müßten die Sollzüge deutlich höher einstellbar sein.
- Sollen gleich gute Ergebnisse erzielt werden wie mit Festleinen, gleichzeitig aber die Vorteile eines Automatik-Mooring-Betriebes erhalten bleiben, so müßte es möglich sein, bei Bedarf (hohe Umwelteinflüsse) mit der Mooring-Winde eine Festleine zu "simulieren".
- Zu diesem Zweck müßte es, neben dem bisherigen Verfahren einen einzigen Sollzug-Wert einzustellen, möglich sein, einen Zugbereich einzustellen, wobei bei Bedarf der untere Wert niedrig und der

obere Wert sehr hoch angesetzt werden kann, wobei sich eine auf eine derartige Winde geführte Leine in einem weiten Bereich wie eine Festleine verhalten würde, zugleich die Nachteile der Festleine - Durchhang bzw. Trossenbruch - umgangen werden. Die bisher schiffsseitig unbeeinflussbare Regelungshysterese müßte einstellbar gemacht werden.

- Als Fortführung wäre eine selbst-adaptive Winde denkbar, die sich selbsttätig an die wechselnden äußeren Einflüsse anpaßt. Innerhalb eines bestimmten Bereichs wäre damit der Fortfall einer Leinenwache weitgehend möglich. Obwohl die Leinen sich annähernd wie Festleinen "verhalten", wäre - da sie auf Automatik-Winden geführt werden - der Einsatz eines Mooring Monitoring Systems zur Überwachung des Vertäusystems möglich. Selbst-adaptive Winden hätten zudem den Vorteil, daß aufgrund der Anpassung der Trossenzüge an die Größe der äußeren Kräfte die Trossen nur den jeweils notwendigen Zügen ausgesetzt und damit geschont werden.

QUELLEN

- [1] Eismann, M.; Scheuermann, W.-W.: Trossenkräfte beim festgemachten Containerschiff. Diplomarbeit in der Fachrichtung Seefahrt, Fachhochschule Hamburg, Fachbereich Seefahrt, Betreuer: Prof.Kapt. J.Froese, Prof.Dr. B.Berking, Hamburg Oktober 1986.
- [2] Crenshaw, R.S.: Naval Shiphandling. Annapolis, Maryland 1976. S.69.
- [3] Norm DIN 84140: Deckshilfsmaschinen und Zubehör. Begriffe. Ausgabe Mai 1973. S.1.
- [4] Shell International Marine Ltd. (Hrsg.): Mooring Panel Report, Volume 1. (unveröffentlichter Entwurf), MACOMA at Europort 103 1965. S.27

ABBILDUNGEN

Abb.1 Vertäusystem mit relativ langen Leinen.

[1, S.239 oben]

Abb.2 Vertäusystem mit relativ kurzen Leinen.

[1, S.239 unten]

Abb.3 Vertäusystem mit gleich langen Leinen.

[1, S.240]

Abb.4 Vertäusystem eines Zerstörers. (Aus: [2])

[1, S.118, Bild A-4.-2]

Abb.5 "Amerikanisches" Vertäusystem.

[1, S.450 und S.369 oben]

Abb.6 "Amerikanisches" Vertäusystem mit herkömmlichen Vor- und Achterleinen.

[1, S.451 und S.369 unten]

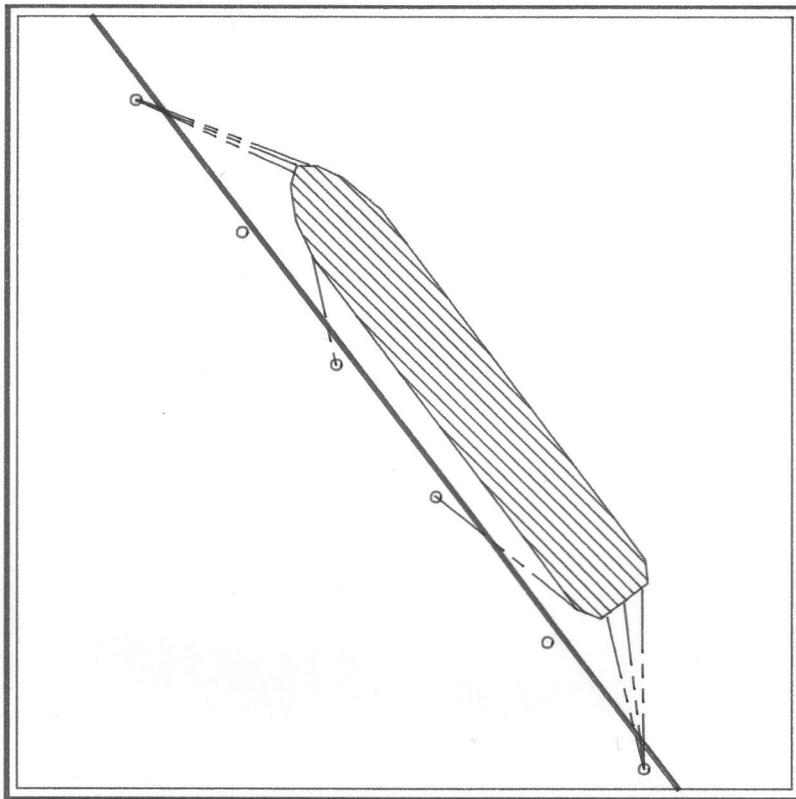


Abb.1 Vertäusystem mit relativ langen Leinen

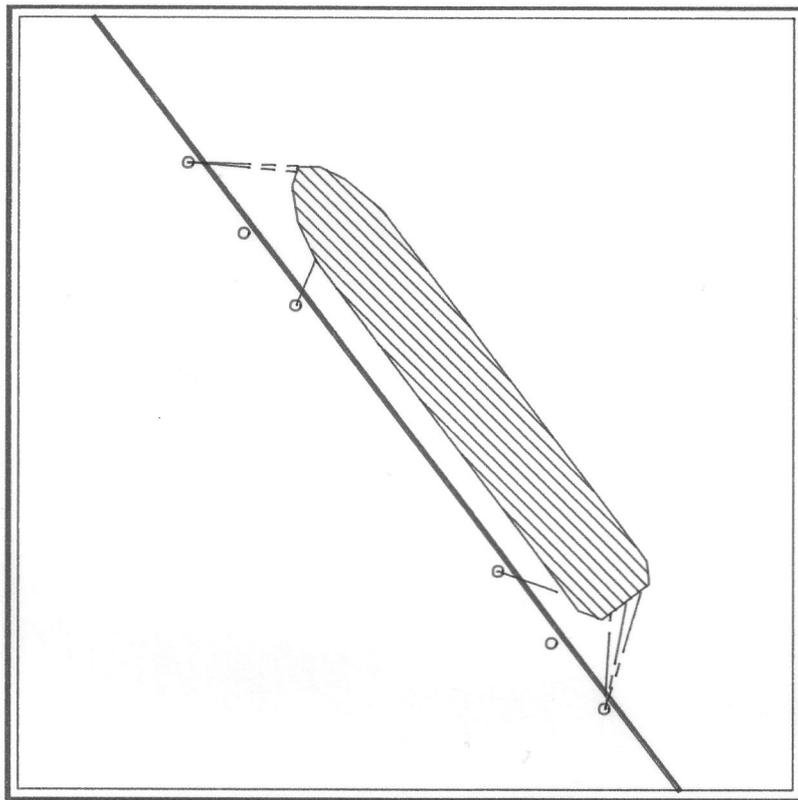


Abb.2 Vertäusystem mit relativ kurzen Leinen

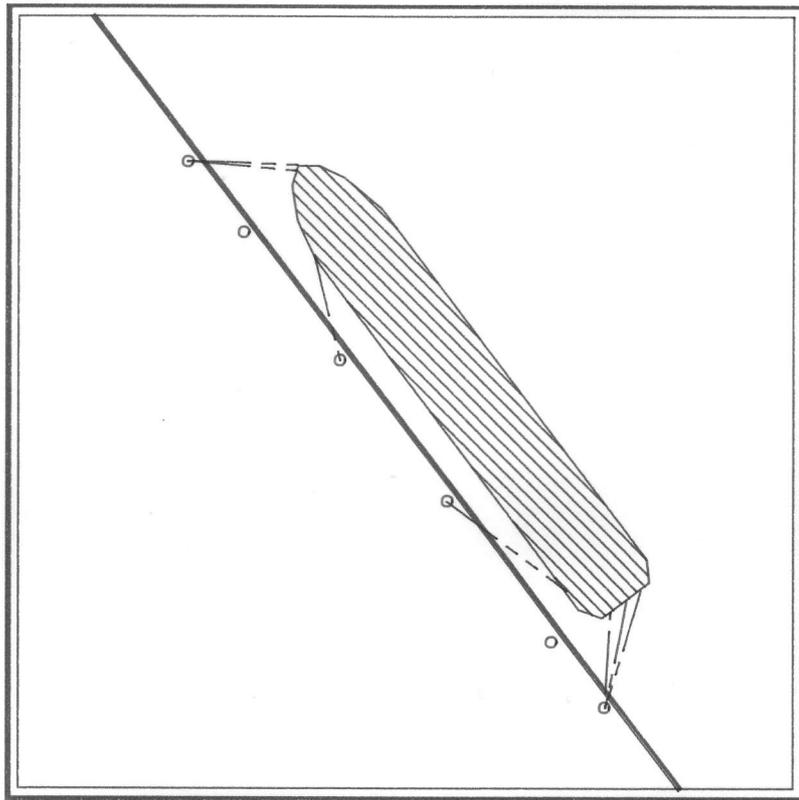


Abb.3 Vertäusystem mit gleich langen Leinen

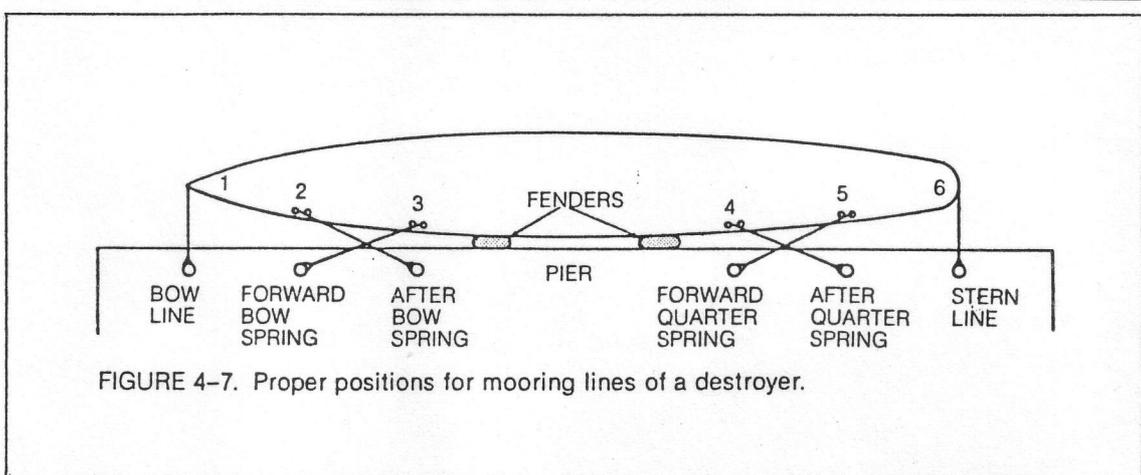


FIGURE 4-7. Proper positions for mooring lines of a destroyer.

Abb.4 Vertäusystem eines Zerstörers. (Aus: [2])

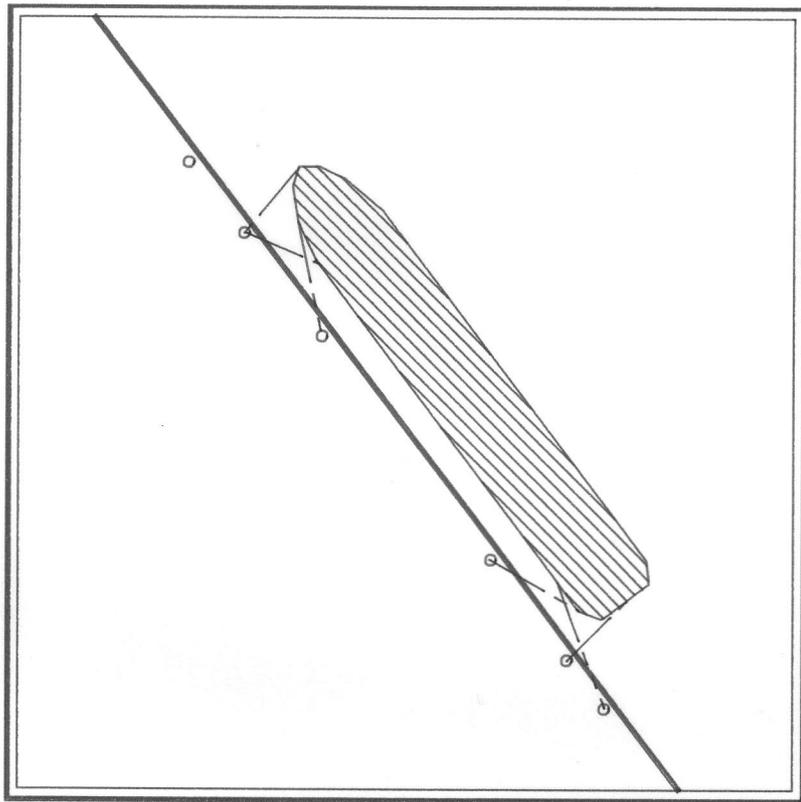


Abb.5 "Amerikanisches" Vertäusystem

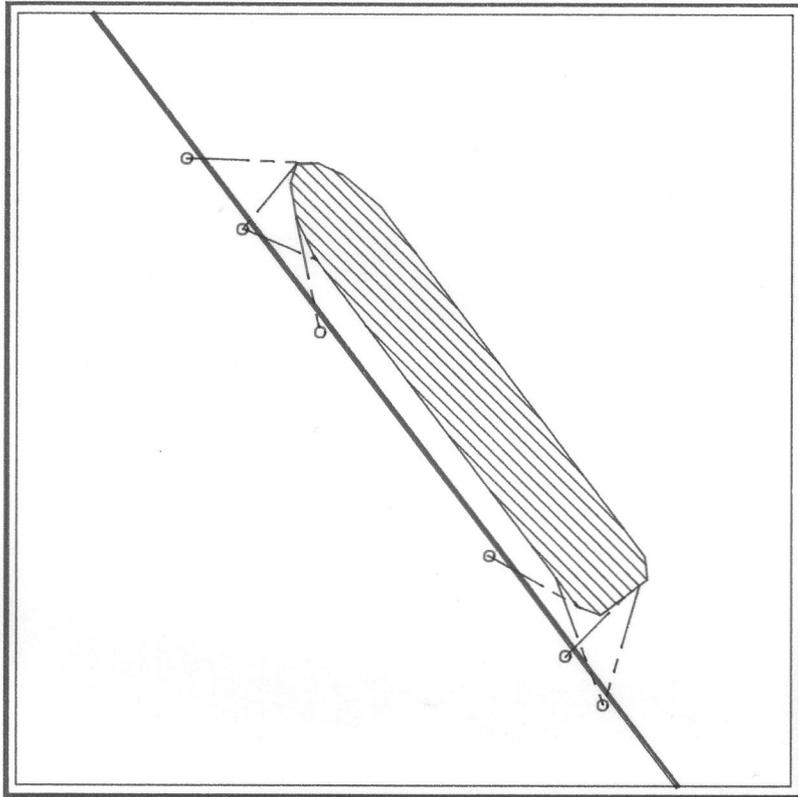


Abb.6 "Amerikanisches" Vertäusystem mit herkömmlichen Vor- und Achterleinen