

09.02.2004

## Hinweise zur Systematik von Hydrostatik-Unterlagen (Intaktstabilität)

### Inhalt

1. Voraussetzungen
2. Ergebnisse
3. Erstellungsmöglichkeiten

Die Ermittlung und der Nachweis von Stabilitätswerten ist für die Sicherheit von Schiffen, Booten und schwimmenden Anlagen von enormer Bedeutung. Gerade im Betrieb von besegelten Fahrzeugen ist das Wissen um die Stabilität von hohem Wert.

### 1. Voraussetzungen

Vorraussetzung für das Erstellen von Stabilitäts-Unterlagen (Intaktstabilität<sup>1</sup>) für ein Boot oder Schiff ist, dass die Form (inklusive Anhänge und Aufbauten), das Gewicht und die Gewichtsschwerpunkte des Bootes und diejenigen der Tankvolumina, sowie Angaben über die Segelflächen vorliegen, und zwar in rechnerisch und/oder zeichnerisch verwertbarer Form:

Informationen	Formen
Form des Bootsvolumens	Linienriss (Papier oder Computer) oder: 3D-Modell im Computer
Bootsgewicht G	Zahlenwert
Gewichtsschwerpunkte $l_{cg}$ , $v_{cg}$	Zahlenwerte
Form der Tankvolumina	Zeichnungen, bemaßte Skizzen oder: 3D-Modell im Computer
Position der Tanks im Boot	Tankplan (Papier oder Computer) oder: 3D-Modell im Computer
Formschwerpunkte der Tanks	Tanktabelle mit Zahlenwerten (inkl. Freier Oberflächen)
Segelflächen, Schwerpunkte	Segelplan (Papier oder Computer)

Die Form des Bootsvolumens (Rumpf mit Aufbauten und Anhängen) wird üblicherweise als Linienriss vorliegen, dem eventuell noch die Aufbauten hinzugefügt werden müssen. Seit einigen Jahren generiert man oft ein, auf diesem Linienriss basierendes, dreidimensionales Modell im Computer, dass für Hydrostatikprogramme verwendet werden kann.

Das aktuelle Gesamtgewicht eines Fahrzeugs kann man herausfinden, indem man die Tiefgänge vorn und achtern misst und damit die Verdrängung (Volumen) ermittelt (Ablese im Formkurvenblatt, oder grafisch ermitteln im Linienriss). Die Schiffsmasse ergibt sich dann, wenn man die Verdrängung mit der Wasserdichte multipliziert. Bei einem Krängungsversuch wird, in ähnlicher Weise, die sog. Leerschiffsmasse berechnet.

Den Gewichtsschwerpunkt ermittelt man durch einen Krängungsversuch (Siehe Anlage A: Beschreibung des Krängungsversuchs), oder durch einen Rollzeitversuch (einfacher aber ungenauer, Schwerpunkt nur in Höhenrichtung  $v_{cg}$ ).

Die Geometrien der Tanks sind fast immer recht einfach gehalten, so dass die Volumina und Schwerpunkte meist leicht zu berechnen sind. Für die späteren Berechnungen werden die Schwerpunkte der Tanks bezogen auf das Schiff benötigt (z.B.  $l_{cb_{Tank1}}$  = Abstand des Tank1-Längenformschwerpunkts vor dem Hinteren Lot des Schiffes, und  $v_{cb_{Tank1}}$  = über Basis des Schiffes).

Eine Zeichnung des Schiffes, die Anordnung und Größe der verschiedenen Segel darstellt (inkl. Aufbauten), wird benötigt, um die krängenden Momente durch Winddruck zu finden.

<sup>1</sup> Bei der Intaktstabilität geht es um die hydrostatischen Werte des Fahrzeugs im intakten Zustand, d.h. Rumpf und Aufbauten sind unverletzt. Im Gegensatz dazu behandelt die Leckstabilität die Stabilität, Tiefertauchung etc. sowie die Überlebens-Chancen des Schiffes, im Leckfall. Letztere wird erst relevant, wenn das Schiff in wasserdichte Abteilungen unterteilt ist.

## 2. Ergebnisse

Die Informationen, die man durch die hydrostatischen Berechnungen zu erlangen sucht, sind vielfältig.

Zum Einen wird man im Sinne der Schiffsicherheit danach trachten, nachzuweisen, dass die jeweils geltenden Vorschriften erfüllt werden. In den Vorschriften (z.B. des Germanischen Lloyd) werden Mindestwerte für die Anfangsstabilität (GM), den Stabilitätsumfang (bis zu welchem Krängungswinkel ist der aufrichtende Hebelarm positiv), dynamische Krängung (durch Böen verursacht) und Mindesthebelarm gefordert. Darüber hinaus wird bewertet, wann Seite-Deck zu Wasser kommt und wann die eventuelle Weiterflutung einsetzt.

Zum Anderen lassen sich anhand der Stabilitätsunterlagen wichtige Informationen gewinnen, z.B. wie viel Ballast ausreicht, um die erforderliche Stabilität zu erreichen, oder auch, ab welchen Windgeschwindigkeiten spätestens die Segelfläche verkleinert werden muss. Auch eventuelle bauliche Schwachpunkte können bemerkt werden, ohne „Extremtests“ zu fahren. Z.B. kann sich ergeben, dass ab gewissen Bedingungen Steckbretter oder Seeschlagblenden zwingend benutzt werden müssen, um das Weiterflutungsrisiko zu minimieren.

Grundsätzlich kann man sagen, dass, mit etwas Übung, das stabilitätsbezogene Schiffsverhalten aus den Unterlagen vorhergesagt werden kann. Man wird die übelsten Zustände vermeiden können und ansonsten etwa wissen, was einen erwartet.

## 3. Erstellungsmöglichkeiten

Hier sollen zunächst die beiden Wege dargestellt werden, die man wählen kann, wenn ein regelrechtes Stabilitätshandbuch erstellt werden soll, um danach auf eine „abgespeckte Version“ einzugehen, die für Boote mit geringen Tiefgangsänderungen tauglich ist.

*Stabilitätshandbuch gemäß den Vorschriften:*

Voraussetzungen sind auch hier ein Linienriss, Tankplan und –Tabelle, Segelplan und ein ausgewerteter Krängungsversuch.

Ab hier teilt sich die Menschheit in jene, die ein Computerprogramm eigens für Stabilitätsberechnungen haben, und solche, die (obwohl ebenfalls mit Computerhilfe) den alten Weg gehen müssen, indem sie mit Kurven und Tabellen arbeiten.

Bei dieser herkömmlichen Art der Berechnungen wird zuerst zeitaufwendig ein Formkurvenblatt erstellt. Das FKB ist ein Diagramm, in dem diverse erforderliche Werte in Abhängigkeit vom Tiefgang des Schiffes (als Kurven) dargestellt werden. Durch diese relativ übersichtliche Darstellungsweise können später zahlreiche Werte einfach abgelesen werden.

Weiterhin werden die Pantokarenen ermittelt. Pantokarenen sind Kurven, die (indirekt) die aufrichtenden Hebelarme in Abhängigkeit von den Krängungswinkeln darstellen (statt in Abhängigkeit von den Tiefgängen, wie im FKB). Die Berechnung der P. ist sehr mühsam und, wie auch für die Erstellung des FKB, bietet sich hier die Verwendung von Rechenprogrammen (wie Excel) auf Computern an. Der vielen Arbeit wegen hat F.L.Middendorf vor mehr als 100 Jahren eine vereinfachte grafische Methode zur Pantokarenenbestimmung erfunden: die Planimetermethode.

Mit diesen Tabellen und Kurven geht man dann daran, die verschiedenen Ladefälle zu berechnen (das Schiffsgewicht wird ja durch Zuladung, Bunkern etc. verändert), und nachzuweisen, dass die jeweils geltenden Vorschriften eingehalten werden.

Wenn ein Stabilitätsprogramm benutzt werden kann, wird zunächst die Schiffsform in das Programm eingegeben (oder übernommen). Im Idealfall werden die Tanks mit ihren aktuellen Füllungen in dieses Virtuelle Schiffsmodell integriert, so dass die „Verschiebung“ der Flüssigkeiten in den Tanks

nicht einzeln berücksichtigt werden muss (wie sonst üblich). Die Werte, die man sonst aus Tabellen und Kurven übernehmen müsste werden für die spezifischen Ladefälle direkt berechnet, und anschließend die Einhaltung der vorgeschriebenen Werte nachgewiesen.

### „Abgespeckte Version“:

Einer der Gründe, warum die Erarbeitung eines Stabilitätshandbuchs so aufwändig ist, besteht darin, dass zunächst umfangreiche Unterlagen geschaffen werden müssen, die Berechnung jeden erdenklichen Schiffszustands ermöglichen, und dass dann, für mehrere Ladefälle (z.B. 10%, 50% und 100%), die Einhaltung der Vorschriften nachgewiesen werden muss.

Für Boote, deren Gewichts- und Trimmänderungen im Betrieb sehr gering sind (Tiefgangsänderungen  $< 4$  cm), stellt folgende Methode eine hinreichend präzise Näherung dar: Man führt einen Krängungsversuch durch und ermittelt grafisch die Verdrängung, die Volumenschwerpunkte und die aufrichtenden Hebelarme (nach Middendorf) für nur *einen* (mittleren) Zustand (Tiefgang, Trimm). So können die Einhaltung von Vorschriften überprüft, und andere Informationen gewonnen werden. Das sind zwar immer noch einige Tage Arbeit, aber doch bedeutend weniger, als bei der „Vollversion“. Falls jedoch, durch Umbauten, die Leerschiffsmasse oder die Zuladungsmöglichkeiten, irgendwann einmal, gravierend geändert werden, muss die ganze Arbeit für diesen neuen Zustand wiederholt werden. (In einem Stab.Handbuch müsste man, in dem Fall, lediglich ein paar Ladefälle neu rechnen).

### Nur Krängungsversuch:

Als direktes Ergebnis des Krängungsversuchs erhält man die Metazentrische Höhe GM (Anfangsstabilität = Steigung der Hebelarmkurve). Damit kann man die aufrichtenden Hebel für kleine Winkel ( $\varphi < 5^\circ$ ) berechnen. Die sicherheitsrelevanten Informationen (bis zu welcher Krängung richtet sich das Schiff wieder auf, wann kommen Seite-Deck und Öffnungen zu Wasser, Reffzeitpunkte, etc.) bekommt man nur, wenn die aufrichtenden Hebelarme für große Winkel (Hebelarmkurve) bekannt sind, d.h. die Pantokarenen bestimmt wurden.

Das Erarbeiten von Stabilitätsunterlagen in Eigenleistung durch Skipper oder Eigner ist durchaus denkbar (solange Standard-Kenntnisse in Mathematik vorhanden sind und Zeit eine untergeordnete Rolle spielt). Bei den Pantokarenen (aufrichtende Hebelarme) wird es allerdings recht kompliziert, und bei Verwendung der Planimetermethode, reichen Taschenrechner und Lineal als Hilfsmittel bei weitem nicht mehr aus.

---