



DIPLOMARBEIT

MASTER THESIS

Schwimmende Anlagen zur Lagerung gefährlicher Stoffe mit einer Einführung in die Hydrostatik von schwimmenden Anlagen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Betreuung von

Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Norbert Krouzecky

E222 Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie
Forschungsbereich Wasserbau

und der Mitbetreuung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Andreas Kolbitsch

E206 Institut für Hochbau und Technologie
Forschungsbereich für Hochbaukonstruktionen und Bauwerkserhaltung

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Ing. Anton Maria Kolar, BSc

0625437

Stumpergasse 43/2/11
1060 Wien

Wien, im Juni 2016

Anton Kolar



Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

D I P L O M A R B E I T

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters an Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur genannt habe.

Wien, im Juni 2016

Anton Kolar

Diese Diplomarbeit wurde mit größter Sorgfalt erstellt. Dennoch wird keinerlei Haftung für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für eventuelle Druckfehler übernommen. Aus etwaigen daraus resultierenden Folgen können daher keinerlei Ansprüche gegenüber dem Verfasser geltend gemacht werden.

Danksagung

Auf diesem Wege möchte ich mich allen voran bei Herrn Prof. Norbert Krouzecky für die Unterstützung im Bereich der Hydrostatik von schwimmenden Anlagen im Rahmen der Erstellung dieser Diplomarbeit herzlich bedanken.

Außerdem möchte ich mich bei Herrn Prof. Andreas Kolbitsch bedanken, der mich im Rahmen der Erstellung dieser Diplomarbeit im Rechtsbereich begleitet und unterstützt hat.

Weiters bin ich Herrn DI Andreas Loy von der Wiener Magistratsabteilung 45 – „Wiener Gewässer“ für das Wecken meines Interesses für den Bereich der Schifffahrt und schwimmenden Anlagen sowie für die Bereitstellung diverser Unterlagen, die als Basis für die Erstellung der Diplomarbeit dienten, zu Dank verpflichtet.

Kurzfassung

Die Diplomarbeit „Schwimmende Anlagen zur Lagerung gefährlicher Stoffe mit einer Einführung in die Hydrostatik von schwimmenden Anlagen“ behandelt neben der Hydrostatik schwimmender Anlagen auch die rechtlichen Aspekte von schwimmenden Anlagen zur Lagerung gefährlicher Stoffe.

Anhand des Archimedischen Prinzips sowie der Momentenbilanz und Gleichgewichtsbedingungen lässt sich eine Stabilitätsbetrachtung für Schiffe aber auch sinngemäß für schwimmende Anlagen durchführen. Dabei empfiehlt es sich, zwischen kleinen Neigungswinkeln kleiner gleich 5 Grad und größeren Neigungswinkeln größer 5 Grad zu differenzieren. Die Berechnungen in Zusammenhang mit Winkeln kleiner gleich 5 Grad können unter vereinfachten Annahmen erfolgen. Eine Stabilitätsbetrachtung mit Krängungswinkeln größer 5 Grad sollte hingegen nach einer exakten Berechnungsmethode erfolgen, da hierbei die aus einer etwaigen Vereinfachung resultierenden Abweichungen nicht mehr als vernachlässigbar einzustufen wären. Im Rahmen einer Stabilitätsbetrachtung ist das sogenannte aufrichtende Moment eines Schiffes von zentraler Bedeutung, wobei in der Praxis in der Regel mit aufrichtenden Hebeln gearbeitet wird. Dabei werden die jeweiligen aufrichtenden Hebel über den zugehörigen Krängungswinkeln als sogenannte Hebelarmkurve grafisch dargestellt. In die Überlegungen im Rahmen einer Stabilitätsbetrachtung werden auch stabilitätsgefährdende Faktoren miteinbezogen, wie beispielsweise Belastungen durch Wind und Eis, übergehende Ladung oder hängende Lasten.

Die Errichtung, der laufende Betrieb sowie die Wartung schwimmender Anlagen sind in Österreich vor allem im Schifffahrtsgesetz sowie in der Schifffahrtsanlagenverordnung reglementiert. In Zusammenhang mit der Lagerung gefährlicher Güter auf schwimmenden Anlagen sind vor allem die ADN-Verordnung sowie das österreichische Gefahrgutbeförderungsgesetz maßgeblich.

Abstract

This Master Thesis “Floating Constructions for the Storage of Dangerous Goods with an Introduction to the Hydrostatics of Floating Constructions“ consists of two major parts. The first part basically deals with the hydrostatics of floating constructions. By making use of the Archimed’s Law as well as the equilibrium of the moment due to the gravitational force and the upsetting moment, it is possible to calculate and identify a ship’s respectively a floating construction’s stability in general.

It should be taken into consideration that it will be necessary to differentiate between heeling angles less or equal than 5 degrees and angles higher than 5 degrees. When calculating with angles amounting less or equal than 5 degrees it is possible to use simplifications. However, with heeling angles higher than 5 degrees one should always use an exact method to identify the ship’s stability. When it comes to a stability analysis, the so-called upsetting respectively righting moment and heeling moment play an essential role. In practice, it is more common to calculate a ship’s stability by using heeling levers and upsetting respectively righting levers. The ship’s stability can be visualized by using the so-called righting and heeling arm curve.

When calculating a ship’s stability one always has to take into consideration that factors such as transverse shift of loads, crowding of people, partially filled tanks, wind and ice can trigger off heeling moments.

The second major part of this Master Thesis provides the reader with a comprehensive overview on the legal facts in connection with the construction, the usage as well as the maintenance of floating constructions.

The Austrian legislator regulates the major legal matters concerning floating constructions in the so-called Austrian “Schiffahrtsgesetz” as well as in the Austrian “Schiffahrtsanlagenverordnung”. When it comes to storage of dangerous, liquid and flammable goods, the “Council-Directive laying down technical requirements for inland waterway vessels and repealing Council Directive 82/714/EEC” and the Austrian “Gefahrgutbeförderungsgesetz” are applicable.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
2	Abkürzungsverzeichnis.....	6
3	Hydrostatik von schwimmenden Anlagen.....	8
3.1	Allgemeines, Einführung grundlegender Begriffe	8
3.2	Das archimedische Prinzip	10
3.3	Momentenbilanz und Gleichgewichtsbedingungen	11
3.3.1	Koordinatensystem am Schiff	11
3.3.2	Momentenbilanz – Schwerpunktkoordinaten.....	12
3.3.3	Momentenbilanz – Gleichgewichtsbedingungen.....	13
3.4	Die Anfangsstabilität und das Anfangsmetazentrum	14
3.5	Das aufrichtende Moment bei kleinen Neigungswinkeln $\varphi \leq 5^\circ$	16
3.5.1	Berechnung von M_A durch das ein- und austauchende Volumen.....	17
3.5.2	Berechnung mit Hilfe der Werftunterlagen.....	23
3.5.3	Der aufrichtende Hebel bei kleinen Neigungswinkeln.....	26
3.5.4	Berechnung des Abstandes Kiel-Metazentrum (KM)	27
3.5.5	Berechnung des Krängungswinkels bei kleinen Neigungen – Betriebs- und Werftkrängungsversuch.....	30
3.6	Das aufrichtende Moment bei großen Neigungswinkeln $\varphi > 5^\circ$	33
3.6.1	Wall Sided Formula	33
3.6.2	Das „wahre“ Metazentrum $M(\varphi)$	33
3.6.3	Das „scheinbare“ Metazentrum $N(\varphi)$	34
3.6.4	Berechnung der aufrichtenden Hebel	35
3.6.5	Darstellung der Funktion $GZ(\varphi)$ als Hebelarmkurve	35
3.6.6	Interpretation der Hebelarmkurve	37
3.7	Stabilitätsbelastungen	40
3.7.1	Belastung durch Wind – Winddruckhebel.....	40
3.7.2	Belastung durch Eisbildung	43
3.7.3	Übergehende Ladung.....	44
3.7.4	Freie Oberflächen.....	50
3.7.5	Hängende Lasten	51
3.7.6	Fahrgast – Hebel	56
3.7.7	Trossenzug – Hebel	58
4	Rechtliche Grundlagen für die Errichtung schwimmender Anlagen.....	61
5	Schiffahrtsgesetz – SchFG.....	64
5.1	§ 1 SchFG – Geltungsbereich	64
5.1.1	§ 2 WRG – Öffentliche Gewässer.....	64

5.2	§ 2 SchFG – Begriffsbestimmungen.....	65
5.3	§ 45 SchFG – Geltungsbereich	66
5.4	§ 46 SchFG – Schifffahrtsanlagen.....	66
5.5	§ 47 SchFG – Bewilligungspflicht	67
5.6	§ 48 SchFG – Antrag.....	68
5.7	§ 49 SchFG – Erteilung der Bewilligung	69
5.8	§ 50 SchFG – Geltungsdauer der Bewilligung.....	69
5.9	§ 51 SchFG – Fristen für Baubeginn und Bauvollendung; Anzeige.....	70
5.10	§ 52 SchFG – Benützungsbewilligung, Überprüfung von Schifffahrtsanlagen 70	
5.11	§ 53 SchFG – Durchführung der Überprüfung.....	71
5.12	§ 57 SchFG – Beschränkungen für die Errichtung bestimmter Schifffahrtsanlagen	71
5.13	§ 58 SchFG – Ausgestaltung, Betrieb, Benützung und Erhaltung von Schifffahrtsanlagen	72
5.14	§ 71 SchFG – Behörden und ihre Zuständigkeit.....	73
5.15	§ 72 SchFG – Strafbestimmungen	73
6	Schifffahrtsanlagenverordnung.....	75
6.1	§ 2 SchAVO – Begriffsbestimmungen	75
6.2	§ 14 SchAVO – Schwimmende Schifffahrtsanlagen.....	76
6.3	§ 15 SchAVO – Schwimmende Anlagen zur Lagerung gefährlicher Stoffe .	80
6.3.1	Richtlinie 2012/18/EU zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen, zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinie 96/82/EG.....	81
6.4	§ 16 SchAVO – Schwimmende Anlagen zur Lagerung entzündbarer flüssiger gefährlicher Güter	88
7	ÖNORM EN 14504.....	97
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	100
9	Anhang – Beispiele zur Hydrostatik.....	101
9.1	Momentenbilanz – Schwerpunktkoordinaten.....	101
9.2	Momentenbilanz – Veränderung des Beladungszustandes.....	102
9.3	Tiefertauchung	103
9.4	Verringerung des Tiefganges	104
9.5	Krängungsversuch.....	105
9.5.1	Der Krängungswinkel φ	105
9.5.2	Die metazentrische Höhe	106
9.5.3	Das aufrichtende Moment.....	106
9.5.4	Der aufrichtende Hebel.....	106
9.5.5	Das Breitenträgheitsmoment der Wasserlinienfläche	106

9.5.6	Die Strecke von B_0 nach M_φ	106
9.6	Stabilität einer Arbeits- und Bohrplattform	106
9.6.1	Ad 1: Tiefgang der Arbeitsplattform	107
9.6.2	Ad 2: erforderlicher theoretischer Rohrdurchmesser für den Tiefgang nach Punkt 1	107
9.6.3	Ad 3: theoretischer Mindestrohrdurchmesser für eine stabile Schwimmelage	108
9.6.4	Ad 4: Tiefgang bei dem Mindestrohrdurchmesser nach Punkt 3	109
9.7	Schwimmende Arbeitsinsel	109
9.7.1	Tragfähigkeit der Plattform	110
9.7.2	Tiefgang bei vorgegebener Belastung	111
9.8	Unsymmetrische Arbeitsplattform	111
9.8.1	Größe und Lage der Auflast F_{G0}	113
9.8.2	Nachweis der Schwimmstabilität	114
10	Quellenverzeichnis	117
10.1	Literaturverzeichnis	117
10.2	Abbildungsverzeichnis	120
10.3	Tabellenverzeichnis	121

1 Einleitung

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit den grundlegenden hydrostatischen Aspekten von schwimmenden Anlagen und Schiffen. Des Weiteren werden die wesentlichen Gesetzesstellen des Schifffahrtsgesetzes und der Schifffahrtsanlagenverordnung bezüglich schwimmender Anlagen behandelt.

Die Bearbeitung spezieller Themengebiete sowie die Auswahl der Rechenbeispiele zur Hydrostatik von schwimmenden Anlagen erfolgte in Abstimmung mit der MA 45 – „Wiener Gewässer.“

In Wien bzw. in Österreich gibt es verhältnismäßig wenig technische Richtlinien und Normen für den Bau und Betrieb von schwimmenden Anlagen. Eine Zusammenfassung der wichtigsten rechtlichen und auch technischen Grundlagen in Verbindung mit dem Bauen am und im Wasser gibt es laut DI Loy bis dato nicht. Seitens der MA 45 wird derzeit der Versuch unternommen eben diese rechtlichen und technischen Grundlagen im Zuge von drei Diplomarbeiten kompakt zusammenzufassen. Diese Diplomarbeit bildet einen Teil davon.

Im ersten großen Abschnitt dieser Diplomarbeit wird die Hydrostatik von schwimmenden Anlagen genauer behandelt. Es erfolgt eine erste Begriffsbestimmung, um dem Leser, dem diese Materie eventuell noch fremd sein sollte, einen einfachen Einstieg in die Thematik zu ermöglichen. Der Bogen wird vom Archimedischen Prinzip über die Gleichgewichtsbedingungen bis hin zu den Stabilitätsbetrachtungen von Schwimmkörpern gespannt.

Zunächst werden die Berechnungen für kleine Schiffsneigungswinkel von unter 5 Grad Querneigung hergeleitet. In weiterer Folge werden Formeln und Gleichungen auch für Neigungswinkel größer 5 Grad erarbeitet und die Unterschiede zu den Berechnungen für die kleinen Neigungswinkel aufgezeigt.

Am Ende des Kapitels „Hydrostatik von schwimmenden Anlagen“ werden verschiedene Stabilitätsbelastungen wie z.B. Wind, Eis, übergehende Ladung oder hängende Lasten näher behandelt.

Das nächste Kapitel befasst sich mit den rechtlichen Grundlagen für die Errichtung von schwimmenden Anlagen. Es wird ein grundlegender Überblick über die verschiedenen relevanten Gesetze, Verordnungen und Normen gegeben. Des Weiteren wird auf das Schifffahrtsgesetz (SchFG) eingegangen. Dieses regelt u.a. die Abgrenzung einer schwimmenden Anlage zu sonstigen schifffahrtstechnischen Einrichtungen. Außerdem legt das Schifffahrtsgesetz die Vorschriften bezüglich Bewilligung und Betrieb von schwimmenden Anlagen fest.

Der zweite große Abschnitt befasst sich mit den §§ 14, 15 und 16 der Schifffahrtsanlagenverordnung (SchAVO). § 14 SchAVO regelt grundsätzliche Belange in Verbindung mit schwimmenden Anlagen. In § 15 SchAVO wird auf schwimmende Anlagen zur Lagerung gefährlicher Stoffe näher eingegangen. Bestimmungen für schwim-

mende Anlagen zur Lagerung entzündbarer flüssiger gefährlicher Güter werden in § 16 SchAVO geregelt.

Im Anschluss daran wird noch auf die ÖNORM EN 14504 „Fahrzeuge der Binnenschifffahrt — schwimmende Anlegestellen und schwimmende Anlagen auf Binnengewässern — Anforderungen, Prüfungen“ kurz eingegangen.

Abgerundet wird die Diplomarbeit durch einige ausgewählte Rechenbeispiele zum Thema „Hydrostatik von schwimmenden Anlagen“.

Die Rechenbeispiele sind teils der angeführten Literatur entnommen, teils selbst zusammengestellt. Sie sollen der besseren Veranschaulichung der Thematik dienen.

2 Abkürzungsverzeichnis

ABl.	Amtsblatt
Abs.	Absatz
AP	after perpendiculum
ASchG	ArbeitnehmerInnenschutzgesetz
B	Auftriebsschwerpunkt, Volumenschwerpunkt, centre of buoyancy
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BL	base line
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
Depl	Displacement einer schwimmenden Anlage [kg] bzw. [t]
F_B	Auftriebskraft [kN]
F_G	Gewichtskraft [kN]
FP	fore perpendiculum
g	Erdbeschleunigung $\left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)$
G	Gewichtsschwerpunkt
GGBG	Gefahrgutbeförderungsgesetz
ggf.	gegebenenfalls
GM	Metazentrische Höhe[m]
GZ	aufrichtende Hebel [m]
idF	in der Fassung
idgF	in der geltenden Fassung
idR	in der Regel
iHv	in Höhe von
iSd	im Sinne des/der
I_T	Breitenträgheitsmoment der Wasserfläche [m ⁴]
iVm	in Verbindung mit
iZm	in Zusammenhang mit
K	Kiel
KB	Abstand Kiel-Auftriebsschwerpunkt [m]

KG	Abstand Kiel-Gewichtsschwerpunkt [m]
KM	Abstand Kiel-Metazentrum [m]
LCB	longitudinal centre of buoyancy [m]
LCF	longitudinal centre of flotation [m]
LCG	longitudinal centre of gravity [m]
lit.	Litera
M	Metazentrum
M_A	aufrichtende Moment
o.g.	oben genannt
RL	Richtlinie
Roh ρ	Dichte eines Mediums $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ bzw. $\left[\frac{t}{m^3}\right]$
SchAVO	Schiffahrtsanlagenverordnung
SchFG	Schiffahrtsgesetz
StF	Stammfassung
T	Tiefgang [dm] bzw. [ft]
TCB	transvers centre of buoyancy [m]
TCG	transvers centre of gravity [m]
u. dgl.	und dergleichen
u. a.	unter anderem
V_A	austauchendes Keilvolumen [m ³]
VCB	vertival centre of buoyancy [m]
VCG	vertival centre of gravity [m]
V_E	eintauchendes Keilvolumen [m ³]
vgl.	vergleiche
WL	Wasserlinie
WRG	Wasserrechtsgesetz
Z	Ziffer

3 Hydrostatik von schwimmenden Anlagen

3.1 Allgemeines, Einführung grundlegender Begriffe

Die dem Kapitel „Hydrostatik von schwimmenden Anlagen“ zugrundeliegende Fachliteratur bezieht sich in der Regel auf die Hydrostatik und Hydrodynamik von Schiffen. Sämtliche Ansätze und Berechnungen können jedoch ebenso sinngemäß auf schwimmende Anlagen wie Pontons, schwimmende Stege oder Anlegestellen und dergleichen angewendet werden.

Schwimmende Anlagen stellen einen wesentlichen Bestandteil der für den Schiffsverkehr notwendigen Infrastruktur dar.¹

An einer schwimmenden Anlage wirken unter anderem folgende Kräfte:²

- Auftriebskräfte: diese sind vom Volumen des Unterwasserschiffes abhängig
- Massenkräfte: aus den Nutzlasten und Verkehrslasten der schwimmenden Anlage resultierend, wie beispielsweise die Masse des leeren Schiffes, der Zuladung, von Aufbauten, von Tanks oder Containern und von gelagerten Treibstoffen oder Ölen
- Winddruckkräfte: Normen und Richtlinien legen den für die Berechnung zu Grunde liegenden Winddruck fest.
- Sonstige Kräfte: diese sind oftmals nicht genau bekannt und werden aufgrund von Erfahrungswerten plausibel abgeschätzt; darunter fallen zum Beispiel eine etwaige Eisbildung an Deck, Treibgut, Verklausungen, Ankerkräfte, Kräfte zufolge Trossenzug, Kräfte zufolge verrutschter Ladung etc.

Die Dichte des Wassers wird mit Rho (ρ) bezeichnet:

- $\rho \approx 1,000 \text{ t/m}^3$ bei Süßwasser³
- $\rho \approx 1,025 \text{ t/m}^3$ bei Meerwasser⁴

Der Begriff Freibord bezeichnet den Abstand zwischen der Wasserlinie und der Oberkante des Auftriebskörpers.⁵

Unter dem Tiefgang eines Schiffes wird der Bereich des Schiffskörpers unter Wasser verstanden.⁶

Die Verdrängung eines Schwimmkörpers ist das Volumen des sich unter der Wasseroberfläche befindlichen Schiffsteils in Kubikmetern. Als Symbol für die Verdrängung hat sich ∇ eingebürgert.⁷

¹ [39] Muzak: Österreichisches, Europäisches und Internationales Binnenschiffahrtsrecht, Seite 429

² [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 9

³ [7] Krapfenbauer: Bautabellen, Seite 161ff

⁴ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 9

⁵ [6] ÖNORM EN 14504 Ausgabe: 2015-05-01 „ENTWURF“, Seite 7

⁶ [12] Brockhaus, Naturwissenschaften und Technik, Band 5, Seite 128

⁷ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 9

Zur besseren Veranschaulichung sind die o.g. Begriffe Freibord, Tiefgang und Verdrängung in Abbildung 3.1 grafisch dargestellt.

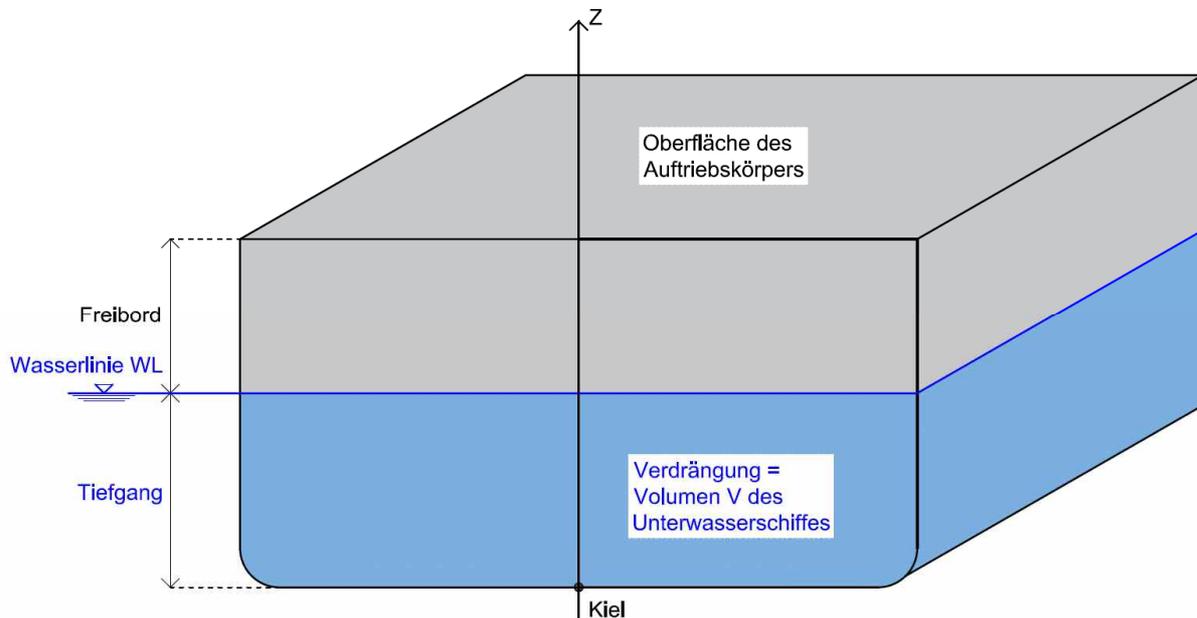


Abbildung 3.1: Schiffsquerschnitt – Tiefgang / Freibord / Verdrängung⁸

Displacement (Depl) wird die Masse einer schwimmenden Anlage genannt.⁹

Die Erdbeschleunigung wird mit g bezeichnet und es kann nach *Balke* in Erdoberflächennähe mit $g \approx 9,81m/s^2$ gerechnet werden.¹⁰

Die Gewichtskraft der schwimmenden Anlage wird mit F_G bezeichnet. F_G ist das Produkt von Displacement und Erdbeschleunigung und greift am Gewichtsschwerpunkt G an.

$$F_G = \text{Depl} * g^{11} \quad (3-1)$$

Krägen wird das Drehen des Schiffes um die Längsachse genannt.

Trimmen bezeichnet das Drehen des Schiffes um die Querachse.¹²

Die Stabilität eines Schwimmkörpers bezeichnet seine Eigenschaft in aufrechter Lage zu schwimmen und einer Krängung aufrichtende Momente entgegenzusetzen. Die Stabilität hängt einerseits von der baulichen Form und den Hauptabmessungen des Schiffes ab. Andererseits hat auch die betrieblich bedingte Massenverteilung im Schiff (Ladung, Vorräte, Ballast) massiven Einfluss auf die Stabilität. Um die Stabilität beurteilen und vergleichen zu können, werden sogenannte Stabilitätskennwerte herangezogen.¹³

⁸ [30] Kolar

⁹ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 10

¹⁰ [45] Balke: Einführung in die Technische Mechanik – Festigkeitslehre, Seite 24

¹¹ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 10

¹² [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 62

¹³ [31] Müller/Krauß: Handbuch für die Schiffsführung – Band 3, Seite 2

- die metazentrische Anfangshöhe \overline{GM} (siehe Kapitel 3.4) und
- die Hebelarme der statischen Stabilität (siehe Kapitel 3.5.3 sowie 3.6.4)

In der folgenden Tabelle sind Beispiele für metazentrische Höhen von verschiedenen Schiffstypen angegeben:

Schiffsart	metazentrische Höhe
Frachtschiffe	0,60 bis 0,90 m
Passagierschiffe	0,45 bis 0,60 m
Segelschiffe	0,90 bis 1,50 m
Kriegsschiffe	0,75 bis 1,30 m

Tabelle 3.1: Metazentrische Höhen verschiedener Schiffstypen¹⁴

Betrachtet man die Stabilität eines Schwimmkörpers bei Krängungen spricht man richtigerweise von der Querstabilität; bei Vertrimmungen hingegen von der Längsstabilität.¹⁵

Die Festigkeit bezeichnet das Widerstandsvermögen des Schiffskörpers gegenüber Biegung, Torsion, Scherung oder punktuellen Belastungen.¹⁶

3.2 Das archimedische Prinzip

Vor über 2000 Jahren formulierte der griechische Gelehrte Archimedes das sogenannte „archimedische Prinzip“:

„Ein Körper schwimmt im Gleichgewicht, wenn sein Eigengewicht genauso groß ist wie das Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeit.“¹⁷

Diese Gewichtskraft beziehungsweise Auftriebskraft F_B ist das Produkt aus der Dichte des Mediums, der Erdbeschleunigung und der Verdrängung.

$$F_B = \rho * g * \nabla^{18} \quad (3-2)$$

Der Auftrieb (engl.: buoyancy) ist ein Kraft-Vektor, der am Auftriebsmittelpunkt B (engl.: centre of buoyancy) angreift und stets senkrecht zur Wasserlinienfläche gerichtet ist (siehe Abbildung 3.2. auf Seite 11). In der Literatur wird der Auftriebsmittelpunkt auch oft Volumenschwerpunkt, Auftriebsschwerpunkt oder Formschwerpunkt genannt.¹⁹

¹⁴ [20] Aigner, Bollrich: Handbuch der Hydraulik, Seite 104

¹⁵ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 62

¹⁶ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 63

¹⁷ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 10

¹⁸ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 10

¹⁹ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 66

3.3 Momentenbilanz und Gleichgewichtsbedingungen

Für einen frei schwimmenden Körper in der Gleichgewichtslage gilt daher:

$$F_G = F_B^{20} \quad (3-3)$$

Durch Einsetzen der Gleichungen (3-1) und (3-2) in Gleichung (3-3) folgt unmittelbar:

$$Depl * g = \rho * g * \nabla \quad (3-4)$$

Wie in Gleichung (3-4) ersichtlich ist, kürzt sich die Erdbeschleunigung g aus der Kräfte- und Momentenbilanz heraus.

Das Displacement eines Schiffes ist daher das Produkt aus der Verdrängung und der Dichte des Mediums. Deshalb kann man bei bekanntem Unterwasservolumen eines Schiffes das Eigengewicht sehr genau berechnen.

$$Depl = \rho * \nabla^{21} \quad (3-5)$$



Abbildung 3.2: Schiffsquerschnitt, Gewichtsschwerpunkt / Auftriebsschwerpunkt²²

Für die weiteren Berechnungen ist es notwendig ein globales, schiffsbezogenes Koordinatensystem einzuführen (siehe Abbildung 3.3).

3.3.1 Koordinatensystem am Schiff

Die Längskoordinate - mit x abgekürzt – wird entweder auf das achtere Lot eines Schiffes oder wie in Abbildung 3.3 auf einen Punkt auf halber Schiffslänge bezogen. Unter dem Begriff achteres Lot (engl.: AP after perpendiculum) versteht man das Lot

²⁰ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 10

²¹ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 78

²² [30] Kolar

auf den hintersten Punkt eines Schiffes in Mittschiffsebene. Die x-Koordinate des Gewichtsschwerpunktes (engl.: centre of gravity) wird üblicherweise mit x_G oder mit lcg (longitudinal centre of gravity) bezeichnet.²³

Die Querkoordinate y wird einheitlich auf die Mittelebene des Schiffes bezogen. Die y-Koordinate des Schwerpunktes wird mit y_G oder mit tcg (transverse centre of gravity) abgekürzt.²⁴

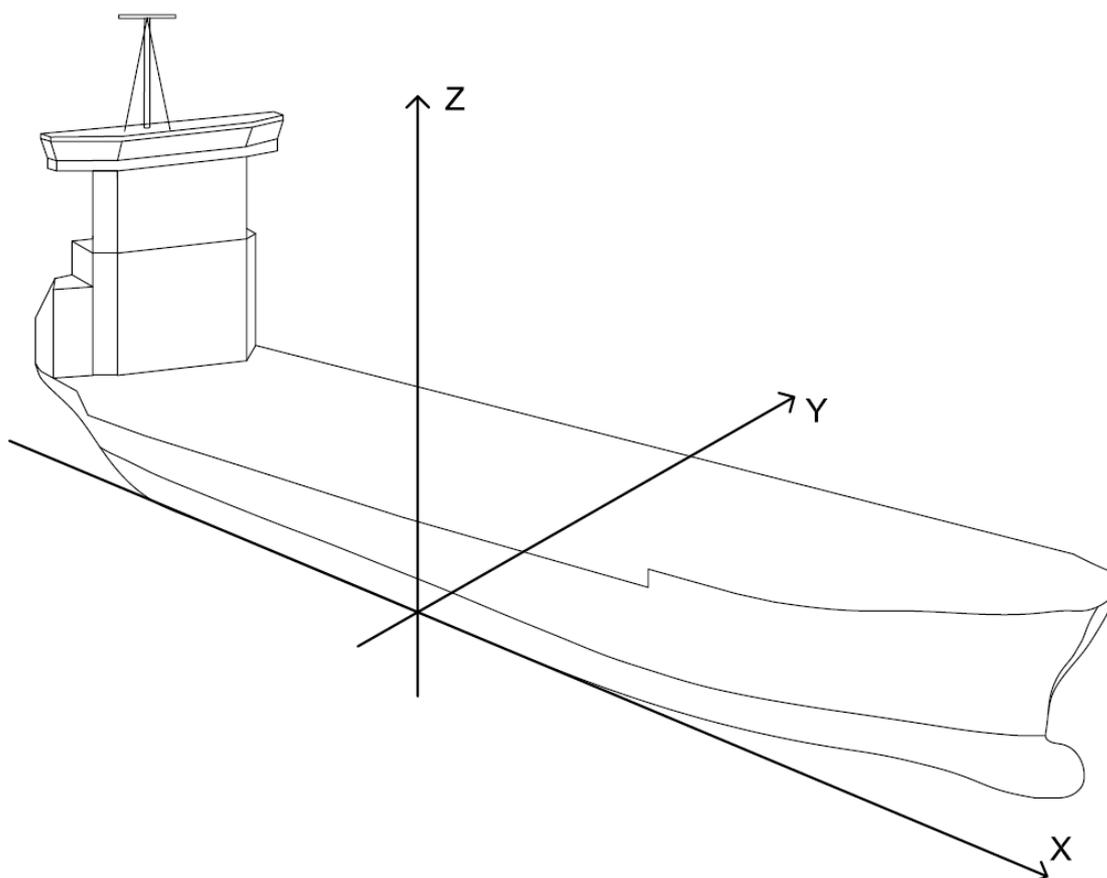


Abbildung 3.3: Festlegung eines schiffsbezogenen Koordinatensystems²⁵

Die vertikale Koordinate z bezieht sich in den meisten Fällen auf die „base line“ (BL) beziehungsweise auf die Unterkante des Kiels (K).

Die Höhe des Gewichtsschwerpunktes G über K wird analog zu den x - und y -Koordinaten mit z_G abgekürzt. Andere gebräuchliche Bezeichnungen sind v_{cg} (engl.: vertical centre of gravity) oder \overline{KG} – Höhe von G über K .²⁶

3.3.2 Momentenbilanz – Schwerpunktkoordinaten

Das Displacement einer schwimmenden Anlage ergibt sich aus der Summe der Einzelmassen m_i (siehe Kapitel 3.1 auf Seite 8).

²³ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 69

²⁴ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 70

²⁵ [30] Kolar

²⁶ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 70

$$Depl = \sum_{i=1}^n m_i \quad (3-6)$$

Die Koordinaten des Gesamtschwerpunktes (x_G, y_G, z_G) ergeben sich nach [1] durch die Momentenbilanz:

$$x_G = lcg = \frac{\sum_{i=1}^n m_i * x_i}{Depl} \quad (3-7)$$

$$y_G = tcg = \frac{\sum_{i=1}^n m_i * y_i}{Depl} \quad (3-8)$$

$$z_G = vcg = \overline{KG} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i * z_i}{Depl} \quad (3-9)$$

Die Werte x_i, y_i, z_i sind die jeweiligen Abstände der Einzelmassen m_i zum Ursprung 0 des schiffsfesten Koordinatensystems.

3.3.3 Momentenbilanz – Gleichgewichtsbedingungen

Für die Berechnungen in der Hydrostatik wird ein statischer, zeitlich nicht veränderlicher Zustand vorausgesetzt: glattes Wasser, keine Massenträgheit, Gleichgewichtszustand und Schwimmkörper ohne Fahrt.²⁸

Die allgemeinen Gleichgewichtsbedingungen für ein dreidimensionales System lauten:

$$\sum_{i=x,y,z} F_i = 0 \quad \sum_{i=x,y,z} M_i = 0 \quad (3-10)$$

In dem Spezialfall der Hydrostatik treten nur Kräfte in z-Richtung auf. Daher lassen sich die Gleichgewichtsbedingungen nach [1] wie folgt reduzieren:

$$\text{Tiefgang} : \sum F_z = 0 \quad \text{Krängung} : \sum M_x = 0 \quad \text{Trimm} : \sum M_y = 0 \quad (3-11)$$

²⁷ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 12

²⁸ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 12

²⁹ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 12

³⁰ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 12

3.4 Die Anfangsstabilität und das Anfangsmetazentrum

Aufgrund der Krängung ändert sich die Form des Volumens des Unterwasserschiffes. Es erfolgt eine Verschiebung eines Keilvolumens von der austauchenden Seite zur eintauchenden Seite. Der Auftriebsschwerpunkt B_0 wandert nach B_φ aus. Die neue Wirkungslinie der Auftriebskraft geht durch den Punkt B_φ normal auf die Wasserlinie und schneidet die bisherige Wirkungslinie der Auftriebskraft B_0 im Punkt $M(\varphi)$, dem sogenannten Metazentrum (siehe Abbildung 3.4).

Der Begriff Metazentrum leitet sich vom griechischen Wort "meta" (= scheinbar) ab und deutet darauf hin, dass dieser Schnittpunkt nicht festliegt. Die Bahn, auf der sich das Metazentrum bewegt, heißt Evolvente. Bei Schiffsformen ist das Metazentrum für kleine Krängungswinkel bis etwa 10° ein fester Punkt.³¹

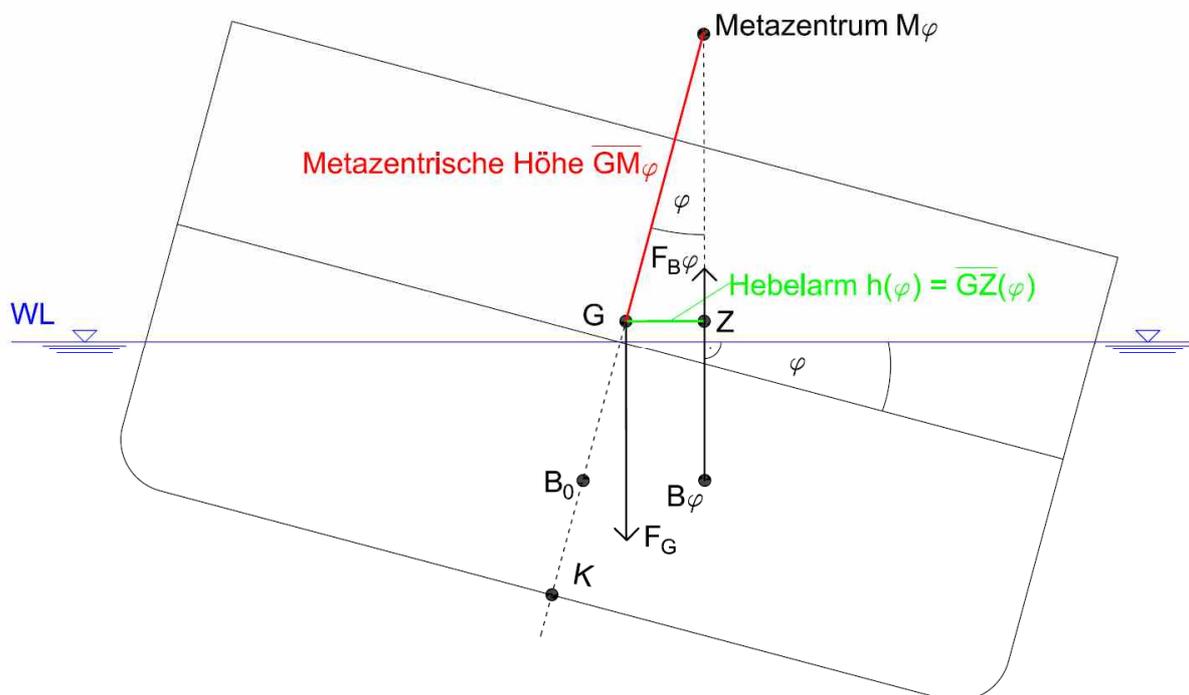


Abbildung 3.4: Schiffsquerschnitt, Metazentrum B_0 / B_φ ³²

Anschaulich lässt sich der Begriff des Metazentrums wie folgt erklären: Betrachtet man den Schiffsquerschnitt als hängendes Pendel, so ist das Metazentrum der Aufhängepunkt.³³

Das sogenannte Anfangsmetazentrum $M_0 = M_{\varphi=0^\circ}$ ist der Schnittpunkt der Auftriebslinien bei sehr kleinen Krängungswinkeln. Da die Auftriebsebene bei dem Krängungswinkel $\varphi = 0^\circ$ in der Mittschiffsebene liegt, liegt auch M in der Mittschiffsebene.³⁴

³¹ [3] Krüger: Hydrostatik von Schiffen, Seite 33

³² [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 87

³³ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 13

³⁴ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 103

Die Strecke \overline{GM} wird als Anfangsstabilität oder metazentrische Höhe bezeichnet und stellt ein Maß dafür dar, welche Stabilität in der Anfangsschwimmlage mit dem Krängungswinkel $\varphi = 0^\circ$ vorliegt.

Wie aus Abbildung 3.4 ersichtlich ist, sind die Wirkungslinien der Gewichtskraft F_G und der Auftriebskraft $F_{B\varphi}$ bei gekrängtem Schwimmkörper und horizontalem Wasserspiegel um den Hebelarm $h(\varphi)$ versetzt. Dieser aufrichtende Hebel wird auch als die Strecke $\overline{GZ}(\varphi)$ bezeichnet.

Bei Neigungswinkeln von $\varphi \leq 5^\circ$ gilt folgende geometrische Beziehung:

$$\overline{GZ}(\varphi) = h(\varphi) = \overline{GM}(\varphi) * \sin(\varphi) \quad ^{35} \quad (3-12)$$

Die Größe des aufrichtenden Momentes errechnet sich durch Multiplikation der Auftriebskraft $F_{B\varphi}$ mit dem Hebelarm $h(\varphi)$:

$$M_A(\varphi) = F_{B\varphi} * h(\varphi) \quad ^{36} \quad (3-13)$$

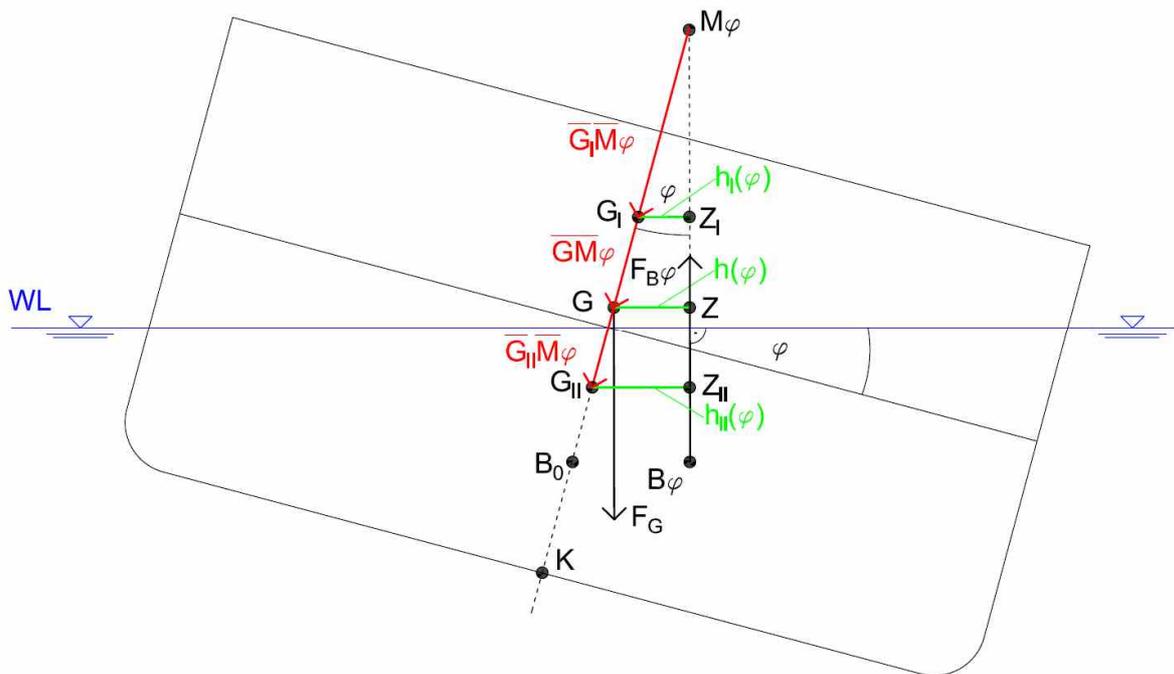


Abbildung 3.5: Metazentrische Höhe und aufrichtender Hebel bei unterschiedlichen Schwerpunkthöhen

Die (Höhen-)lage des Schwerpunktes G hat wesentlichen Einfluss auf den Hebelarm \overline{GZ}_φ und auf die Größe des aufrichtenden Hebels $h(\varphi)$.

Je niedriger der Schwerpunkt des Schwimmkörpers liegt, desto größer wird der aufrichtende Hebel \overline{GZ}_φ (siehe Abbildung 3.5).

Je kleiner die metazentrische Höhe \overline{GM}_φ ist, desto kleiner wird auch der Hebel \overline{GZ}_φ .

³⁵ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 86

³⁶ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 13

Über den Wert der Strecke \overline{GM}_φ beziehungsweise durch das aufrichtende Moment kann die Art der Gleichgewichtslage bestimmt werden:

Lage von M =>	Abstand von G zu M =>	M_A =>	Gleichgewichtslage
M liegt über G	$GM > 0$	$M_A > 0$	STABIL
M liegt unter G	$GM < 0$	$M_A < 0$	LABIL
M liegt in G	$GM = 0$	$M_A = 0$	INDIFFERENT

Tabelle 3.2: Gleichgewichtslagen von Schwimmkörpern³⁷

Für die Herleitung der Strecke \overline{GM}_φ wird vorab die Strecke $\overline{B_0M}_\varphi$ berechnet (siehe Kapitel 3.5.4).

3.5 Das aufrichtende Moment bei kleinen Neigungswinkeln $\varphi \leq 5^\circ$

Bei kleinen Neigungswinkeln von $\varphi \leq 5^\circ$ kann nach [1] aufgrund von geometrischen Beziehungen folgende Vereinfachung getroffen werden:

$$\varphi^{\text{rad}} = \tan(\varphi) = \sin(\varphi)^{38}$$

Die Zulässigkeit dieser Vereinfachung ist anhand der nachfolgenden Tabelle 3.3 veranschaulicht.

cos(2,5)= 0,9990	cos(5)= 0,9962	cos(10)= 0,9848	cos(20)= 0,9397
tan(2,5)= 0,0437	tan(5)= 0,0875	tan(10)= 0,1763	tan(20)= 0,3640
sin(2,5)= 0,0436	sin(5)= 0,0872	sin(10)= 0,1736	sin(20)= 0,3420
2,5°= 0,0436 rad	5°= 0,0873 rad	10°= 0,1745 rad	20°= 0,3491 rad

Tabelle 3.3: Exemplarische Werte für Tangens, Sinus und Winkelangaben im Bogenmaß

Weitere Annahmen und Vereinfachungen werden bei den einzelnen Berechnungen in den folgenden zwei Kapiteln genau behandelt.

Das aufrichtende Moment $M_A(\varphi)$ bei kleinen Neigungswinkeln von $\varphi \leq 5^\circ$ lässt sich durch folgende zwei Ansätze ermitteln:

- Berechnung durch das eintauchende und austauchende Volumen V_e und V_a
- Berechnung mit Hilfe der sogenannten Wertunterlagen.

In weiterer Folge wird auf diese Ansätze näher eingegangen.

³⁷ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 14

³⁸ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 15

3.5.1 Berechnung von M_A durch das ein- und austauchende Volumen

Aufgrund der Krängung taucht auf der einen Seite das Volumen V_E ein, auf der anderen Seite das gleich große Volumen V_A aus.³⁹

Abbildung 3.6 nach [2] zeigt die einwirkenden Kräfte und die entsprechenden Hebelarme für die Berechnung des aufrichtenden Momentes.

Durch die vereinfachten Annahmen, dass das Schiff im Bereich der Wasserlinie eine senkrechte Außenhaut besitzt, lässt sich das Volumen der Keilstücke mit der Länge L wie folgt berechnen:

$$V_E = V_A = L * \frac{1}{2} * \frac{B}{2} * h = L * \frac{1}{2} * \frac{B}{2} * \frac{B}{2} * \tan(\varphi) \quad (3-14)$$

Die Auftriebskraft des eintauchenden Keiles ist somit:

$$F_{b-e-v} = V_E * \rho * g \quad (3-15)$$

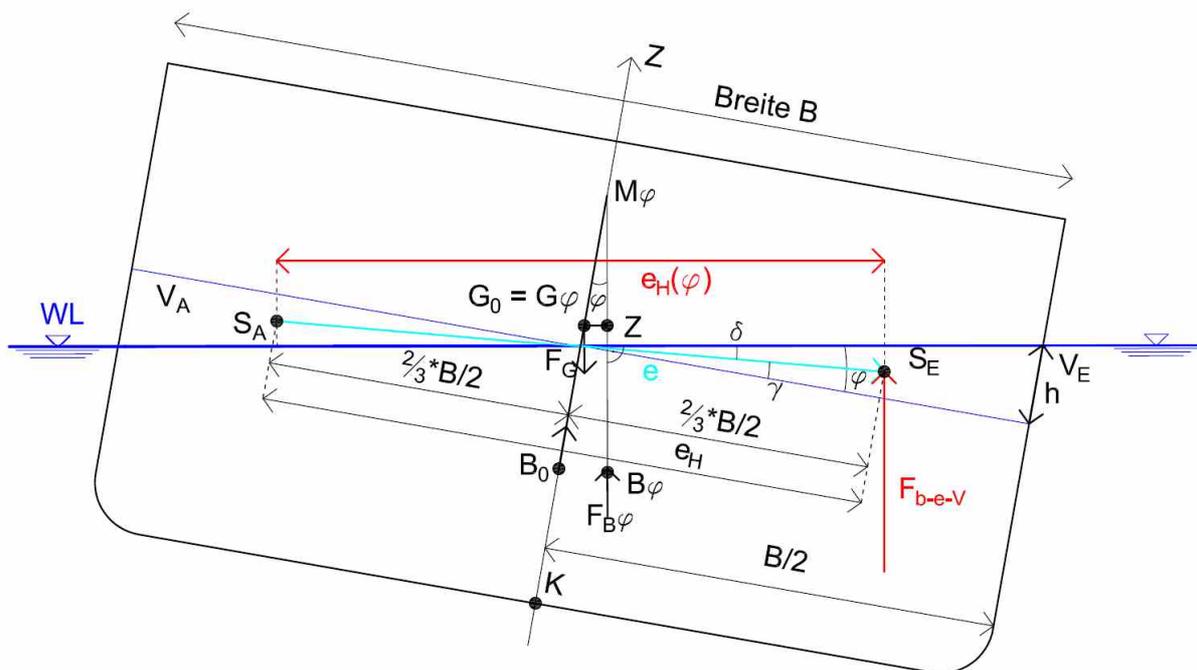


Abbildung 3.6: Horizontaler Hebelarm für die Berechnung des aufrichtenden Momentes⁴²

Der horizontale Abstand der beiden Keilstück-Schwerpunkte zueinander beträgt für den Fall des nicht geneigten Schiffes:

³⁹ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 88

⁴⁰ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 89

⁴¹ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 89

⁴² [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 88

$$2 * \frac{2}{3} * \frac{B}{2} \quad (3-16)$$

Dieser Abstand wird, da er laut *Wand* für kleine Neigungswinkel bis 5 Grad nach Gleichung (3-17) nur von der Schiffsbreite abhängt, im Folgenden für den Fall der vereinfachten Berechnung bei kleinen Neigungswinkel mit e_H bezeichnet.

$$e_H = 2 * \frac{2}{3} * \frac{B}{2} = \frac{2}{3} B \quad (3-17)$$

Durch die Krängung des Schiffes verlängert sich der tatsächliche horizontale Hebelarm $e_H(\varphi)$, was aber bei kleinen Winkeln vernachlässigt werden kann.

Das aufrichtende Moment $M_A(\varphi)$ errechnet sich demnach nach [1] und [2] durch die Multiplikation von Kraft F_{b-e-v} mal dem Hebelarm e_H (Gleichung (3-17)) des nicht geneigten Schiffes.

Dass diese Vereinfachung für kleine Neigungswinkel zulässig ist, wird im Anschluss an diese Herleitung erarbeitet.

Für die exakte Berechnung und bei Neigungswinkeln größer 5 Grad wird der horizontale Hebelarm nicht mit e_H sondern mit $e_H(\varphi)$ bezeichnet.

Die folgenden Gleichungen (3-18) bis (3-20) sind der o.g. Literatur entnommen und dienen der Herleitung des aufrichtenden Momentes $M_A(\varphi)$ zufolge der Verschiebung der Keilvolumina.

Unter Berücksichtigung der Gleichungen (3-14) bis (3-20) ergibt sich $M_A(\varphi)$ zu:

$$M_A(\varphi) = F_{b-e-v} * e_H = L * \frac{1}{2} * \frac{B}{2} * \frac{B}{2} * \tan(\varphi) * \rho * g * \frac{2}{3} B = \frac{L * B^3}{12} * \rho * g * \tan(\varphi) \quad (3-18)$$

Für den Faktor $\frac{L * B^3}{12}$ wird der Begriff des Breitenträgheitsmomentes I_T der Wasserlinienfläche eingeführt.

$$I_T = \frac{L * B^3}{12} \quad (3-19)$$

Durch Einsetzen von Gleichung (3-19) in Gleichung (3-18) ergibt sich das aufrichtende Moment nach [1] und [2] zu:

⁴³ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 89

⁴⁴ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 89

⁴⁵ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 90

⁴⁶ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 60

$$M_A(\varphi) = I_T * \rho * g * \tan(\varphi)^{47} \quad (3-20)$$

In weiterer Folge wird die zuvor erwähnte Vereinfachung bei der Berechnung des aufrichtenden Momentes genauer behandelt. Dazu wird die korrekte Ermittlung von $M_A(\varphi)$ erläutert und die Auswirkungen der Vereinfachung anhand eines Beispiels aufgezeigt.

Als erster Schritt werden die Winkel γ und δ eingeführt (siehe Abbildung 3.7), sodass gilt:

$$\delta = \varphi - \gamma \quad (3-21)$$

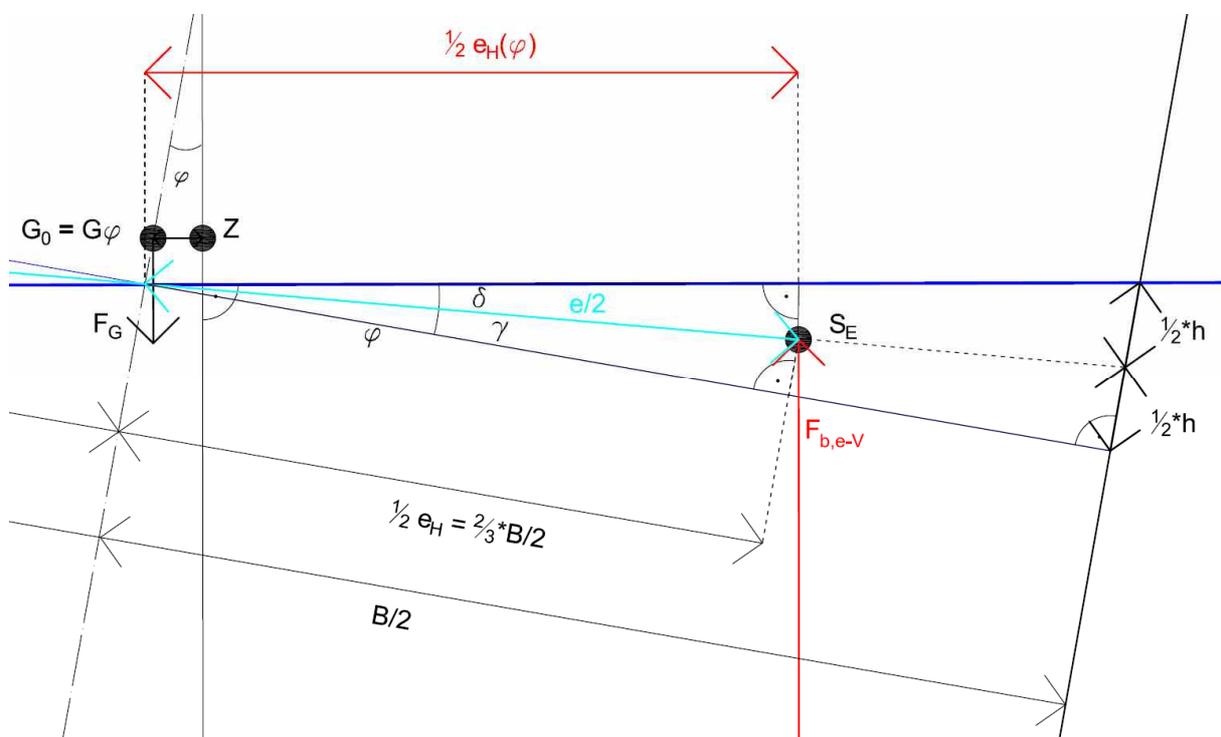


Abbildung 3.7: Detailansicht $e/2$ und Horizontalkomponente $e_H(\varphi)/2$ ⁴⁸

Die Seitenlänge h des Keilstückes wurde bereits in Gleichung (3-14) verwendet und wird hier in Gleichung (3-22) nochmals explizit angeschrieben:

$$h = \frac{B}{2} * \tan(\varphi) \quad (3-22)$$

In weiterer Folge wird der Winkel γ wie folgt berechnet:

⁴⁷ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 90

⁴⁸ [30] Kolar

$$\tan(\gamma) = \frac{\frac{h}{2}}{\frac{B}{2}} \Rightarrow \gamma = \arctan\left(\frac{h}{B}\right) \quad (3-23)$$

Die tatsächliche Länge e des Verschiebeweges von Punkt S_A zu Punkt S_E setzt sich aus den zwei gleichen Abständen der jeweiligen Schwerpunkte S_A und S_E zur Mittschiffsebene zusammen (siehe Abbildung 3.6 und Abbildung 3.7).

$$\cos(\gamma) = \frac{\frac{2}{3} * \frac{B}{2}}{\frac{e}{2}} \Rightarrow \frac{e}{2} = \frac{\frac{B}{3}}{\cos(\gamma)} \quad (3-24)$$

Die Gesamtlänge des tatsächlichen Verschiebeweges ergibt sich somit zu

$$e = \overline{S_A S_E} = 2 * \frac{\frac{B}{3}}{\cos(\gamma)} = \frac{\frac{2}{3} * B}{\cos(\gamma)} \quad (3-25)$$

Im Fall der kleinen Neigungswinkel von $\varphi \leq 5^\circ$ und unter Berücksichtigung von Tabelle 3.3 lässt sich Gleichung (3-25) wie folgt näherungsweise vereinfachen:

$$e = \overline{S_A S_E} = \frac{\frac{2}{3} * B}{\cos(\gamma)} = \frac{\frac{2}{3} * B}{\sim 1,0} \approx \frac{2}{3} * B \quad (3-26)$$

Nachdem der tatsächliche Verschiebeweg bekannt ist, kann nun der horizontale Anteil des Verschiebeweges $e_H(\varphi)$ berechnet werden.

$$\cos(\delta) = \frac{\frac{e_H(\varphi)}{2}}{\frac{e}{2}} \Rightarrow \frac{e_H(\varphi)}{2} = \frac{e}{2} * \cos(\delta) \Rightarrow e_H(\varphi) = e * \cos(\delta) \quad (3-27)$$

Das aufrichtende Moment ergibt sich somit durch Multiplikation der Auftriebskraftkomponente F_{b-e-v} mit dem tatsächlichen horizontalen Hebelarm $e_H(\varphi)$.

$$M_A(\varphi) = F_{b-e-v} * e_H(\varphi) \quad (3-28)$$

Einsetzen der Gleichungen (3-15) und (3-27) in Gleichung (3-28) ergibt das exakte aufrichtende Moment $M_A(\varphi)$ zu:

$$M_A(\varphi) = F_{b-e-v} * e_H(\varphi) = L * \frac{1}{2} * \frac{B}{2} * \frac{B}{2} * \tan(\varphi) * \rho * g * \frac{\frac{2}{3} * B}{\cos(\gamma)} * \cos(\delta) \quad (3-29)$$

Durch das Zusammenfassen und Vereinfachen von Gleichung (3-28) erhält man folgendes Ergebnis für $M_A(\varphi)$:

$$M_A(\varphi) = \frac{L * B^3}{12} * \tan(\varphi) * \rho * g * \frac{\cos(\delta)}{\cos(\gamma)} = I_T * \tan(\varphi) * \rho * g * \frac{\cos(\delta)}{\cos(\gamma)} \quad (3-30)$$

Anhand eines einfachen Rechenbeispiels soll dargestellt werden, welche Konsequenzen die Vereinfachungen nach [1] und [2] auf die Größe des aufrichtenden Momentes haben.

Gegeben sei ein Schwimmkörper in Süßwasser ($\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$) mit der Länge $L = 35,00$ Meter, der Breite $B = 15,00$ Meter und einem Krängungswinkel φ von genau $5,00$ Grad. Bis zu diesem Krängungswinkel sind die vorhin genannten Vereinfachungen noch zulässig.

Ermittelt man das aufrichtende Moment $M_A(\varphi)$ mit den nach [1] und [2] zulässigen Vereinfachungen berechnet sich das aufrichtende Moment nach Gleichung (3-20) wie folgt:

$$M_A(\varphi) = I_T * \rho * g * \tan(\varphi) = \frac{L * B^3}{12} * \rho * g * \tan(\varphi) \quad (3-31)$$

Einsetzen der Zahlenwerte des Beispiels liefert für $M_A(\varphi=5,0^\circ)$ nach [1] und [2]

$$M_A(\varphi = 5,0^\circ) = \frac{35,00 * 15,00^3}{12} * 1,00 * 9,81 * \tan(5,0) = 8.448,534 \text{ kNm} \quad (3-32)$$

Nach der exakten Methode hingegen berechnet sich das aufrichtende Moment nach Gleichung (3-30) wie folgt:

$$M_A(\varphi) = \frac{L * B^3}{12} * \tan(\varphi) * \rho * g * \frac{\cos(\delta)}{\cos(\gamma)} = I_T * \tan(\varphi) * \rho * g * \frac{\cos(\delta)}{\cos(\gamma)} \quad (3-30)$$

Um Gleichung (3-30) lösen zu können, ist es notwendig die Winkel γ und δ zu ermitteln. Nach Gleichung (3-23) berechnet sich der Winkel γ mit dem Wert für h nach Gleichung (3-22) wie folgt:

$$h = \frac{B}{2} * \tan(\varphi) = \frac{15,00}{2} * \tan(5,0) = 0,656 \text{ m} \quad (3-33)$$

$$\gamma = \arctan\left(\frac{h}{B}\right) = \arctan\left(\frac{0,656}{15,00}\right) = 2,505^\circ \quad (3-34)$$

Der Winkel δ berechnet sich mit

$$\delta = \varphi - \gamma = 5,000^\circ - 2,505^\circ = 2,495^\circ \quad (3-35)$$

Einsetzen der soeben errechneten Werte in Gleichung (3-30) liefert den exakten Wert für $M_A(\varphi=5,0^\circ)$.

$$M_A(\varphi = 5,0^\circ) = \frac{35,0 * 15,0^3}{12} * \tan(5,00) * 1,00 * 9,81 * \frac{\cos(2,495)}{\cos(2,505)} = 8.448,596 \text{ kNm} \quad (3-30)$$

Die Differenz zwischen dem exakten aufrichtenden Moment und dem nach der vereinfachten Methode ermittelten Wert für das aufrichtende Moment, in der der horizontale Verschiebungsanteil des ungekrängten Schiffes berücksichtigt wird, beträgt 0,062 kNm.

Dies entspricht einer Abweichung von

$$\frac{0,062 \text{ kNm}}{8.448,596 \text{ kNm}} * 100 = 0,0007\% \quad (3-36)$$

Dass diese Vereinfachung und die daraus resultierende Abweichung im Endergebnis durchaus zulässig sind, lässt sich zum einen anhand der Kleinheit der Abweichung begründen. Ein weiterer Aspekt ist, dass durch diese Vereinfachung der Wert für das aufrichtende Moment kleiner ist als der Wert bei der exakten Berechnung. Man liegt mit der vereinfachten Berechnung somit auf der „sicheren Seite“.

Diese Vereinfachung wird in den weiteren Kapiteln, in denen mit Krängungswinkeln von $\varphi \leq 5^\circ$ gerechnet wird noch des Öfteren zur Anwendung kommen.

Tabelle 3.4 veranschaulicht den „Fehler“, den man machen würde, wenn man auch bei größeren Neigungswinkeln als 5 Grad mit der Vereinfachung nach [1] und [2] rechnen würde.

Neigungswinkel	5,00°	10,00°	15,00°	20,00°	30,00°
M_A nach [1]+[2]	8.448,53 kNm	17.027,40 kNm	25.875,10 kNm	35.147,58 kNm	55.753,09 kNm
M_A exakt	8.448,60 kNm	17.029,40 kNm	25.890,65 kNm	35.215,60 kNm	56.330,86 kNm
Delta	0,06 kNm	1,99 kNm	15,55 kNm	68,02 kNm	577,77 kNm
Delta [%]	0,0007%	0,0117%	0,0601%	0,1931%	1,0257%

Tabelle 3.4: Gegenüberstellung von M_A nach [1] und [2] und der exakten Berechnung von M_A

Wie aus Tabelle 3.4 hervorgeht, nimmt die Abweichung zwischen der vereinfachten Methode und der exakten Berechnungsmethode bei zunehmendem Neigungswinkel des Schiffes zu.

Nachdem nun für die Ermittlung des aufrichtenden Momentes die Berechnungsmethode der ein- und austauchenden Keilstücke genau behandelt wurde, wird im folgenden Kapitel auf die Berechnung mit Hilfe der Werftunterlagen näher eingegangen.

3.5.2 Berechnung mit Hilfe der Werftunterlagen

Bei der zweiten Berechnungsvariante wird das aufrichtende Moment mit Hilfe der sogenannten Werftunterlagen berechnet.

Von der Werft werden für bestimmte Tiefgänge unter anderem das jeweilige Volumen und die Höhenkoordinate von M_φ vorberechnet und in einer Tabelle dargestellt. Diese Werftunterlagen werden im Schiffbau auch als „Hydrostatic Tables“ oder „Hydrostatic Particulars“ bezeichnet.⁴⁹

Ein Beispiel für den Aufbau und den Inhalt von Werftunterlagen ist in Abbildung 3.8 ersichtlich. Die angegebenen Werte in diesem Auszug aus den Werftunterlagen beziehen sich auf das ungekrängte Schiff mit $\varphi = 0^\circ$ (heel = 0,00 deg.).

„Hydrostatic Tables“ liegen in fünf bzw. zehn Grad-Intervallen, abhängig von der jeweiligen Werft, vor.

In der ersten und letzten Spalte der Hydrostatic Tables ist der Tiefgang des Schiffes in Metern aufgelistet.

Die Werte in der ersten Spalte beziehen sich auf das hintere Lot des Schiffes – im Englischen oft auch mit AP „after perpendiculum“ bezeichnet (siehe Kapitel 3.3.1). Analog dazu nehmen die Werte in der letzten Spalte Bezug auf den Tiefgang am Bug des Schiffes (FP „fore perpendiculum“).⁵⁰

In Spalte zwei ist zum jeweiligen Tiefgang entsprechend Spalte eins das Displacement des Schiffes im Meerwasser ($\rho=1,025 \text{ t/m}^3$) angeführt.

Die Spalten drei, vier und fünf beinhalten die Längs-, Quer- und Höhenkoordinaten des Auftriebsschwerpunktes B (centre of buoyancy). Analog zu den Bezeichnungen des Gewichtsschwerpunktes G in Kapitel 3.3.1 „Koordinatensystem am Schiff“ werden hier auch die Koordinaten des Auftriebsschwerpunktes definiert. Auf die Erklärung des Begriffes und die weiteren unterschiedlichen Bezeichnungen in der Literatur wurde bereits in Kapitel 3.2 näher eingegangen.

⁴⁹ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 95

⁵⁰ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 69

Yard number: 110	Ship name: Hydrostatikklausur SS 2010	Date: 26.Jul.2010
---------------------	--	----------------------

Trim	:	0.000 m	(positive forward)
Heel	:	0.000 Deg.	(positive starboard)
Density sea water	:	1.025 t/m ³	
Density fresh water	:	1.000 t/m ³	
Keel thickness	:	0.000 m	
Shell plating factor	:	1.000 m	
Light ship weight	:	218.000 t	

HYDROSTATIC TABLES									
T AP Metre	Dis.SW Ton	LCB m.f.AP	TCB m.f.CL	VCB m.a.BL	LCF m.f.AP	KM.T m.a.BL	IWLL m4	KM.L m.a.BL	T FP Metre
2.000	165.5	12.728	0.000	1.260	12.609	3.455	4802.	31.518	2.000
2.050	172.2	12.722	0.000	1.290	12.563	3.438	4956.	31.300	2.050
2.100	178.9	12.715	0.000	1.320	12.514	3.422	5113.	31.113	2.100
2.150	185.8	12.707	0.000	1.349	12.469	3.409	5266.	30.904	2.150
2.200	192.7	12.698	0.000	1.379	12.422	3.397	5423.	30.721	2.200
2.250	199.7	12.687	0.000	1.409	12.382	3.387	5568.	30.479	2.250
2.300	206.7	12.676	0.000	1.438	12.345	3.378	5710.	30.233	2.300
2.350	213.9	12.665	0.000	1.468	12.308	3.370	5851.	29.985	2.350
2.400	221.1	12.652	0.000	1.497	12.279	3.363	5980.	29.696	2.400
2.450	228.4	12.640	0.000	1.527	12.255	3.358	6102.	29.383	2.450
2.500	235.7	12.628	0.000	1.556	12.232	3.353	6230.	29.115	2.500
2.550	243.1	12.616	0.000	1.586	12.213	3.348	6351.	28.825	2.550
2.600	250.5	12.603	0.000	1.615	12.199	3.345	6463.	28.512	2.600
2.650	258.0	12.591	0.000	1.644	12.188	3.342	6568.	28.186	2.650
2.700	265.5	12.580	0.000	1.674	12.179	3.340	6667.	27.850	2.700
2.750	273.1	12.569	0.000	1.703	12.169	3.338	6770.	27.546	2.750
2.800	280.7	12.558	0.000	1.732	12.161	3.337	6868.	27.238	2.800
2.850	288.4	12.547	0.000	1.761	12.157	3.336	6959.	26.917	2.850
2.900	296.1	12.537	0.000	1.790	12.156	3.336	7042.	26.585	2.900
2.950	303.9	12.527	0.000	1.819	12.157	3.337	7122.	26.256	2.950
3.000	311.6	12.518	0.000	1.848	12.159	3.339	7199.	25.932	3.000

Abbildung 3.8: Auszug aus den „Hydrostatic Tables“⁵¹

Die in Spalte drei angeführten Längskoordinaten des Volumenschwerpunktes (LCB = longitudinal centre of buoyancy) beziehen sich in diesem Fall auf das hintere Lot des Schiffes und sind daher in „meters from AP“ angegeben.

Die Querkoordinaten des Auftriebsschwerpunktes (TCB = transvers centre of buoyancy) sind in Spalte vier angeführt. Als Bezugsebene dient hier die Mittschiffsebene (engl.: centre line).

Die höhenmäßige Lage des Formschwerpunktes (VCB = vertical centre of buoyancy) ist in der fünften Spalte der „Hydrostatic Tables“ angeführt. Die angegebenen Werte bezeichnen die Höhenlage des Formschwerpunktes in Meter über Kiel (engl.: meters above base line). Dieser Abstand wird in den weiteren Kapiteln auch als die Strecke \overline{KB} bezeichnet.

⁵¹ [37] Klausur Schiffshydrostatik vom 02.08.2010 – Technische Universität Hamburg-Harburg

In Spalte sechs ist weiters die Längskoordinate des Wasserlinienschwerpunktes (LCF = longitudinal centre of flotation) angeführt. Die Bezugsebene dafür ist wiederum das hinterste Lot des Schiffes.

In der siebenten Spalte ist der Abstand KM.T angegeben. Das T im Ausdruck KM.T steht für transvers (quer). Dieser Wert ist unter anderem maßgebend für Aussagen betreffend der Querstabilität eines Schiffes und wird in dieser Arbeit der Einfachheit halber als Abstand KM bezeichnet.

In diesen Wertunterlagen ist außerdem in Spalte neun noch zusätzlich die Höhe des Längenmetazentrums KM.L (L steht hier für longitudinal) angeführt. Dieser Wert KM.L ist für diese Diplomarbeit nicht relevant.

Das Breitenträgheitsmoment I_B der Wasserlinienfläche ist in Spalte acht der Wertunterlagen angegeben.

Mit Hilfe der Wertunterlagen lässt sich das aufrichtende Moment im Bordbetrieb leichter berechnen:

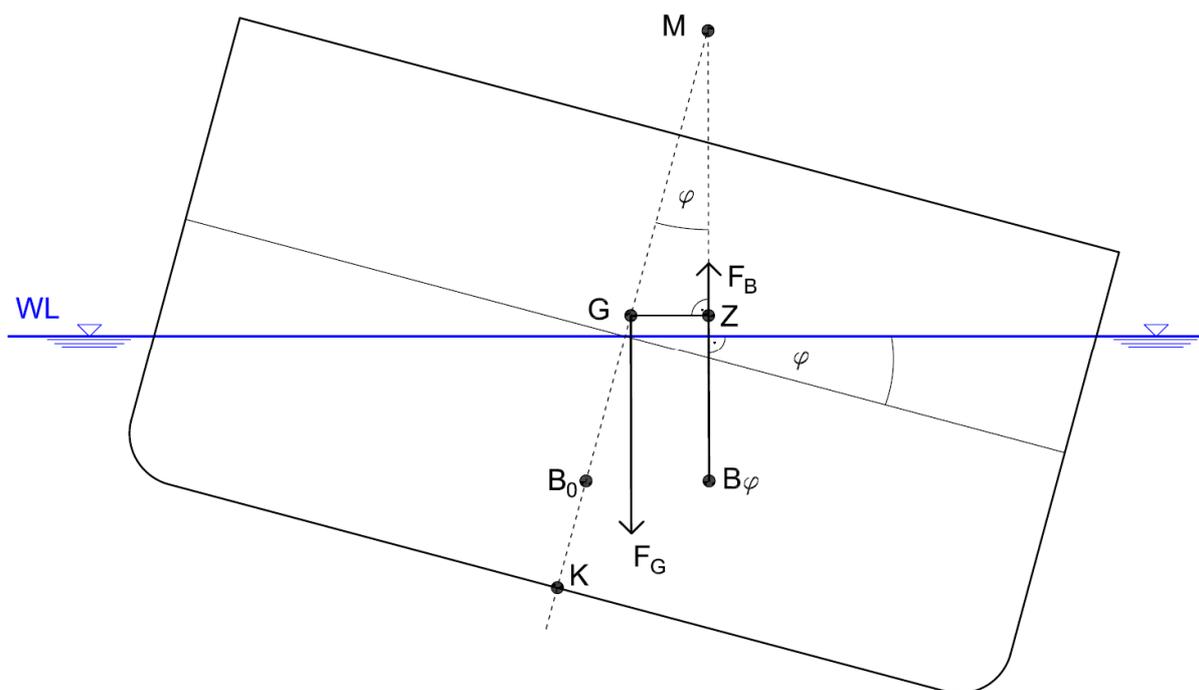


Abbildung 3.9: Berechnung von M_A mit Hilfe der Wertunterlagen⁵²

Das aufrichtende Moment wird durch den Abstand der Wirkungslinie der Auftriebskraft F_B zum konstanten Gewichtsschwerpunkt G bestimmt.

Die Wirkungslinie der Auftriebskraft verläuft durch den ausgewanderten Auftriebschwerpunkt B_φ und steht normal auf die Wasserlinie WL .

Der Zusammenhang von $\overline{GZ}(\varphi)$, der Strecke \overline{GM} und dem Krängungswinkel φ wurde bereits in Gleichung (3-12) hergeleitet:

⁵² [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 96

$$\overline{GZ}(\varphi) = h(\varphi) = \overline{GM} * \sin(\varphi) \quad (3-12)$$

Die Auftriebskraft F_B wurde ebenso bereits definiert (siehe Kapitel 3.2):

$$F_B = \rho * g * \nabla \quad (3-37)$$

Somit errechnet sich das aufrichtende Moment $M_A(\varphi) = F_B * \overline{GZ}(\varphi)$ zu:

$$M_A(\varphi) = \rho * g * \nabla * \overline{GM} * \sin(\varphi) \quad (3-38)$$

3.5.3 Der aufrichtende Hebel bei kleinen Neigungswinkeln

In der Praxis wird in der Regel nicht mit aufrichtenden Momenten, sondern mit aufrichtenden Hebeln (siehe Gleichung (3-12)) gearbeitet:⁵⁵

- Der Faktor „ $F_B = \rho * g * \nabla$ “ geht immer in die Berechnung der aufrichtenden Momente ein. Dieser ist aber für den jeweils betrachteten Beladungszustand konstant (bei kleinen Krängungswinkeln und senkrechten Seitenwänden aber nicht vom Krängungswinkel φ abhängig)
- Die Momente von kleinen und großen Schiffen lassen sich nicht direkt vergleichen. Bei gleichem Krängungswinkel hat ein Schiff mit größerer Verdrängung ∇ auch eine größere Auftriebskraft F_B und somit ein größeres aufrichtendes Moment M_A .

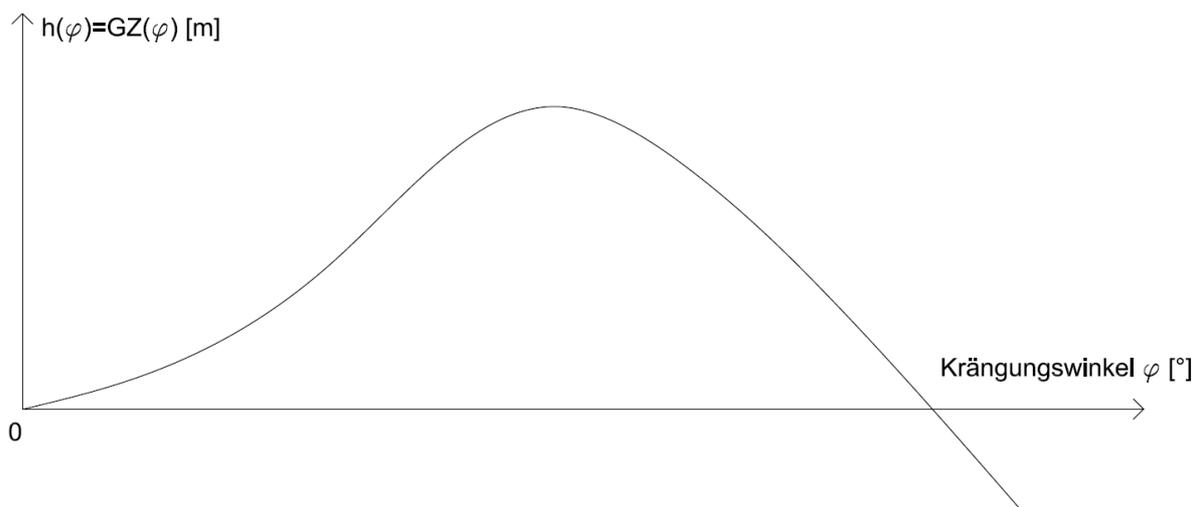


Abbildung 3.10: schematischer Verlauf einer typischen GZ-Kurve⁵⁶

Für die aufrichtenden Hebel bei Winkeln von $\varphi \leq 5^\circ$ gilt jedenfalls Gleichung (3-12):

⁵³ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 96

⁵⁴ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 97

⁵⁵ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 98

⁵⁶ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 110

$$\overline{GZ}(\varphi) = \overline{GM} \cdot \sin(\varphi) \quad 57 \quad (3-12)$$

Die Funktion $GZ(\varphi)$ wird als Hebelarmkurve über dem Krängungswinkel φ dargestellt.

Genauer zum aufrichtenden Hebel und der Hebelarmkurve wird im Kapitel 3.6 „Das aufrichtende Moment bei großen Neigungswinkeln $\varphi > 5^\circ$ “ erarbeitet.

3.5.4 Berechnung des Abstandes Kiel-Metazentrum (\overline{KM})

Die folgende Herleitung hat nur dann Gültigkeit, wenn der Krängungswinkel φ maximal fünf Grad beträgt. Diese Einschränkung hat zur Folge, dass das Metazentrum als ortsfest angenommen werden kann ($M=M_0=M_\varphi$). Weiters wird vorausgesetzt, dass der betrachtete Schwimmkörper mit der Länge L einen konstanten Querschnitt besitzt. Dadurch lässt sich das räumliche Problem zu einem Flächenproblem reduzieren.⁵⁸

Der Abstand \overline{KM} , der die Höhe des Metazentrums über dem Kiel bezeichnet, setzt sich aus zwei Teilstücken zusammen:

$$\overline{KM} = \overline{KB_0} + \overline{B_0M} \quad 59 \quad (3-39)$$

Die Strecke $\overline{KB_0}$ ist die Höhe des Auftriebsschwerpunktes B_0 in der ungekrängten Lage über dem Kiel K . Diese Strecke kann bei Pontons mit einfachen geometrischen Schwimmkörpern relativ simpel berechnet werden oder bei komplexeren Schiffsformen hingegen den Werftunterlagen entnommen werden.

Die vorerst noch unbekannte Strecke $\overline{B_0M}$ kann nach Abbildung 3.12 wie folgt berechnet werden.

$$\overline{B_0M} = \frac{\overline{B_0B_\varphi}}{\sin(\varphi)} \quad 60 \quad (3-40)$$

Infolge der ein- und austauchenden Keilstücke wandert der Auftriebsschwerpunkt B_0 nach B_φ aus. Die ebenfalls unbekannte Strecke $\overline{B_0B_\varphi}$ wird mit Hilfe des Schwerpunktverschiebungssatzes berechnet.

Der Schwerpunktverschiebungssatz besagt, dass sich der Schwerpunkt eines Körpers (Masse, Volumen, Fläche) bei der Verlagerung einer Einzelkomponente um eine solche Strecke verschiebt, dass das Gesamt-Verschiebemoment gleich der

⁵⁷ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 86

⁵⁸ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 15

⁵⁹ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 15

⁶⁰ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 15

Summe der Einzel-Verschiebemomente ist. Der Verschiebeweg des Gesamtschwerpunktes ist parallel zum Verschiebeweg des Schwerpunktes der Einzelmassse.⁶¹

Die Strecke beziehungsweise der Vektor $\overline{GG'}$ ist das Produkt aus verschobener Einzelmassse m mal Verschiebeweg $\overline{SS'}$ bzw. \bar{e} dividiert durch die Gesamtmasse D des Körpers.

$$\overline{GG'} = \frac{m_1 * \bar{e}}{D} \quad (3-41)$$

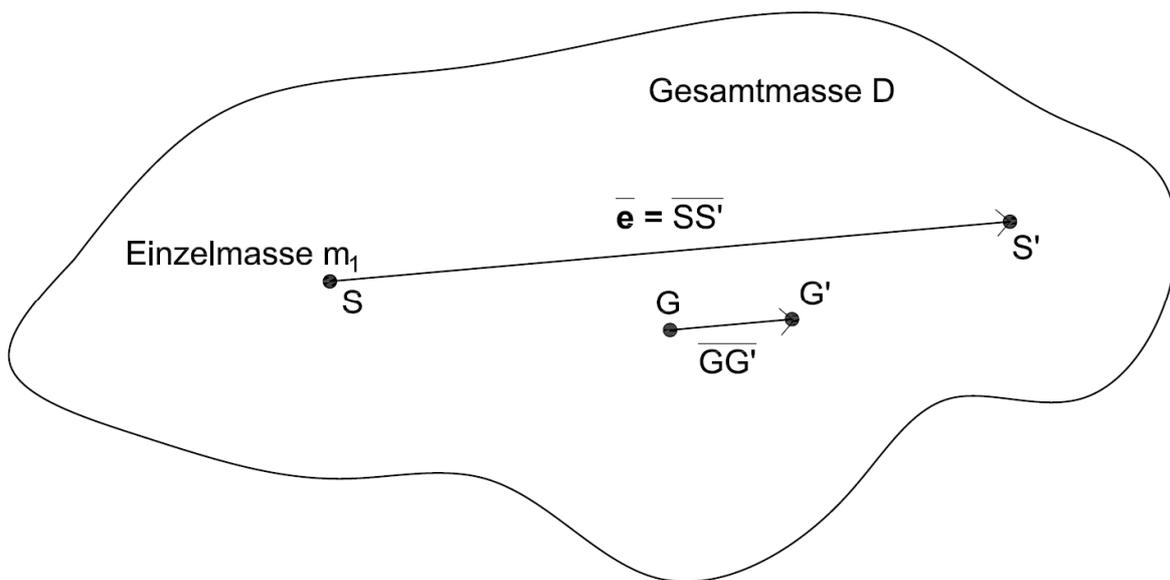


Abbildung 3.11: Skizze – Schwerpunktverschiebungssatz⁶³

Somit lässt sich mit Hilfe des Schwerpunktverschiebungssatzes die Lage des neuen Gesamtschwerpunktes G' berechnen.

Das Volumen des eintauchenden Keilstückes beträgt nach Gleichung (3-14) aus Kapitel 3.5.1 „Berechnung von M_A durch das ein- und austauchende Volumen“:

$$V_E = V_A = L * \frac{1}{2} * \frac{B}{2} * \frac{B}{2} * \tan(\varphi) \quad (3-42)$$

Ebenso wie in Kapitel 3.5.1 ist es bei kleinen Neigungswinkeln hinreichend genau, mit dem vereinfachten Verschiebeweg e nach Gleichung (3-26) zu rechnen.

Der Verschiebeweg der Einzelschwerpunktverschiebung der Keilstücke ergibt sich bei Anwendung des vereinfachten Verfahrens nach Gleichung (3-26) aus Kapitel 3.5.1 zu

⁶¹ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 15

⁶² [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 52

⁶³ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 49

⁶⁴ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 89

$$e = \frac{2}{3} B^{65} \quad (3-43)$$

Bei Neigungswinkeln von $\varphi > 5^\circ$ ist mit dem exakten Wert der Strecke e nach Gleichung (3-25) zu rechnen.

$$e = \overline{S_A S_E} = 2 * \frac{\frac{B}{3}}{\cos(\chi)} = \frac{\frac{2}{3} * B}{\cos(\chi)} \quad (3-25)$$

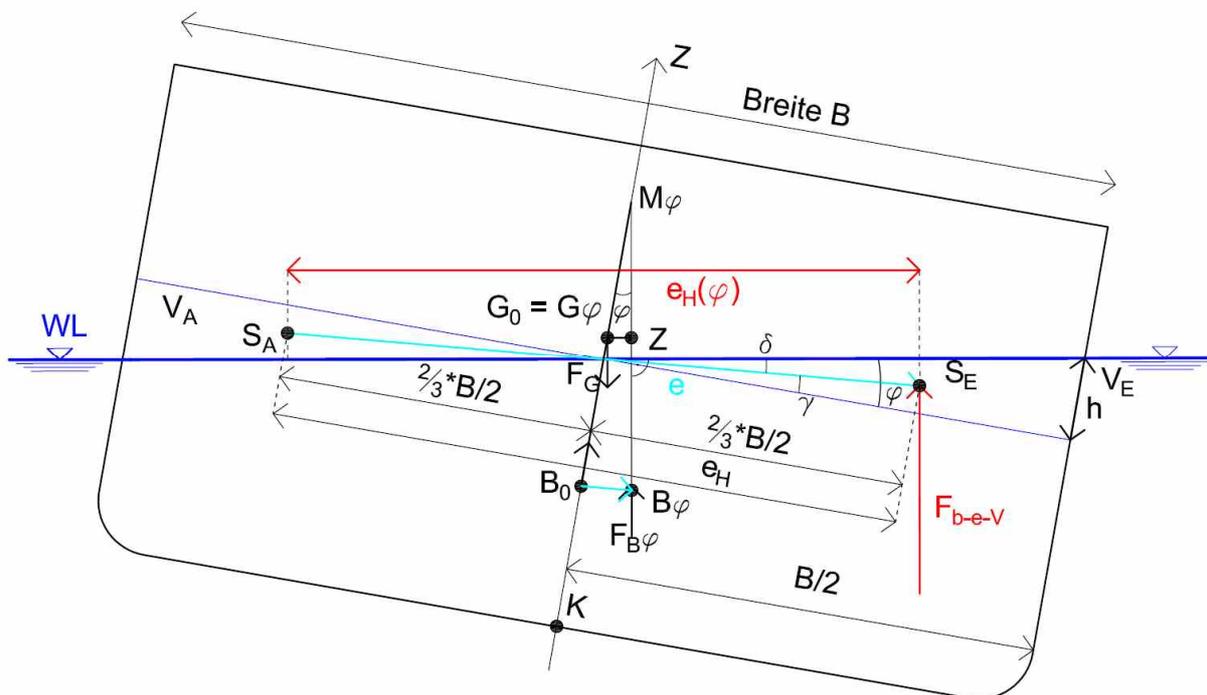


Abbildung 3.12: Berechnung des Abstandes Kiel-Metazentrum⁶⁶

Die Strecke $\overline{B_0 B_\varphi}$ lässt sich unter Zuhilfenahme des Schwerpunktverschiebungssatzes und der Gleichungen (3-14) und (3-26) wie folgt berechnen:

$$\overline{B_0 B_\varphi} = \frac{V_E * e}{\nabla} = \frac{L * \frac{1}{2} * \frac{B}{2} * \frac{B}{2} * \tan(\varphi) * \frac{2}{3} * B}{\nabla} = \frac{L * B^3 * \tan(\varphi)}{12} \quad (3-44)$$

Berücksichtigung von Gleichung (3-19)

$$I_T = \frac{L * B^3}{12} \quad (3-19)$$

⁶⁵ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 89

⁶⁶ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 49

führt zu folgendem Ergebnis für $\overline{B_0 B_\varphi}$.

$$\overline{B_0 B_\varphi} = \frac{L * B^3 * \tan(\varphi)}{\frac{12}{\nabla}} = \frac{I_T}{\nabla} * \tan(\varphi) \quad (3-45)$$

In Gleichung (3-40) kann nun wie folgt eingesetzt werden:

$$\overline{B_0 M} = \frac{\overline{B_0 B_\varphi}}{\sin(\varphi)} = \frac{I_T}{\nabla} * \frac{\tan(\varphi)}{\sin(\varphi)} \quad (3-46)$$

Da bei kleinen Neigungswinkeln von $\varphi \leq 5^\circ$ $\sin(\varphi) = \tan(\varphi) = \varphi^{\text{rad}}$ als hinreichend genaue Näherung gilt (siehe Tabelle 3.3), lässt sich Gleichung (3-46) nach dem Kürzen von Sinus und Tangens wie folgt darstellen:

$$\overline{B_0 M_\varphi} = \frac{I_T}{\nabla} \quad (3-47)$$

Wie aus Gleichung (3-47) ersichtlich ist, hängt die Strecke $\overline{B_0 M_\varphi}$ nur vom Breiten-trägheitsmoment der Wasserlinienfläche und von der Verdrängung ab.

Somit lässt sich die metazentrische Höhe $\overline{GM}(\varphi)$ auch wie folgt ausdrücken:

$$\overline{GM}(\varphi) = \overline{B_0 M_\varphi} - \overline{KG} + \overline{KB_0} \quad (3-48)$$

3.5.5 Berechnung des Krängungswinkels bei kleinen Neigungen – Betriebs- und Werftkrängungsversuch

Wie bereits des Öfteren erwähnt, spricht man bei Krängungswinkeln von $\varphi \leq 5^\circ$ von kleinen Neigungswinkeln.

Der Krängungsversuch ist ein häufig angewandtes Verfahren zur experimentellen Bestimmung der Schwerpunktlage eines Schiffes. Zunächst wird die Anfangsstabilität GM ermittelt. Daraus lässt sich in weiterer Folge die Höhenlage des Gewichtsschwerpunktes G wie folgt berechnen:⁷⁰

$$\overline{KG} = \overline{KM} - \overline{GM} \quad (3-49)$$

Der Abstand \overline{KG} (Kiel-Gewichtsschwerpunkt) errechnet sich durch Subtraktion der Anfangsstabilität \overline{GM} von der Strecke \overline{KM} (Kiel-Metazentrum).

⁶⁷ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 60

⁶⁸ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 16

⁶⁹ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 93

⁷⁰ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 114

⁷¹ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 114

Man unterscheidet grundsätzlich zwischen dem Werftkrängungsversuch und dem Betriebskrängungsversuch. Das physikalische Prinzip ist bei beiden Versuchen ident, sie unterscheiden sich lediglich durch den Ort der Versuchsausführung und der Genauigkeit der Ergebnisse.

Der Betriebskrängungsversuch wird während des Betriebes in der Regel dann durchgeführt, wenn die aktuellen Stabilitätsverhältnisse beurteilt werden sollen. Hierzu lässt man auf das aufrecht liegende Schiff ein gezielt herbeigeführtes, genau definiertes krängendes Moment einwirken. Das krängende Moment wird entweder durch Verschieben, Laden oder Löschen einer bekannten Masse erzeugt.⁷²

Der Werftkrängungsversuch wird unter anderem zur Bestimmung der Stabilitätskennwerte bei Neu- und Umbauten von Schiffen in den Werften durchgeführt. Da im Gegensatz zum späteren Betrieb in den Werften de facto „Laborbedingungen“ vorherrschen, sind die Ergebnisse des Werftkrängungsversuches prinzipiell genauer als die Ergebnisse des Betriebskrängungsversuches.⁷³

Die Reaktion des Schiffes auf das krängende Moment ist die sich einstellende Krängung. Die Krängung wird beispielsweise über die Ausschläge eines Pendels, mit Hilfe des sogenannten „Stabilitätssextanten“ oder mit dem „Libellenlot“ gemessen.⁷⁴

Der Krängungswinkel errechnet sich aus folgender Gleichgewichtsbedingung:

$$\sum M = \sum M_{Kr} - \sum M_A = 0 \quad (3-50)$$

Wie in Abbildung 3.13 ersichtlich, wird die an Deck stehende Krängungsmasse m_H um den Weg dy zur Seite geschoben. Die Strecke dy wird in den horizontalen Verschiebeweg e_H und den vertikalen Verschiebeweg e_V zerlegt. Da es sich hierbei wiederum um kleine Krängungswinkel handelt, kann für die Berechnung eines hinreichend genauen Ergebnisses der vertikale Verschiebungsanteil vernachlässigt werden.

Das krängende Moment M_{Kr} (engl.: heeling moment) errechnet sich wie folgt:

$$M_{Kr} = m_H * g * dy * \cos(\varphi) \quad (3-51)$$

Das aufrichtende Moment M_A wurde bereits in Abschnitt 3.5, Gleichung (3-38) hergeleitet:

$$M_A(\varphi) = \rho * \nabla * g * \overline{GM} * \sin(\varphi) \quad (3-38)$$

⁷² [31] Müller/Krauß: Handbuch für die Schiffsführung – Band 3, Seite 9

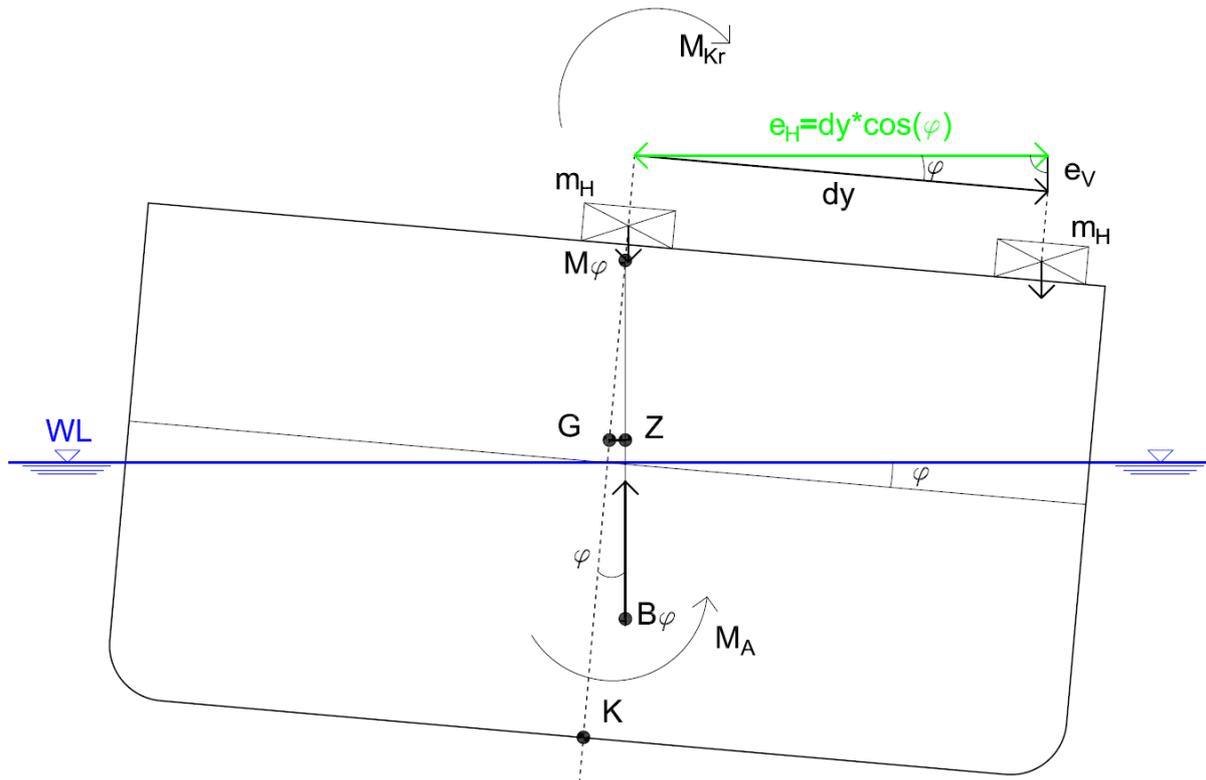
⁷³ [31] Müller/Krauß: Handbuch für die Schiffsführung – Band 3, Seite 9

⁷⁴ [31] Müller/Krauß: Handbuch für die Schiffsführung – Band 3, Seite 12

⁷⁵ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 14

⁷⁶ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 14

⁷⁷ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 97

Abbildung 3.13: Versuchsanordnung bei einem Krängungsversuch⁷⁸

Durch Gleichsetzen der Gleichungen (3-38) und (3-51), Kürzen von g und unter Anwendung der Beziehung:

$$\tan(\varphi) = \frac{\sin(\varphi)}{\cos(\varphi)} \quad 79$$

ergibt sich der Krängungswinkel zu:

$$\tan(\varphi) = \frac{m_H * dy}{\rho * \nabla * \overline{GM}} \quad 80 \quad (3-52)$$

Gleichung (3-52) zeigt den Zusammenhang zwischen Krängungswinkel φ , Verschiebemoment „ $m_H * dy$ “ und der Anfangsstabilität \overline{GM} .

Beim Krängungsversuch wird der Krängungswinkel φ gemessen und anschließend das Krängungsmoment „ $m_H * dy$ “ berechnet und so die Anfangsstabilität \overline{GM} ermittelt:

$$\overline{GM} = \frac{m_H * dy}{\rho * \nabla * \tan(\varphi)} = \frac{m_H * dy}{Depl * \tan(\varphi)} \quad 81 \quad (3-53)$$

⁷⁸ [31] Müller/Krauß: Handbuch für die Schiffsührung – Band 3, Seite 10

⁷⁹ [38] Merziger/Wirth: Repetitorium der höheren Mathematik, Seite 75

⁸⁰ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 14

⁸¹ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 117

Die Anfangsstabilität \overline{GM} errechnet sich durch Division des Verschiebemomentes durch das Produkt aus Displacement und dem Tangens des Krängungswinkels φ .

3.6 Das aufrichtende Moment bei großen Neigungswinkeln $\varphi > 5^\circ$

Im vorigen Kapitel wurden die Berechnungen und Vereinfachungen für kleine Neigungswinkel ausführlich behandelt. Außerdem wurde die exakte Ermittlung des aufrichtenden Momentes durch die ein- und austauchenden Keilstücke hergeleitet. Der nachfolgende Teil widmet sich nun den Berechnungen bei großen Krängungswinkeln von $\varphi > 5^\circ$.

3.6.1 Wall Sided Formula

Bei Schiffen mit senkrechten Außenwänden im Bereich der Wasserlinie (engl.: wall sided) gilt für größere Neigungswinkel, bei denen das Deck aber noch nicht eintaucht, nach [2] folgende Näherung:⁸²

$$\overline{GZ}(\varphi) = \overline{GM} * \sin(\varphi) + \frac{\overline{BM}}{2} * \tan^2(\varphi) * \sin(\varphi) \quad 83 \quad (3-54)$$

Gleichung (3-54) berücksichtigt sowohl die horizontale als auch die vertikale Verschiebung des Auftriebsschwerpunktes B.

3.6.2 Das „wahre“ Metazentrum $M(\varphi)$

Im Gegensatz zu den kleinen Krängungswinkeln in den vorigen Kapiteln verlagert sich nun bei größeren Krängungswinkeln auch das Metazentrum.

Mit Hilfe der vorigen Herleitungen lassen sich zu jeder Krängungslage das Breitenträgheitsmoment der Wasserlinie und die Schwerpunktkoordinaten des jeweiligen Auftriebsschwerpunktes berechnen. Ebenso lässt sich die Höhe des zugehörigen Metazentrums berechnen.

Der Auftriebsschwerpunkt B_φ wandert bei größer werdendem Krängungswinkel auf einem Bogen zur Seite aus. Die zugehörigen Metazentren liegen über dem jeweiligen Auftriebsschwerpunkt senkrecht zur zugehörigen Wasseroberfläche.

Bei größeren Neigungen liegen daher die Metazentren nicht mehr notwendigerweise in der Mittschiffsebene.⁸⁴

Wie schon in Kapitel 3.4 auf Seite 14 erwähnt, wird die Bahn, auf der sich die Metazentren bewegen, Evolvente genannt (siehe Abbildung 3.14).

⁸² [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 100

⁸³ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 100

⁸⁴ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 101

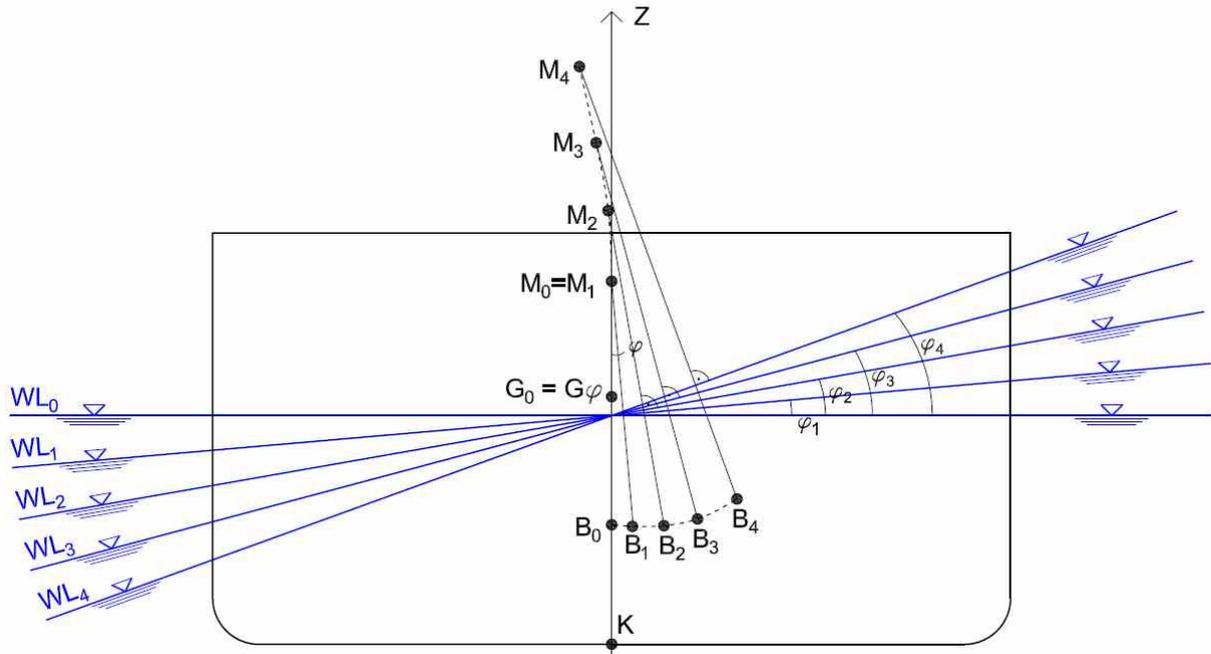


Abbildung 3.14: „wahre“ Metazentren M_0 bis M_4 ⁸⁵

Um die vorhin erwähnten Berechnungen für den täglichen Bordbetrieb zu vereinfachen, wird der Begriff des sogenannten „scheinbaren Metazentrums“ eingeführt.

3.6.3 Das „scheinbare“ Metazentrum $N(\varphi)$

Das scheinbare Metazentrum $N(\varphi)$ wird als der Schnittpunkt der jeweiligen Auftriebslinie mit der Mittschiffsebene definiert.⁸⁶

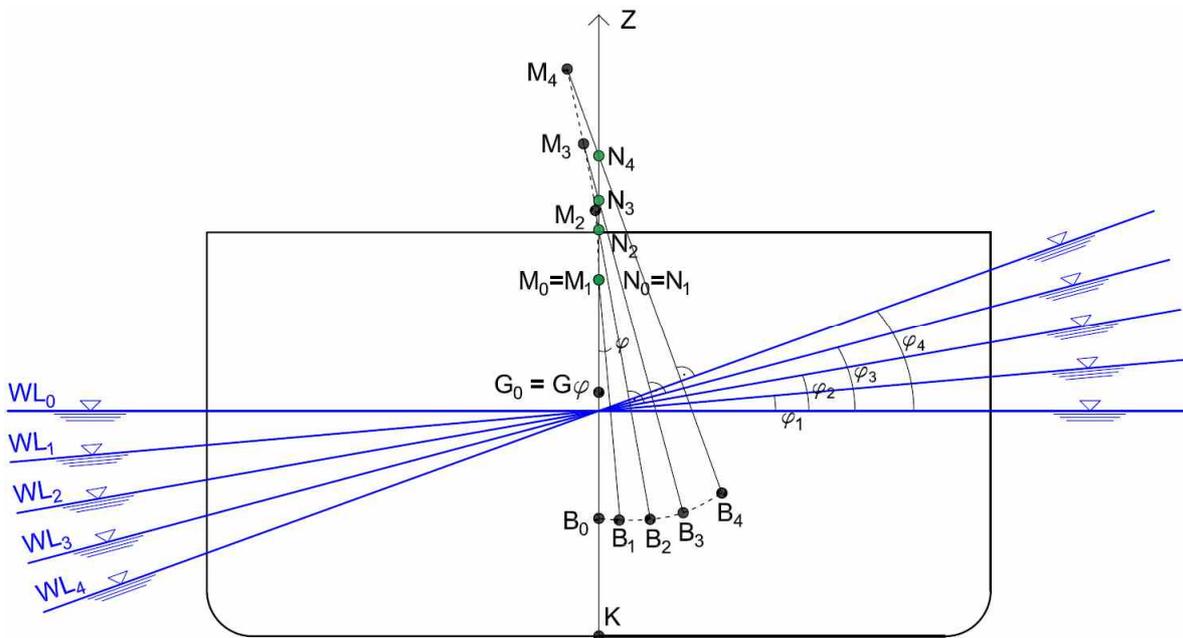


Abbildung 3.15: scheinbare Metazentren N_0 bis N_4 ⁸⁷

⁸⁵ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 101

⁸⁶ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 103

Durch die Einführung des scheinbaren Metazentrums lassen sich nun der aufrichtende Hebel und das aufrichtende Moment ebenso einfach bestimmen, wie im Fall der kleinen Krängungen.⁸⁸

3.6.4 Berechnung der aufrichtenden Hebel

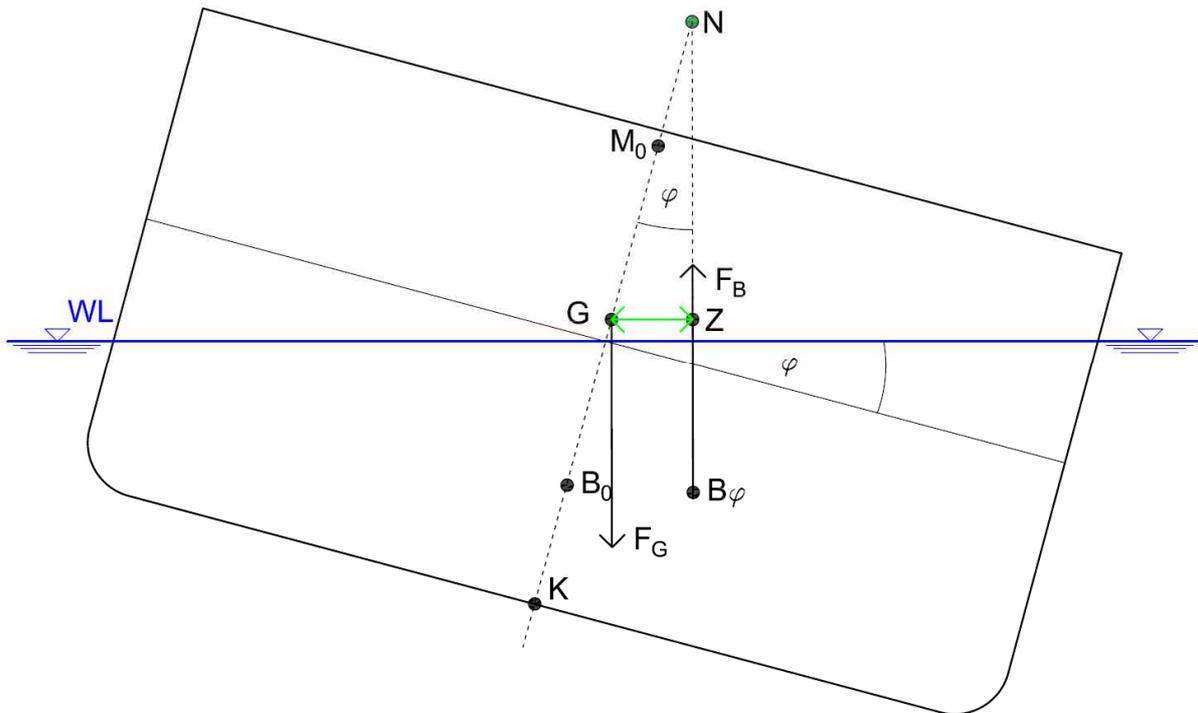


Abbildung 3.16: Der aufrichtende Hebel bei großen Krängungen⁸⁹

Wie aus der Abbildung 3.16 klar hervorgeht, ergibt sich der Ansatz für den aufrichtenden Hebel $\overline{GZ}(\varphi)$ wie folgt zu:

$$\overline{GZ}(\varphi) = \overline{GN} * \sin(\varphi)^{90} \quad (3-55)$$

Der einzige Unterschied zur Berechnung von $\overline{GZ}(\varphi)$ bei kleinen Neigungen (Kapitel 3.4 Gleichung (3-12)) ist, dass bei großen Neigungen vom scheinbaren Metazentrum $N(\varphi)$ ausgegangen wird und nicht vom Metazentrum M .

3.6.5 Darstellung der Funktion $GZ(\varphi)$ als Hebelarmkurve

Die Funktion $GZ(\varphi)$ wird in der sogenannten Hebelarmkurve (engl.: Righting Arm Curve) über dem Krängungswinkel φ dargestellt.

Von zentraler Bedeutung ist unter anderem der Verlauf der Hebelarmkurve bei kleinen Neigungen. Da bei diesen kleinen Krängungswinkeln die Strecke $\overline{MN}=0=\text{const.}$ ist, gilt für die Ableitung im allgemeinen Fall:⁹¹

⁸⁷ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 103

⁸⁸ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 104

⁸⁹ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 105

⁹⁰ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 105

$$\frac{d\overline{GZ}(\varphi = 0)}{d\varphi} = \frac{d(\overline{GM} * \sin(\varphi))}{d\varphi} = \overline{GM} * \cos(0) = \overline{GM} \quad 92 \quad (3-56)$$

Somit ist der Verlauf der GZ-Kurve bei kleinen Winkeln über die Tangente definiert.

Die Tatsache, dass die metazentrische Höhe \overline{GM} gleich der Steigung der Hebelarmkurve ist, macht man sich bei der Konstruktion der GZ-Kurve der aufrichtenden Hebel zunutze.⁹³

Konstruiert man im Hebelarm-Diagramm einen Punkt, der auf der horizontalen Achse die Strecke $d\varphi = 1 \text{ rad} = 57,3^\circ$ besitzt und auf der vertikalen Achse die Strecke $dh = \overline{GM}$, so hat die Verbindungsgerade zwischen diesem Punkt und dem Nullpunkt folgende Steigung:⁹⁴

$$\frac{dh}{d\varphi} = \frac{\overline{GM}}{1} = \overline{GM} \quad 95 \quad (3-57)$$

Diese Verbindungsgerade ist die Anfangstangente der Hebelarmkurve.

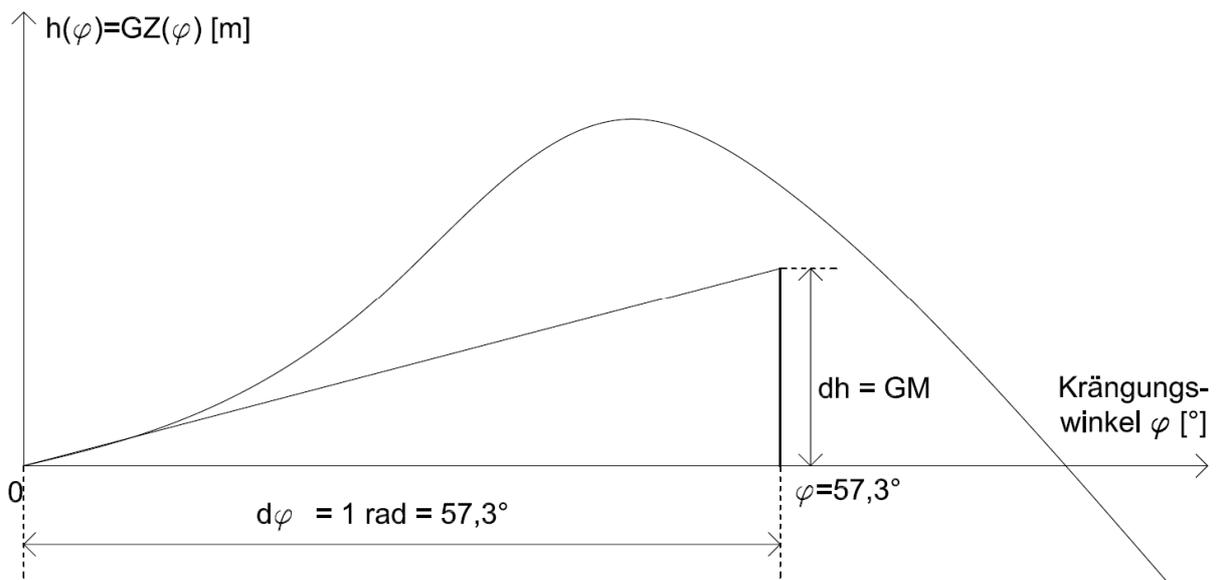


Abbildung 3.17: Anfangstangente der Hebelarmkurve⁹⁶

⁹¹ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 110

⁹² [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 110

⁹³ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 46

⁹⁴ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 46

⁹⁵ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 46

⁹⁶ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 110

3.6.6 Interpretation der Hebelarmkurve

An der Hebelarmkurve können wesentliche Aussagen über die Stabilität eines Schiffes direkt abgelesen werden.

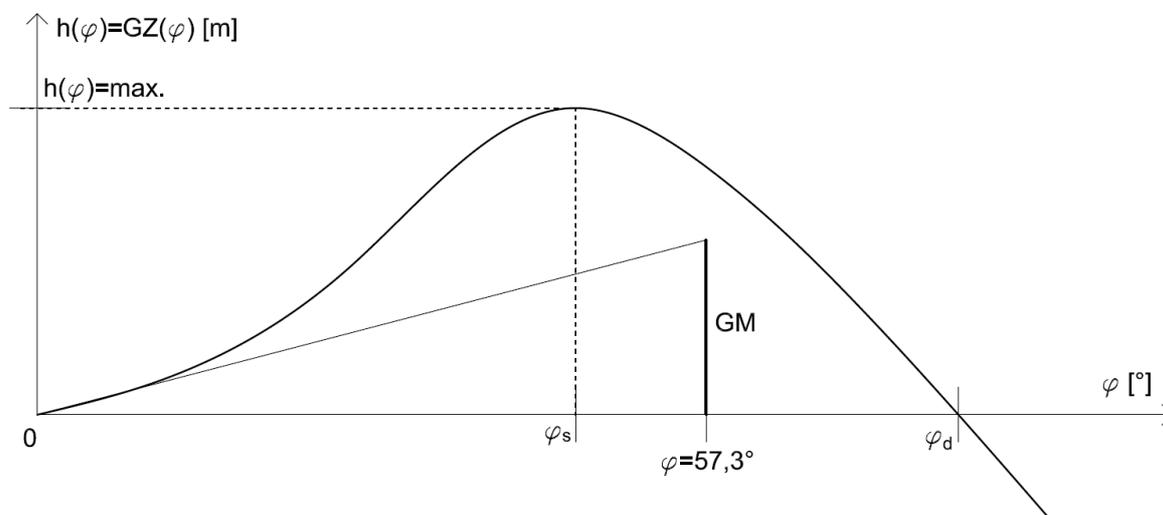


Abbildung 3.18: Anstieg der Hebelarmkurve⁹⁷

Wichtige Kennwerte zur Bewertung der Stabilität eines Schiffes sind neben der metazentrischen Anfangshöhe \overline{GM} auch der Stabilitätsumfang und die Fläche unter der Hebelarmkurve.

Der Bereich der positiven Hebelarme von $\varphi = 0,0^\circ$ bis $\varphi = (h(\varphi)=0) = \varphi_d$ wird als Umfang der Stabilität bzw. Stabilitätsumfang bezeichnet. Krängt ein Schiff durch äußere Einflüsse weiter, haben die aufrichtenden Hebelarme negative Vorzeichen und wirken daher zusätzlich krängend, was das Kentern des Schiffes zur Folge hat.⁹⁸

Der zugehörige Winkel φ_d wird als dynamischer Kenterwinkel bezeichnet.

Der statische Kenterwinkel φ_s ist jener Winkel, bei dem der aufrichtende Hebel $GZ(\varphi)$ maximal ist.

Wirkt ein konstantes krängendes Moment M_{Kr} , das größer ist als das maximale aufrichtende Moment, so kentert das Schiff.

⁹⁷ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 112

⁹⁸ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 112

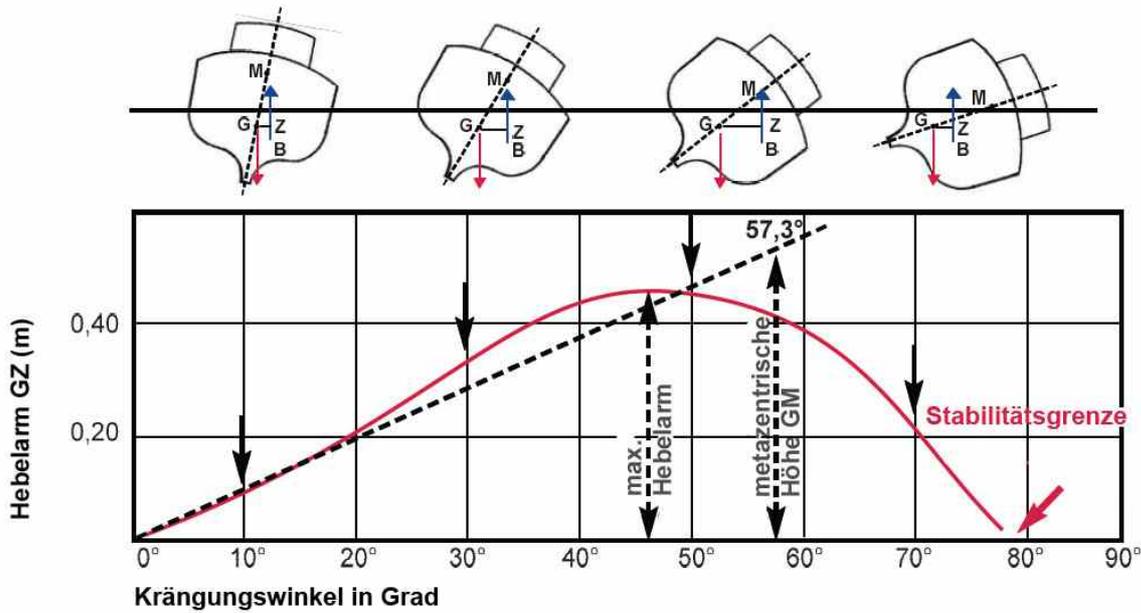


Abbildung 3.19: Veränderung des Hebelarmes bei unterschiedlicher Krängung⁹⁹

Die Hebelarmkurven zeigen graphisch, wie sich der Hebelarm (GZ) durch die Krängung des Schiffes verändert.¹⁰⁰

3.6.6.1 Veränderung der Schwerpunktlage

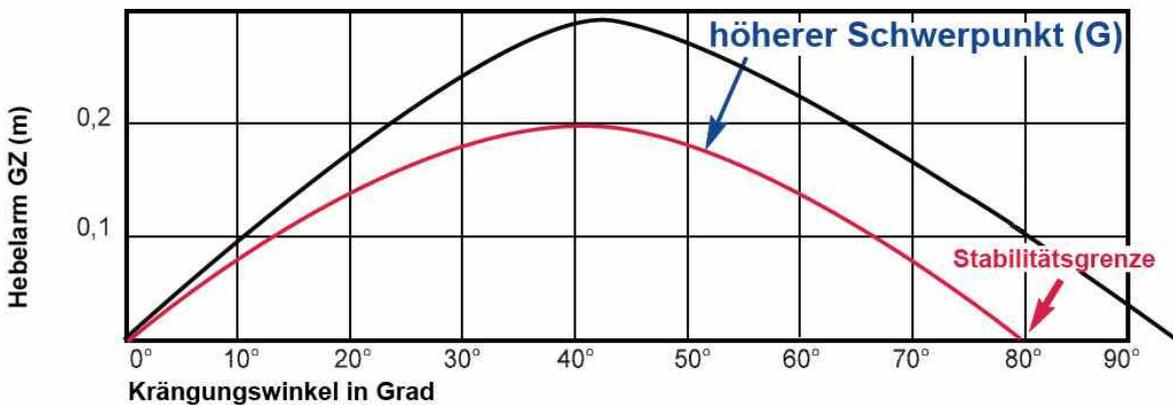


Abbildung 3.20: Hebelarmkurve bei veränderter Schwerpunktlage¹⁰¹

Ein höherer Schwerpunkt G bedeutet eine geringere metazentrische Höhe GM und einen niedrigeren Hebelarmwert GZ (siehe auch Abbildung 3.5 auf Seite 15). Weiters verkleinern sich der Stabilitätsumfang und die Fläche unter der Hebelarmkurve.¹⁰²

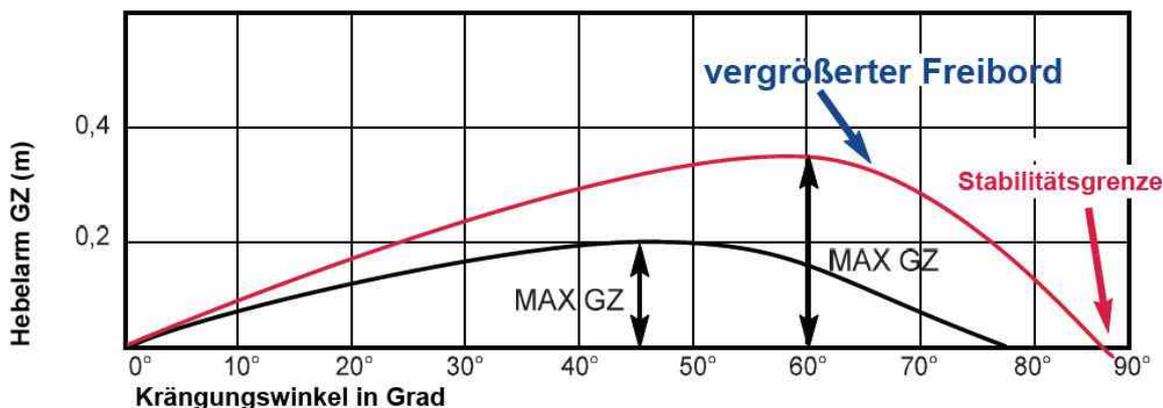
⁹⁹ [5] http://plato.is/stabilitt_von_fischerbooten/hebelarm/; abgerufen am 16.02.2016

¹⁰⁰ [5] http://plato.is/stabilitt_von_fischerbooten/hebelarm/; abgerufen am 16.02.2016

¹⁰¹ [5] http://plato.is/stabilitt_von_fischerbooten/hebelarm/; abgerufen am 16.02.2016

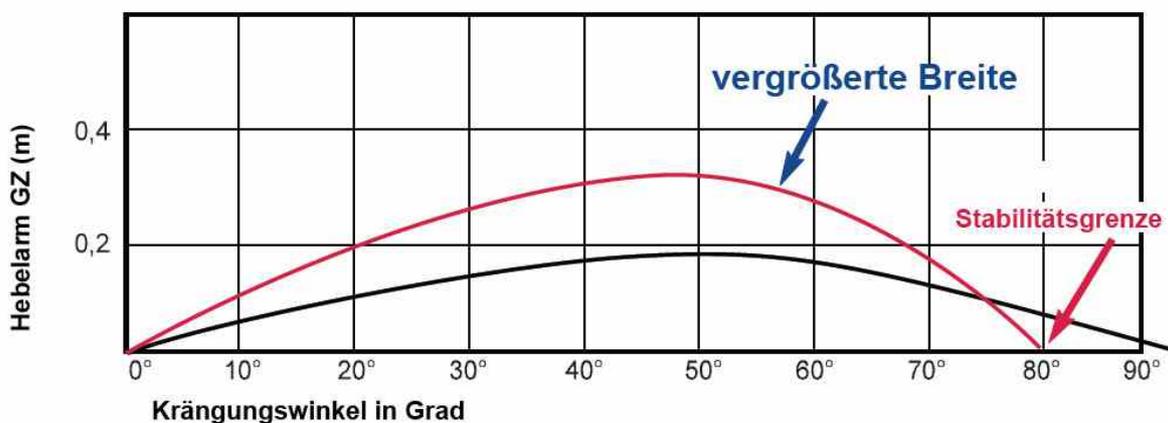
¹⁰² [5] http://plato.is/stabilitt_von_fischerbooten/hebelarm/; abgerufen am 16.02.2016

3.6.6.2 Vergrößerung des Freibordes

Abbildung 3.21: Hebelarmkurve bei Erhöhung des Freibordes¹⁰³

Durch weniger Ladung wird der Tiefgang verringert und der Freibord vergrößert. Dadurch steigen bei zunehmender Krängung die Hebelarmwerte GZ. Es kommt zu einer Verschiebung der Stabilitätsgrenze φ_d . Das Schiff toleriert eine größere Krängung.¹⁰⁴

3.6.6.3 Vergrößerung der Schiffsbreite

Abbildung 3.22: Hebelarmkurve bei Vergrößerung der Schiffsbreite¹⁰⁵

Die Schiffsbreite hat unter anderem maßgeblichen Einfluss auf die Stabilitätskennwerte. Eine größere Breite des Schiffes führt dazu, dass die metazentrische Höhe GM und die Hebelarmwerte GZ zunehmen. Die Stabilitätsgrenze hingegen verringert sich und das Schiff kann bereits bei einem geringeren Krängungswinkel kentern.¹⁰⁶

¹⁰³ [5] http://plato.is/stabilitt_von_fischerbooten/hebelarm/; abgerufen am 16.02.2016

¹⁰⁴ [5] http://plato.is/stabilitt_von_fischerbooten/hebelarm/; abgerufen am 16.02.2016

¹⁰⁵ [5] http://plato.is/stabilitt_von_fischerbooten/hebelarm/; abgerufen am 16.02.2016

¹⁰⁶ [5] http://plato.is/stabilitt_von_fischerbooten/hebelarm/; abgerufen am 16.02.2016

3.7 Stabilitätsbelastungen

Schiffe und schwimmende Anlagen sind vielen stabilitätsgefährdenden Belastungen ausgesetzt. Wesentliche Belastungen sind unter anderem Wind, Eisbildung, übergehende Ladung und hängende Lasten. Weiters können durch freie Oberflächen in teilweise gefüllten Tanks bei Krängung des Schiffes und damit verbundener Schwerpunktverlagerung des Tankinhaltes zusätzliche erhebliche krängende Momente auftreten.

In den nachfolgenden Kapiteln wird auf die einzelnen Belastungen näher eingegangen. Ebenso werden die möglichen Gefahren erläutert und Berechnungsmodelle erklärt.

Zunächst wird die Belastung durch Wind genauer behandelt.

3.7.1 Belastung durch Wind – Winddruckhebel

Wie in den Kapiteln zuvor wird zur Stabilitätsbeurteilung das aufrichtende Moment mit dem krängenden Moment verglichen.

Dazu muss das krängende Moment, in diesem Fall das Winddruckmoment, berechnet werden.

3.7.1.1 Windlasten

Gemäß ÖNORM EN 14504 idgF ist für schwimmende Konstruktionen folgende Windlast w anzusetzen:

$$w = c_f * q^{107} \quad (3-58)$$

Dabei sind:¹⁰⁸

w die Windlast in Kilonewton pro Quadratmeter (kN/m^2)

c_f der Druckkraftbeiwert; $c_f = 1,3$

q der Windstaudruck; $q = 0,5$ Kilonewton pro Quadratmeter

Auf die ÖNORM EN 14504 wird im Kapitel 7 ab Seite 97 näher eingegangen.

3.7.1.2 Herleitung des krängenden Momentes und des reduzierten Hebels

Die resultierende Winddruckkraft F_w gemessen in der Einheit Kilonewton (kN) ergibt sich aus:

$$F_w = w * A_0 \quad (3-59)$$

Als Fläche A_0 wird die Überwasserlateralfäche (= Windangriffsfläche) bezeichnet. Die Winddruckkraft F_w greift am Überwasserlateralschwerpunkt (= Schwerpunkt der

¹⁰⁷ [4] ÖNORM EN 14504–Ausgabe: 2009-06-01; A.11 Windlast; Seite 20

¹⁰⁸ [4] ÖNORM EN 14504–Ausgabe: 2009-06-01; A.11 Windlast; Seite 20

Windangriffsfläche) an. Der Abstand von der Wasserlinie zum Überwasserlateral-schwerpunkt wird mit h bezeichnet (siehe Abbildung 3.23 und Abbildung 3.24).¹⁰⁹

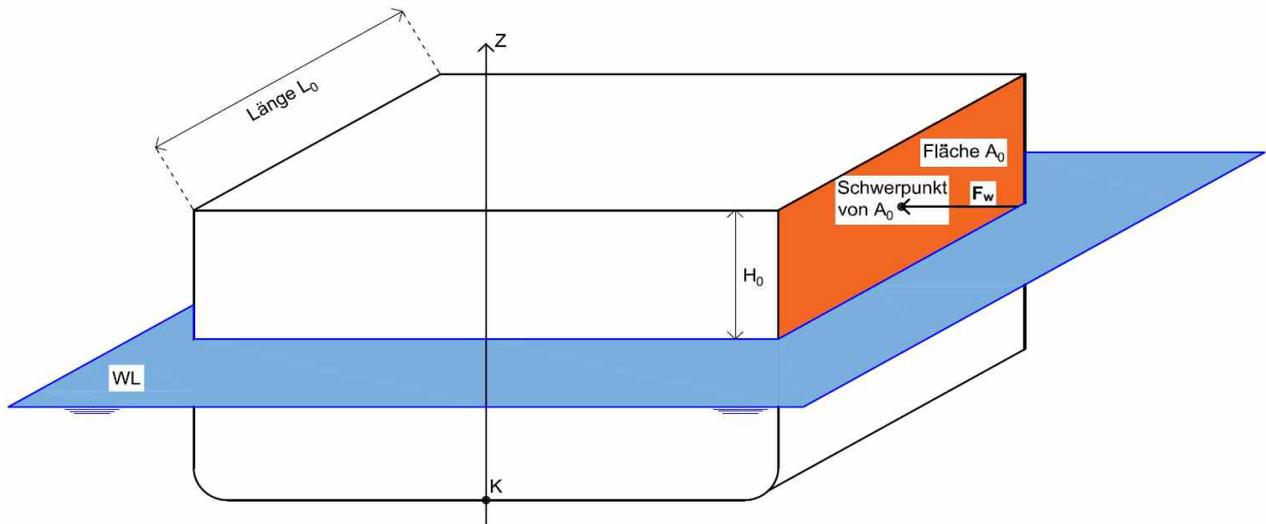


Abbildung 3.23: Angriffspunkt der Winddruckkraft F_w – schematische 3D-Skizze¹¹⁰

Für die folgende Herleitung wird erneut die Projektion auf die Querschiffsebene betrachtet (siehe Abbildung 3.24).

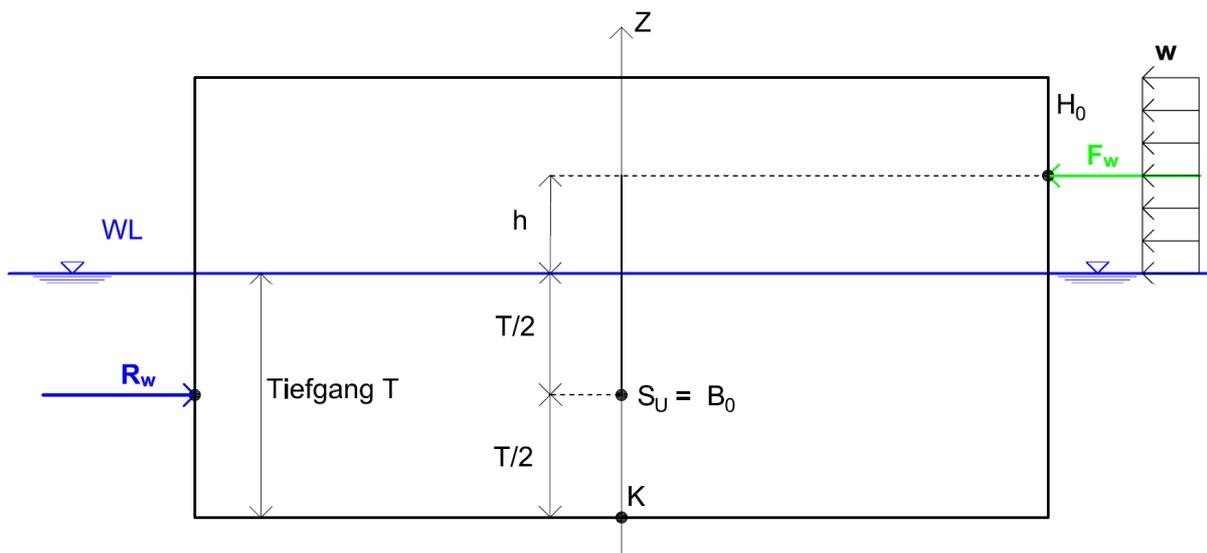


Abbildung 3.24: Querschiffsebene – Windangriffspunkt und Hebelarm für krägendes Moment¹¹¹

Der Angriffspunkt der Reaktionskraft R_w des Wassers liegt bei diesem Schiffsquerschnitt auf Höhe des halben Tiefganges und entspricht somit dem Schwerpunkt der Unterwasserlateralfäche S_U bzw. dem Auftriebsschwerpunkt B_0 .¹¹²

¹⁰⁹ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 178

¹¹⁰ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 178

¹¹¹ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 179

¹¹² [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 55

Der Hebelarm für die Berechnung des krängenden Momentes setzt sich somit aus den Strecken $h + T/2$ zusammen. Die Multiplikation der resultierenden Winddruckkraft F_w mit dem Hebelarm ergibt das krängende Moment $M_{K-W}(\varphi)$.

$$M_{K-W}(\varphi) = F_w * \left(h + \frac{1}{2} T \right)^{113} \quad (3-60)$$

Um aussagekräftige Vergleiche anstellen zu können, wird aus dem krängenden Moment zufolge Windbelastung der krängende Hebel berechnet.

Für den krängenden Hebel wird der Begriff des „reduzierten Hebels“ l_w (leverarm wind) eingeführt. Dieser ergibt sich zu:

$$l_w(\varphi) = \frac{M_{K-W}(\varphi)}{\nabla * \rho * g} \quad (3-61)$$

Bei zunehmender Krängung des Schiffes ändert sich auch die Windangriffsfläche. Aufgrund der Krängung des Schiffes taucht der Schwimmkörper auf der windzugewandten Seite aus. Dadurch kommt es zur Vergrößerung der Windangriffsfläche.

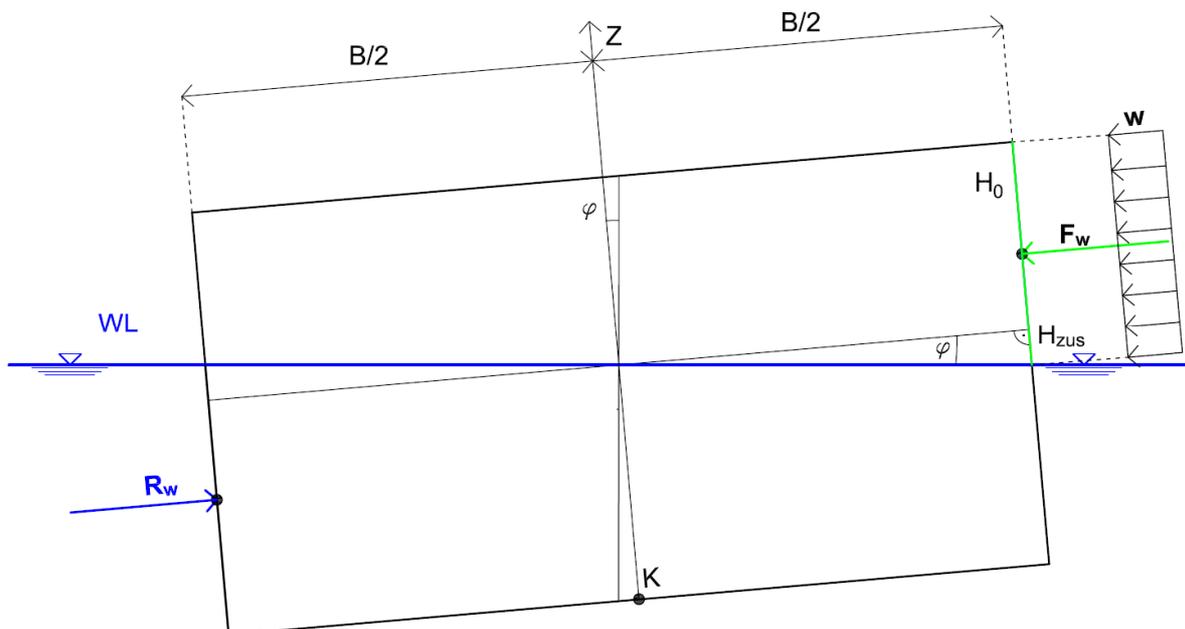


Abbildung 3.25: Krängung durch Windbelastung¹¹⁵

Aufgrund der geometrischen Beziehungen laut Abbildung 3.25 ergibt sich die Höhe des austauchenden Schiffskörpers zu:

¹¹³ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 181

¹¹⁴ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 181

¹¹⁵ [30] Kolar

$$H_{zus} = \frac{B}{2} * \tan(\varphi) \quad (3-62)$$

Die gesamte Höhe für die Ermittlung der Windangriffsfläche im gekrängten Zustand ergibt sich aus den Höhen H_0 und H_{zus} .

Weitere Ausführungen in Zusammenhang mit Windlasten sind auch der Diplomarbeit „Bauen am Wasser“ von DI Andreas Loy Kapitel 5.3.5 „Windlasten für schwimmende Anlagen mit Aufbauten“ zu entnehmen.

3.7.2 Belastung durch Eisbildung

Neben Belastung durch Wind stellt Eisbildung eine weitere potentielle Gefährdung für schwimmende Anlagen und Schiffe dar. Wesentliche, durch Eisbildung verursachte Probleme können u.a. die Stabilitätsgefährdung der Anlage, die Gefahr von Kollisionen mit Eis sowie die Beschädigung der Anlage durch Eisstöße sein.¹¹⁶

Eine Vereisung zentraler Teile einer schwimmenden Anlage kann sehr schnell zu einem Abbau der Stabilität führen, da sich durch das zusätzliche Gewicht des Eises der Abstand Kiel - Gewichtsschwerpunkt vergrößern kann. Mögliche Ursachen für eine großflächige Vereisung von schwimmenden Anlagen sind:

- **Raureif:**
Unter Raureif ist ein Eisansatz zu verstehen, der sich aus unterkühlten Wassertropfen von leichtem Nebel oder direkt aus dem in der Luft enthaltenen Wasserdampf bildet. Raureif bildet sich jedoch nur ab einer relativen Luftfeuchtigkeit von über 90% und einer Lufttemperatur von unter -8°C. Raureif wächst im Verhältnis zu den anderen erwähnten Eisarten grundsätzlich sehr langsam.¹¹⁷
- **Raueis:**
Bei Raueis handelt es sich um einen festen Niederschlag, der sich vor allem bei hohen Windgeschwindigkeiten und einer Lufttemperatur von zirka -2°C bis -10°C aus Nebelwassertröpfchen oder Gischt an Oberflächen bildet. Raueis bildet sich an der dem Wind zugewandten Seite (Luv). Im Gegensatz zu solidem Klareis ist eine Schicht Raueis vergleichsweise locker, da eine große Zahl von Luftbläschen im Gefüge eingeschlossen ist. Raueis bildet sich bevorzugt an Freileitungen, Ästen, Abspannungen und dergleichen. Hier kann es durch die oft nicht unerhebliche zusätzliche Gewichtsbelastung zu Schäden kommen.¹¹⁸
- **Klareis – gefrierender Regen / Gischt**
Als Klareis wird in der Meteorologie eine wetterbedingte Eisablagerung, die sich als völlig durchsichtiges Eis bei gefrierendem Regen, Sprühregen und

¹¹⁶ [8] Wand: Schiffstheorie Band II, Seite 260

¹¹⁷ [16] Häckel: Wetter & Klimaphänomene, Seite 232

¹¹⁸ [14] Der Privatflugzeugführer – Metrologie, Seite 107

ähnlichem Niederschlag bildet, bezeichnet. Klareis bildet sich neben Niederschlag auch bei ausreichend kalter Luft und entsprechend lang anhaltenden starken Kältephasen alleine durch die Verdunstung des Wassers ebenso auf Pflanzen, die an oder über offenen Gewässern wachsen.¹¹⁹

Klareis ist grundsätzlich als gefährlicher einzustufen als etwa Raureif oder Raueis, da es eine höhere Dichte und Festigkeit aufweist und die Eisbildung in der Regel durchwegs schneller abläuft.¹²⁰



Abbildung 3.26: Bildung von Klareis an Grashalmen¹²¹

An dieser Stelle sei auf die Diplomarbeit von DI Andreas Loy verwiesen, der in Kapitel 5.3.4 „Eislast und kombinierte Einwirkung aus Eis und Wind“ die Berechnung von Eislasten und die Ansätze bei der Kombination von Eis und Wind behandelt.

3.7.3 Übergehende Ladung

Unter dem Ausdruck „Übergehen“ von Ladung versteht man grundsätzlich das Verutschen einer Ladung an Bord eines Schiffes bzw. auf einer schwimmenden Anlage. Dies kann wetterbedingt beispielsweise durch hohen Seegang oder starken Wind verursacht werden. Je nach Gewicht der Ladung bzw. dem Ausmaß des Übergehens der Ladung kann dies eine Krängung des Schiffes bzw. der schwimmenden Anlage zur Folge haben. Es kommt dabei zu einer Schwerpunktverschiebung von G nach G'

¹¹⁹ [16] Häckel: Wetter & Klimaphänomene, Seite 230

¹²⁰ [15] Struber: Flugwetterkunde Seite 106

¹²¹ [42] Annemarie Kolar; Aufnahmedatum: 03.12.2014

(siehe Abbildung 3.27). In diesem Fall sind der auftretende Krängungswinkel, das krängende Moment und die verbleibende Reststabilität wie folgt zu bestimmen:¹²²

- Vereinfachte Ermittlung des Krängungsmomentes bei kleinen Neigungswinkeln durch Multiplikation des Verschiebewegs e_H und der Masse m der übergegangenen Ladung.
- Berechnung der Schwerpunktverschiebung des Gesamtschwerpunktes von Schiff und übergegangener Ladung mit Hilfe des Schwerpunktverschiebungssatzes (siehe Kapitel 3.7.3.2).
- Bestimmung der dadurch hervorgerufenen Veränderung der Hebelarmkurve

Im Frachtraum eines Schiffes mit der Breite B und der Länge L sei eine Bulkladung (= Schüttgutladung) übergegangen und die Oberfläche habe sich um den Winkel β (= Oberflächenwinkel) verschoben.

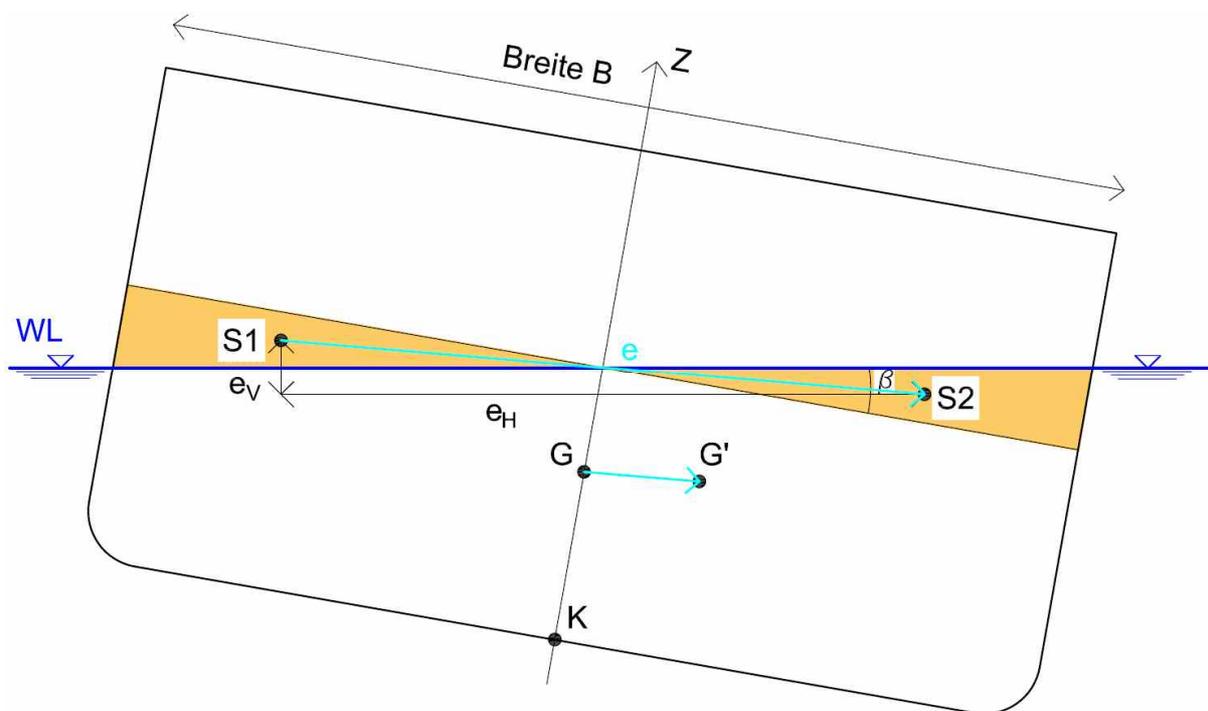


Abbildung 3.27: Übergehende Ladung im Frachtraum eines Schiffes¹²³

Bedingt durch das Übergehen der Ladung ist die Masse m des schraffierten Keiles um die Strecke e verschoben. Eine ähnliche Situation zeigt Abbildung 3.6 im Kapitel 3.5.1 „Berechnung von M_A durch das ein- und austauchende Volumen“.

3.7.3.1 Krängungsmoment zufolge übergehender Ladung

Wie in Kapitel 3.5.1 wird zunächst das Krängungsmoment für kleine Neigungswinkel nur aus dem horizontalen Verschiebungsanteil e_H berechnet.¹²⁴

¹²² [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 142

¹²³ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 142

¹²⁴ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 144

Für Krängungswinkel von $\varphi > 5$ Grad ist eine exakte Berechnung nach Kapitel 3.5.1 durchzuführen. Im Folgenden wird die Berechnung nach dem vereinfachten Verfahren für kleine Neigungswinkel von kleiner gleich fünf Grad erläutert.

$$M_{Kr} = m * e_H \quad ^{125} \quad (3-63)$$

Für die vereinfachte Berechnung ergibt sich der Hebelarm e_H aus Gleichung (3-17) zu:

$$e_H = \frac{2}{3} B \quad ^{126} \quad (3-64)$$

Die Masse m des Keilstückes errechnet sich durch Multiplikation der Dichte des Schüttgutes mit dem Keilvolumen nach Gleichung (3-14).

$$m = \rho * V \quad (3-65)$$

$$V = V_1 = V_2 = L * \frac{1}{2} * \frac{B}{2} * \frac{B}{2} * \tan(\beta) \quad ^{127} \quad (3-14)$$

$$m = \rho * L * \frac{1}{2} * \frac{B}{2} * \frac{B}{2} * \tan(\beta) \quad (3-66)$$

Somit ergibt sich das Krängungsmoment zu:

$$M_{Kr} = m * e_H = \rho * L * \frac{1}{2} * \frac{B}{2} * \frac{B}{2} * \tan(\beta) * \frac{2}{3} B = \frac{L * B^3}{12} * \rho * \tan(\beta) \quad ^{128} \quad (3-67)$$

Nach Umschreiben der Gleichung (3-67) in

$$M_{Kr} = V * \rho * e_H = \frac{L * B^3}{12} * \rho * \tan(\beta), \quad (3-68)$$

Kürzen von ρ und Umformen auf den Ausdruck $V * e_H$ erhält man

$$V * e_H = \frac{L * B^3}{12} * \tan(\beta) = VHM \quad ^{129} \quad (3-69)$$

¹²⁵ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 142

¹²⁶ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 144

¹²⁷ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 89

¹²⁸ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 145

¹²⁹ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 146

Der Term V^*e_H in Gleichung (3-69) ist ein Volumenmoment (Volumen mal Verschiebungsstrecke) und wird daher auch als VHM (=volumetric heeling moment) bezeichnet. Die Einheit ist analog zum Breitenträgheitsmoment m^4 .¹³⁰

Durch den Zusammenhang von Krängungswinkel φ , Schüttwinkel α und Oberflächenwinkel β lässt sich letzterer für ausgewählte Massengüter ausdrücken:¹³¹

$$\beta = \varphi - \alpha \quad (3-70)$$

Einige häufig vorkommende Schüttwinkel sind in Tabelle 3.5 zusammengefasst:

Massengut	Schüttwinkel
Flüssigkeiten	0°
bindiger Boden (Ton, Schluff)	25°
Sand, Kies, Kiessand	30°
Kartoffeln, Getreide, Kaffee- Kakaobohnen	30°
Braunkohle, Blähton, Zucker, Steinsalz,	35°
Bauschutt, Kunstdünger, scharfkantiges Geröll, Erze	40°
Brantkalk in Stücken, Koks, Mehl	45°

Tabelle 3.5: Typische Schüttwinkel von Massengütern¹³²

3.7.3.2 Schwerpunktverschiebung von G nach G'

Mit Hilfe des Schwerpunktverschiebungssatzes kann die Verschiebung des Gesamtschwerpunktes G von Schiff und übergegangener Ladung berechnet werden.

Der Schwerpunktverschiebungssatz wurde bereits in Kapitel 3.5.4 genau behandelt. Er besagt, dass sich der Schwerpunkt eines Körpers bei der Verlagerung einer Einzelkomponente um eine solche Strecke verschiebt, dass das Gesamt-Verschiebemoment gleich dem Einzel-Verschiebemoment ist. Der Verschiebeweg des Gesamtschwerpunktes ist parallel zum Verschiebeweg des Schwerpunktes der Einzelmasse.¹³³

Die Strecke beziehungsweise der Vektor $\overline{GG'}$ ist das Produkt aus verschobener Einzelmasse m und Verschiebeweg $e = \overline{S1S2}$ dividiert durch die Gesamtmasse D des Körpers.

Somit lässt sich mit Hilfe des Schwerpunktverschiebungssatzes die Lage des neuen Gesamtschwerpunktes G' berechnen.

Die Koordinaten des Gesamtschwerpunktes G vor dem Übergehen der Ladung sind bekannt. Aus der Momentenrechnung oder dem Krängungsversuch ist auch die

¹³⁰ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 146

¹³¹ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 54

¹³² [7] Krapfenbauer: Bautabellen, Seite 161ff

¹³³ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 15

vertikale Koordinate des Punktes G bekannt bzw. während des Betriebes ermittelt worden.

Die Verschiebung von Punkt G nach G' lässt sich in eine horizontale Komponente G_h und eine vertikale Komponente G_v zerlegen.

Der horizontale Verschiebungsanteil G_h ergibt sich nach Anwendung des Schwerpunktverschiebungssatzes und unter Berücksichtigung der Gleichungen (3-17) der vereinfachten Berechnungsmethode und (3-66) zu

$$G_h = \frac{m * e_H}{Depl} = \frac{\rho * L * \frac{1}{2} * \frac{B}{2} * \frac{B}{2} * \tan(\beta) * \frac{2}{3} * B}{Depl} = \frac{\rho * \frac{L * B^3}{12} * \tan(\beta)}{Depl} \quad (3-71)$$

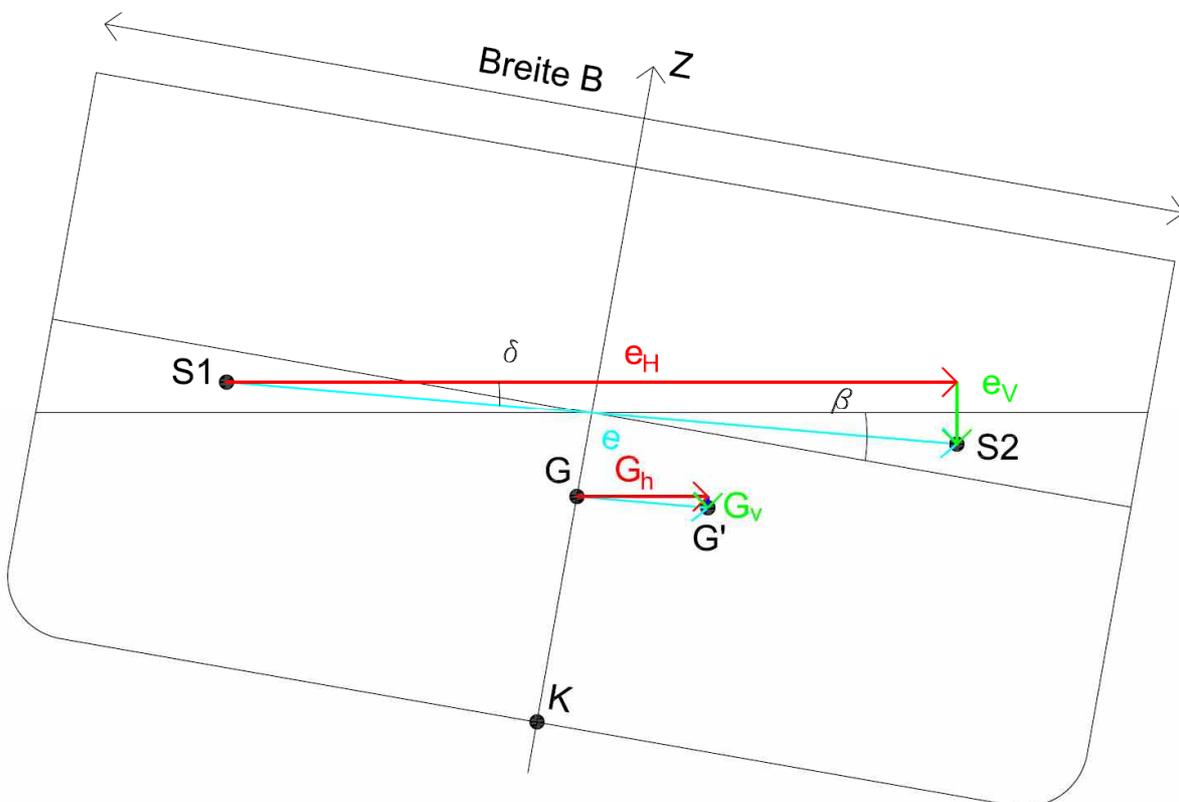


Abbildung 3.28: Verschiebung des Gesamtschwerpunktes von G nach G'¹³⁵

Der bereits bekannte Term $\frac{L * B^3}{12}$ wird als das Breitenträgheitsmoment I_B der Ladungsoberfläche definiert. Somit lässt sich Gleichung (3-71) auch wie folgt anschreiben:

$$G_h = \frac{I_B * \rho}{Depl} * \tan(\beta) \quad (3-72)$$

¹³⁴ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 149

¹³⁵ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 148

¹³⁶ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 150

Durch die geometrischen Beziehungen in Abbildung 3.28 lässt sich der vertikale Verschiebungsweg e_v von Punkt S nach S' unter Berücksichtigung der Gleichungen (3-21) bis (3-24) mit

$$\delta = \beta - \gamma \quad (3-73)$$

wie folgt ausdrücken:

$$e_v = e_H * \tan(\delta) = \frac{2}{3} * B * \tan(\delta) \quad (3-74)$$

Der vertikale Verschiebungsanteil G_v ergibt sich nach Anwendung des Schwerpunktverschiebungssatzes und unter Berücksichtigung der Gleichungen (3-17), (3-66) und (3-74) zu:

$$G_v = \frac{m * e_v}{Depl} = \frac{\rho * L * \frac{1}{2} * \frac{B}{2} * \frac{B}{2} * \tan(\beta) * \frac{2}{3} * B * \tan(\delta)}{Depl} \quad (3-75)$$

Setzt man analog zum horizontalen Abstand für den Term $\frac{L*B^3}{12}$ das Breitenträgheitsmoment I_B ein, so ergibt sich Gleichung (3-75) zu:

$$G_v = \frac{\rho * \frac{L * B^3}{12} * \tan(\beta) * \tan(\delta)}{Depl} = \frac{I_B * \rho}{Depl} * \tan(\beta) * \tan(\delta) \quad (3-76)$$

Vergleicht man die Ausdrücke für die horizontalen und vertikalen Abstände in den Gleichungen (3-72) und (3-76) so geht eindeutig hervor, dass vor allem bei kleinen Krängungswinkeln $G_v \ll G_h$ gilt, da beim vertikalen Anteil der ohnehin schon kleine Wert des Tangens β nochmals mit dem Tangens des kleineren Winkels δ multipliziert wird.

Zur Veranschaulichung sind in Tabelle 3.6 einige exemplarische Werte für die Terme Tangens β und Tangens β zum Quadrat angegeben.

$\tan(5)=$	0,087	$\tan(10)=$	0,176	$\tan(20)=$	0,364	$\tan(30)=$	0,577	$\tan(40)=$	0,839
$\tan^2(5)=$	0,008	$\tan^2(10)=$	0,031	$\tan^2(20)=$	0,132	$\tan^2(30)=$	0,333	$\tan^2(40)=$	0,704

Tabelle 3.6: Exemplarische Werte für Tangens und Tangens²

3.7.3.3 Einfluss der Schwerpunktverschiebung auf die Hebelarmkurve

Um den Einfluss der Schwerpunktverschiebung auf die Hebelarmkurve zu bestimmen, muss zunächst der neue aufrichtende Hebel $\overline{G'Z'}(\varphi)$ (siehe Abbildung 3.29) berechnet werden.

Wie aus der Abbildung 3.29 hervorgeht, gilt:

$$\overline{G'Z'}(\varphi) = \overline{GZ}(\varphi) - G_h(\varphi) \quad (3-77)$$

Durch Einsetzen der Gleichungen (3-12) und (3-72) in die Gleichung (3-77) ergibt sich der neue aufrichtende Hebel zu:

$$\overline{G'Z'}(\varphi) = \overline{GZ}(\varphi) - G_h(\varphi) = \overline{GM}(\varphi) * \sin(\varphi) - \frac{I_B * \rho}{Depl} * \tan(\varphi) \quad (3-78)$$

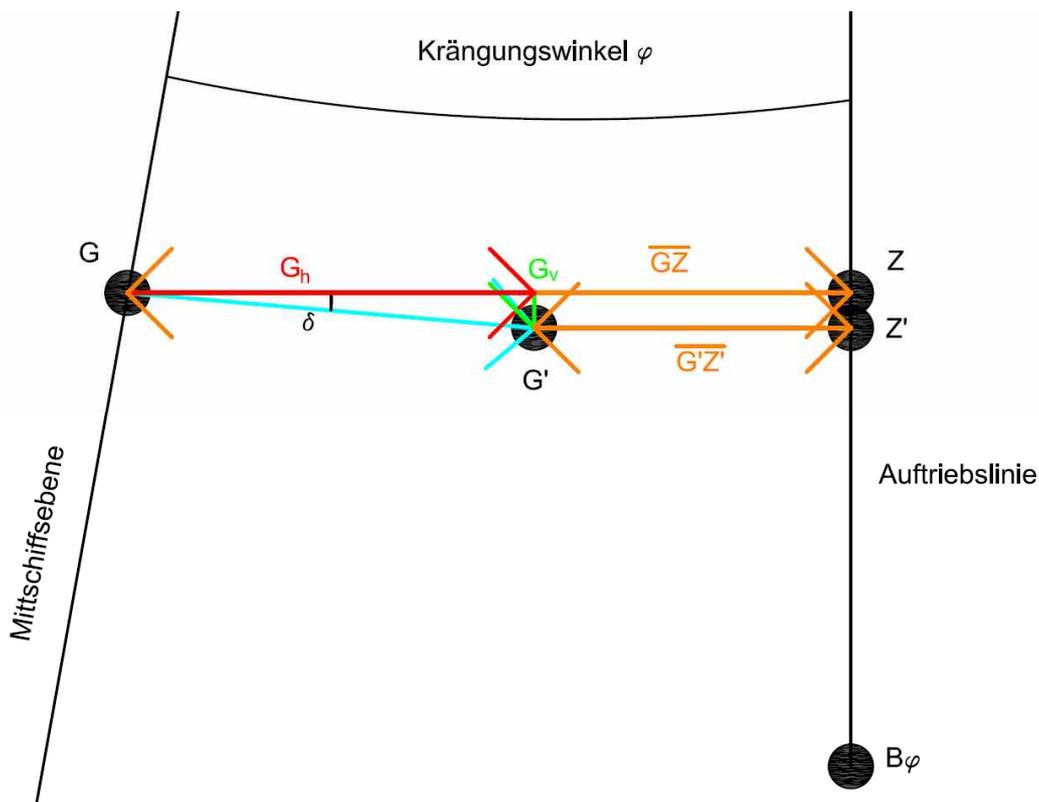


Abbildung 3.29: Detailskizze – Schwerpunktsverschiebung von G nach G'¹³⁷

Als Kurve der Reststabilität kann die folgende Funktion definiert werden:

$$\overline{G'Z'}(\varphi) = \overline{GZ}(\varphi) - G_h(\varphi) \quad (3-79)$$

3.7.4 Freie Oberflächen

Auch durch freie Oberflächen kann ein Schiff bzw. eine schwimmende Anlage ein zusätzliches krängendes Moment erfahren. Als freie Oberfläche werden in der Regel Flüssigkeiten bezeichnet, die sich in nur zum Teil gefüllten Behältern oder Tanks an Bord eines Schiffes befinden und sich frei ausspiegeln können.

¹³⁷ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 152

Im Folgenden werden nur die zentralen Kriterien für die Berechnung der Einflüsse von freien Oberflächen erläutert.

Grundsätzlich sind freie Oberflächen wie eine übergehende Ladung zu behandeln.

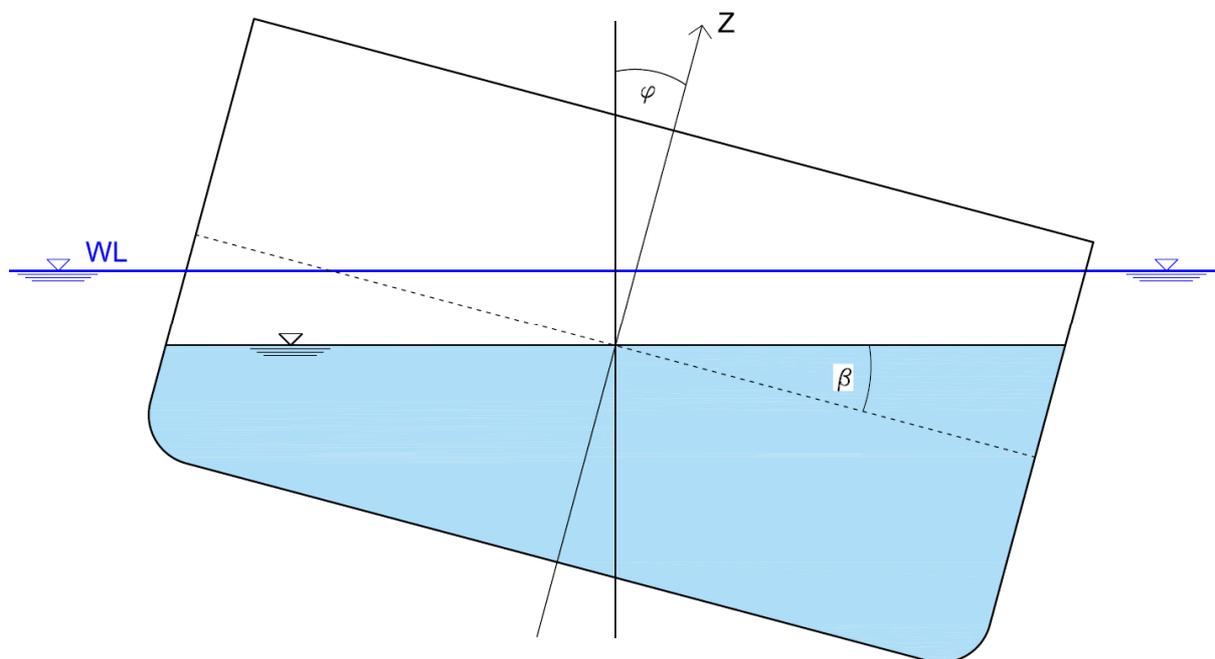


Abbildung 3.30: Gekrängter Schiffsquerschnitt mit ausgespiegelter freier Oberfläche¹³⁸

Da es sich hier bei dem übergehenden Stoff um eine Flüssigkeit handelt, muss der Oberflächenwinkel β gleich dem Krängungswinkel φ sein. Dynamische Aspekte bleiben bei der folgenden Herleitung unberücksichtigt.¹³⁹

Für die Berechnung wird die Gleichung (3-72) aus dem vorangegangenen Kapitel herangezogen. Diese Gleichung beschreibt den krängenden Hebel für übergegangene Ladung bei kleinen Neigungswinkeln und kann auch bei freien Oberflächen angewendet werden.

$$G_h = \frac{I_B * \rho}{Depl} * \tan(\delta) \quad (3-72)$$

3.7.5 Hängende Lasten

Unter einer hängenden Last versteht man grundsätzlich eine durch einen schiffseigenen Kran angehobene Last.

Zunächst wird in Kapitel 3.7.5.1 nur das Anheben von Lasten behandelt und die daraus resultierende Verschiebung des Gesamtschwerpunktes bestimmt.

¹³⁸ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 165

¹³⁹ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 165

¹⁴⁰ [2] Wand: Schiffstheorie Band I, Seite 150

In Abschnitt 3.7.5.2 werden die Auswirkungen von ausgeschwenkten hängenden Lasten näher behandelt.

3.7.5.1 Anheben von Lasten

Wenn eine Masse m_H vom schiffseigenen Kran angehoben wird, verschiebt sich der Kraftangriffspunkt von der Startposition in die um Δz höher gelegene Umlenkrolle des Kranauslegers. Dadurch kommt es zu einer Schwerpunkterhöhung des Schiffes. Der Abstand \overline{GM} wird kleiner und die Stabilität des Schiffes wird vermindert.¹⁴¹

Für die Berechnung kommt der bereits in Kapitel 3.5.4 beschriebene Schwerpunktverschiebungssatz zur Anwendung.

Da die Masse m_H nur eine vertikale Bewegung erfährt und vorerst noch nicht ausgeschwenkt wird, kann Gleichung (3-41) wie folgt adaptiert werden:

$$\overline{GG'} = \frac{m_H * \Delta z}{Depl} \quad (3-80)$$



Abbildung 3.31: Anheben einer Last durch den schiffseigenen Kran¹⁴³

Abbildung 3.31 zeigt das Wasserbau- und Bergeschiff „Drei Gebrüder“ bei Arbeiten an der Donau auf Höhe des Kremser Hafens. Mit einer Länge von 125,0 Metern,

¹⁴¹ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 51

¹⁴² [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 51

¹⁴³ [43] Manfred Kolar, Aufnahme datum: 31.03.2016

einer Breite von 11,40 Metern und einem Displacement von fast 3.300 Tonnen ist die „Drei Gebrüder“ eines der größten Wasserbau- und Bergeschiffe auf der Donau.¹⁴⁴

3.7.5.2 Anheben und Ausschwenken von hängenden Lasten

Abbildung 3.32 zeigt den Schwimmkran „DOKW-2“ bei Revisionsarbeiten am Verbund-Donaukraftwerk „Ybbs-Persenbeug.“

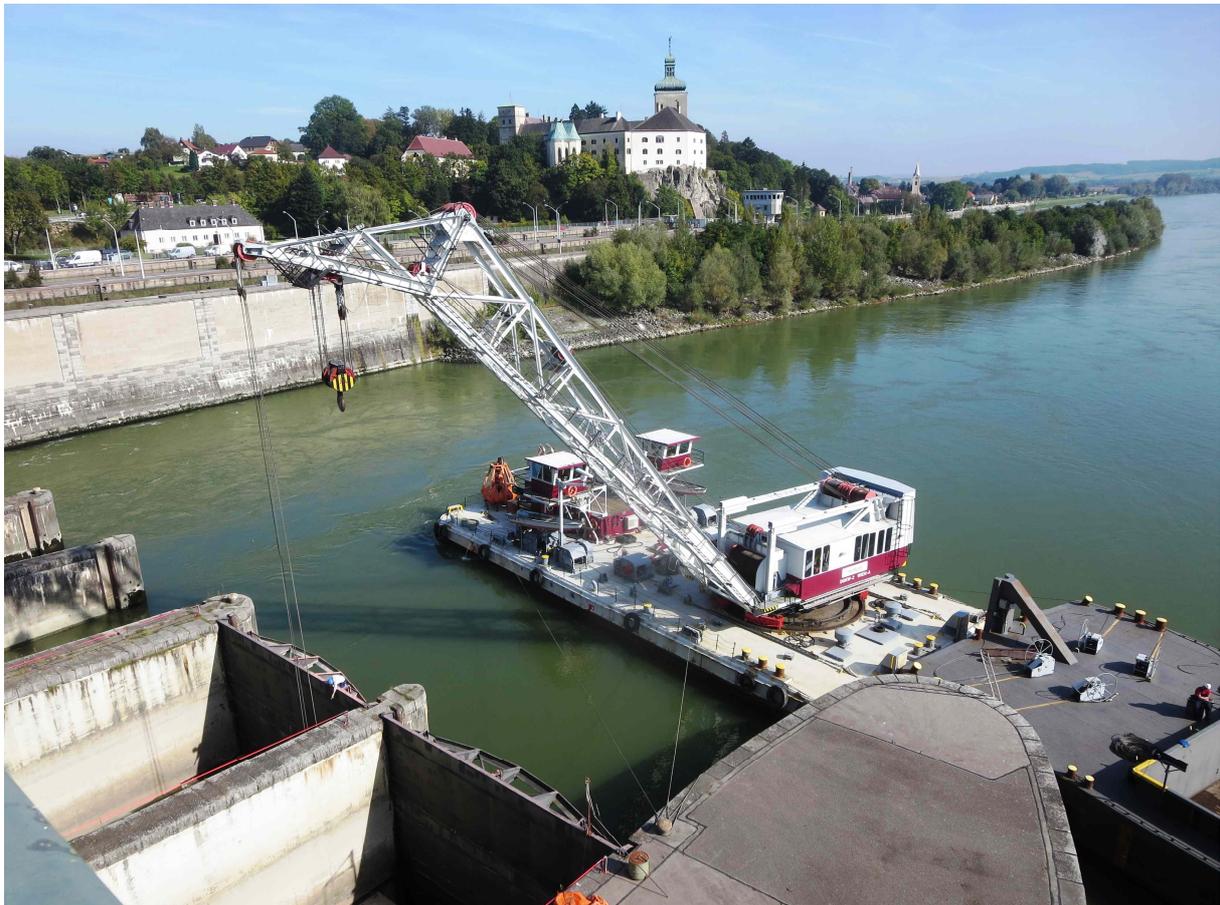


Abbildung 3.32: Schwimmkran „DOKW-2“ im Einsatz¹⁴⁵

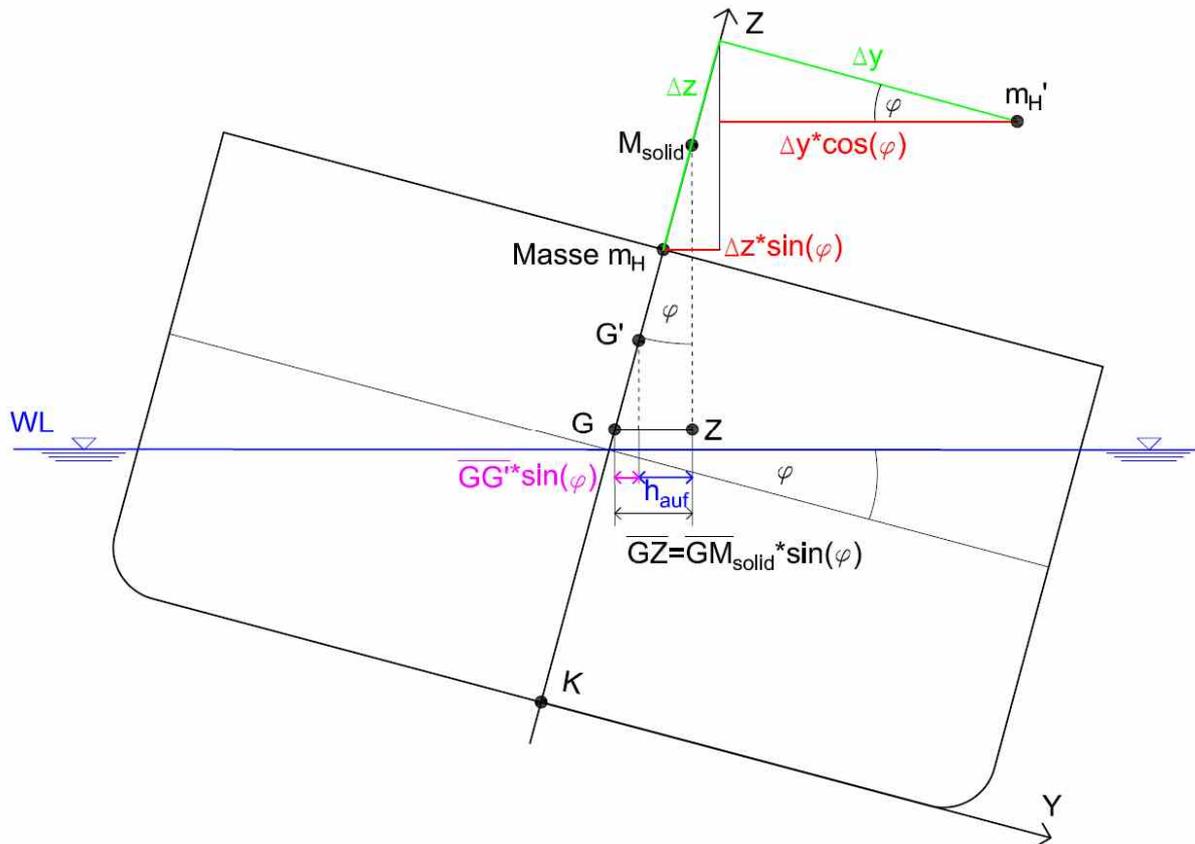
Wird eine hängende Last m_H vom schiffseigenen Kran angehoben und in weiterer Folge zur Seite ausgeschwungen, so entsteht ein nicht unerhebliches krängendes Moment und das Schiff neigt sich um den Krängungswinkel φ .

Die Berechnung des Krängungswinkels erfolgt durch Gleichsetzen des krängenden und des aufrichtenden Hebels.

Wie in Abbildung 3.33 ersichtlich ist, wird die Masse m_H um die Strecke Δz angehoben und um die Strecke Δy seitlich ausgeschwenkt.

¹⁴⁴ [44] <https://www.brandner.at/de/ueber-uns/geschichte/> ; abgerufen am 26.04.2016

¹⁴⁵ [30] Kolar, Aufnahmedatum: 29.09.2014

Abbildung 3.33: Ausschwenken einer hängenden Last m_H ¹⁴⁶

Der krängende Hebel ergibt sich wie beim Krängungsversuch (siehe Kapitel 3.5.5) durch Masse mal Verschiebungsweg dividiert durch das Displacement.

$$h_{kr} = \frac{m_H * (\Delta z * \sin(\varphi) + \Delta y * \cos(\varphi))}{Depl} \quad (3-81)$$

Der neue aufrichtende Hebel h_{auf} ergibt sich durch Multiplikation von der Strecke $\overline{GM_{solid}}$ (Strecke vom ursprünglichen Gewichtsschwerpunkt G zum ursprünglichen Metazentrum M_{solid}) mit dem Sinus des Krängungswinkels φ unter Berücksichtigung der Schwerpunktverschiebung von G nach G'.

$$h_{auf} = \overline{GM_{solid}} * \sin(\varphi) - \overline{GG'} * \sin(\varphi) \quad (3-82)$$

Das Gleichsetzen der Gleichungen (3-81) und (3-82) unter Berücksichtigung von Gleichung (3-80) ergibt:

$$\overline{GM_{solid}} * \sin(\varphi) - \frac{m_H * \Delta z}{Depl} * \sin(\varphi) = \frac{m_H * (\Delta z * \sin(\varphi) + \Delta y * \cos(\varphi))}{Depl} \quad (3-83)$$

¹⁴⁶ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 51

¹⁴⁷ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 51

¹⁴⁸ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 51

Durch Umformen ergibt sich:

$$\left(\overline{GM}_{solid} - 2 * \frac{m_H * \Delta z}{Depl} \right) * \sin(\varphi) = \frac{m_H * \Delta y}{Depl} * \cos(\varphi) . \quad (3-84)$$

Durch Berücksichtigung von $\tan(\varphi) = \frac{\sin(\varphi)}{\cos(\varphi)}$ und neuerliches Umformen und Erweitern ergibt sich

$$\tan(\varphi) = \frac{\sin(\varphi)}{\cos(\varphi)} = \frac{\frac{m_H * \Delta y}{Depl}}{\frac{Depl * \overline{GM}_{solid} - 2 * m_H * \Delta z}{Depl}} . \quad (3-85)$$

Durch Auflösen des Doppelbruches ergibt sich der Tangens des Krängungswinkels zu:

$$\tan(\varphi) = \frac{m_H * \Delta y}{Depl * \overline{GM}_{solid} - 2 * m_H * \Delta z} \quad (3-86)$$

Die Stabilitätsgefährdung zufolge angehobener bzw. ausgeschwenkter Lasten kann nicht nur durch schiffseigene Kräne verursacht werden, sondern kann auch durch diverse andere Arbeitsgeräte, die sich an Bord einer schwimmenden Arbeitsplattform befinden, auftreten.



Abbildung 3.34: Schwimmende Arbeitsplattformen mit Baggern¹⁵¹

¹⁴⁹ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 52

¹⁵⁰ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 52

Bei Nassbaggerungen, die von einem Ponton aus erfolgen, wie beispielsweise in Abbildung 3.34 ersichtlich, können erhebliche krängende Momente auftreten.

In Abbildung 3.34 sind außerdem die sogenannte Einsenkungsmarke sowie die Freibordmarke (siehe Kapitel 6.2) deutlich zu erkennen.

3.7.6 Fahrgast – Hebel

Ebenso wie übergehende Ladung können auch Personen, die sich auf einer schwimmenden Anlage aufhalten, die Stabilität der Anlage gefährden.

Durch eine ungleichmäßige Verteilung dieser Personen auf schwimmenden Objekten kann ein nicht unwesentliches krängendes Moment entstehen, welches unter Umständen sogar die Stabilität des Schwimmkörpers massiv beeinträchtigen kann.

Dieses krängende Moment wird auch Personenmoment M_P genannt.

Gegeben sei eine schwimmende Anlage mit den Abmessungen gemäß Abbildung 3.35.

Die Anzahl der Personen, die sich auf der Anlage befinden, wird mit A bezeichnet. Es sei nun angenommen, dass sich alle auf der Anlage befindlichen Personen gesamt auf eine Seite der schwimmenden Anlage bewegen und sich dort aufhalten (siehe Abbildung 3.35).

Im Folgenden sind einige generelle Richtwerte für die Personendichte pro Quadratmeter angeführt:

- Für die Dimensionierung von Straßenbahnhaltstellen wird laut RVS 02.03.11 „Optimierung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV)“ von einer Personendichte von ca. 0,67 Personen pro Quadratmeter bzw. von 1,0 Personen pro Quadratmeter im Berufsverkehr ausgegangen.¹⁵²
- In der deutschen Musterversammlungsstättenverordnung dient der Wert von 2,0 Personen pro Quadratmeter für die Evakuierungsberechnungen.¹⁵³
- Im Rahmen eines Forschungsprojektes nach [33] wurden zahlreiche Bilddokumente von Veranstaltungen hinsichtlich der jeweiligen Personendichte ausgewertet. Die freiwillige Personendichte, die ohne äußere Krafteinwirkung zustande kommt, wurde mit maximal 6,0 Personen pro Quadratmeter beobachtet.¹⁵⁴ Gemäß der deutschen Straßenverkehrsordnung sind in Bussen acht Stehplätze pro Quadratmeter erlaubt. Dies entspricht einer Personendichte von 8,0 Personen pro Quadratmeter.¹⁵⁵

¹⁵¹ [43] Manfred Kolar, Aufnahmedatum: 31.03.2016

¹⁵² [19] RVS 02.03.11 Optimierung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV), Seite 7

¹⁵³ [33] Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.: Statische und dynamische Personendichten bei Großveranstaltungen, Seite 6

¹⁵⁴ [33] Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.: Statische und dynamische Personendichten bei Großveranstaltungen, Seite 7

¹⁵⁵ [33] Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.: Statische und dynamische Personendichten bei Großveranstaltungen, Seite 6

- Rein rechnerisch ergibt sich die maximale theoretische Personendichte für den zentraleuropäischen Raum zu 9,3 Personen pro Quadratmeter.¹⁵⁶

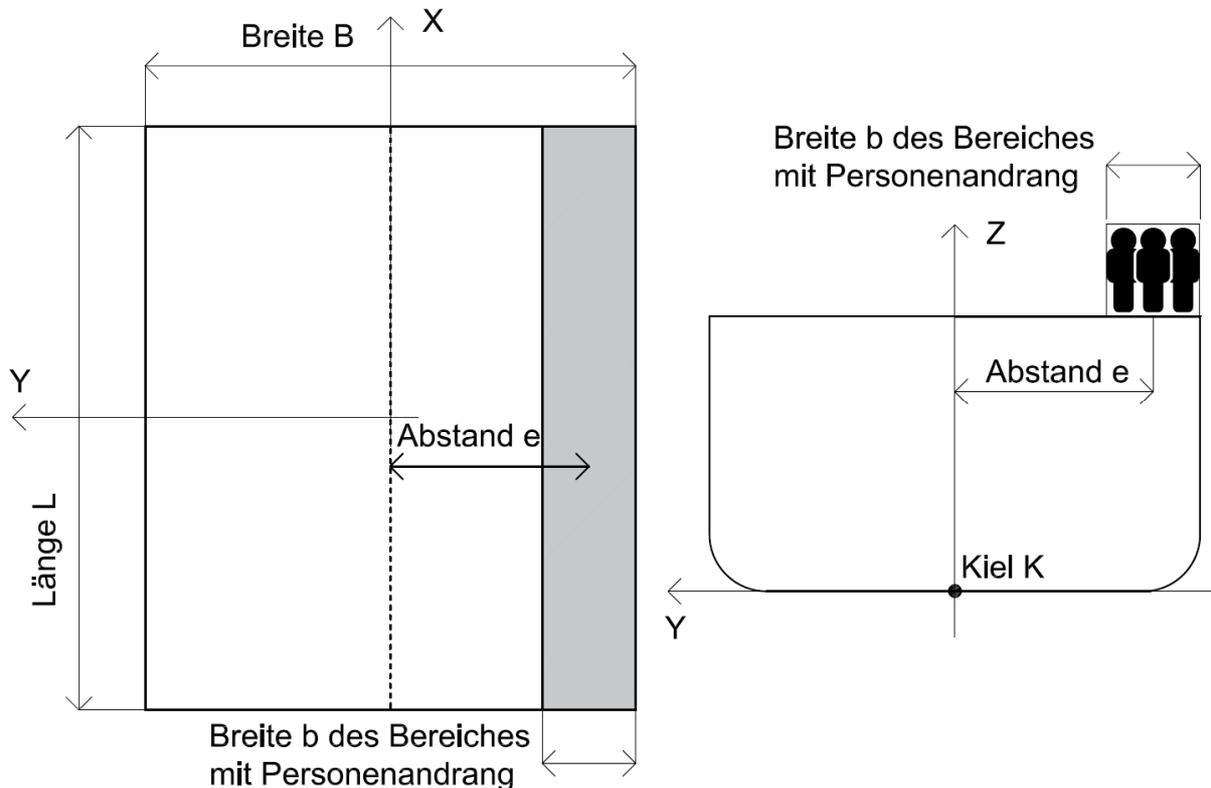


Abbildung 3.35: Schwimmende Anlage – Fahrgast-Hebel¹⁵⁷

Im Folgenden wird den Berechnungen eine maximale Belegungsdichte von acht Personen pro Quadratmeter zugrunde gelegt.

Bei der Annahme von acht Personen pro Quadratmeter errechnet sich die Breite b , auf die sich die Personen zusammendrängen, somit wie folgt:

$$b = \frac{\text{Personenanzahl}(A)}{8 \text{ Personen} / \text{m}^2 * \text{Länge}} \quad (3-87)$$

Der mittlere Abstand e der Menschenmenge zur Mittschiffsebene beträgt:

$$e = \frac{B - b}{2} \quad (3-88)$$

Für die Masse m_P einer Person ohne Gepäck wird die mittlere Normmasse von 75 Kilogramm pro Person (lt. EN 81-1) angenommen.¹⁶⁰

¹⁵⁶ [33] Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.: Statische und dynamische Personendichten bei Großveranstaltungen, Seite 6

¹⁵⁷ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 57

¹⁵⁸ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 57

¹⁵⁹ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 57

¹⁶⁰ [34] Lenzner/Böhm: Aufzugstechnik, Seite 19

Das Personenmoment M_P ergibt sich durch das Produkt aus der Anzahl der Personen A , dem durchschnittlichen Personengewicht m_P , dem Abstand e , der Erdbeschleunigung g und dem Cosinus des Krängungswinkels φ .

$$M_P = A * m_P * e * g * \cos(\varphi) \quad (3-89)$$

Der krängende Hebel h_{kr-p} zufolge dem Personenmoment M_P ergibt sich aus der Division von Personenmoment durch Displacement.

$$h_{kr-p} = \frac{M_P}{Depl * g} = \frac{A * m_P * e * g * \cos(\varphi)}{Depl * g} \quad (3-90)$$

Der sich einstellende Krängungswinkel φ wird durch Gleichsetzen der krängenden und der aufrichtenden Hebel berechnet.

$$h_{auf} = \overline{GZ}(\varphi) = \overline{GM} * \sin(\varphi) \quad (3-91)$$

$$\frac{A * m_P * e * g * \cos(\varphi)}{Depl * g} = \overline{GM} * \sin(\varphi) \quad (3-92)$$

Durch Berücksichtigung von $\tan(\varphi) = \frac{\sin(\varphi)}{\cos(\varphi)}$ ¹⁶² und durch entsprechendes Umformen der Gleichung (3-92) ergibt sich der Tangens des Krängungswinkels wie folgt:

$$\tan(\varphi) = \frac{\sin(\varphi)}{\cos(\varphi)} = \frac{A * m_P * e}{Depl * \overline{GM}} \quad (3-93)$$

3.7.7 Trossenzug – Hebel

Als abschließendes Beispiel für stabilitätsgefährdende Belastungen wird hier auf den sogenannten Trossenzug näher eingegangen.

Trossen sind starke Leinen, die unter anderem als Festmacher- und Schleppleinen aber auch als Ankertrossen Verwendung finden.¹⁶³

Trossen können aus Stahlseilen, Pflanzenfasern oder synthetischem Material hergestellt sein.

Der Trossenzug ist statisch gesehen eine Zugkraft. Diese Zugkraft kann je nach Belastungssituation beliebig orientiert in der X-, Y- oder Z-Ebene des schiffsbezogenen Koordinatensystems auftreten.

¹⁶¹ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 57

¹⁶² [38] Merziger/Wirth: Repetitorium der höheren Mathematik, Seite 75

¹⁶³ [35] Eichler: vom Bug zum Heck – Seemännisches Hand- und Wörterbuch, Seite 504

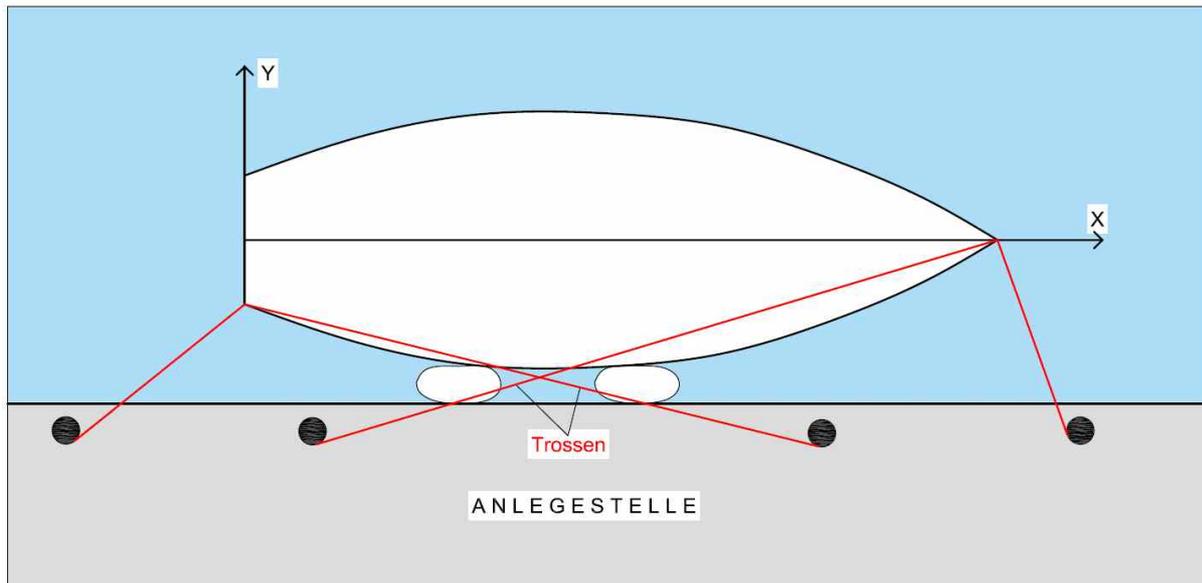


Abbildung 3.36: Trossenzug bei einem festgemachten Schiff¹⁶⁴

In Abbildung 3.36 ist die Belastungssituation durch Trossenzug an einem an einer Anlegestelle festgemachten Schiff dargestellt. Die größte Gefährdung der Querstabilität des Schiffes tritt bei Trossenzug in Y-Richtung – quer zur Längsachse des Schiffes – auf. Auf diese maximale Belastungssituation wird im Folgenden eingegangen.

Nach [1] wird die Querzug- bzw. Trossenkraft Z nach folgender Formel berechnet, die die Trossenkraft in der Einheit Kilogramm bzw. Tonnen liefert.

$$Z = c * \frac{\rho}{2} * v_q^2 * \frac{L * T}{g} \quad (3-94)$$

mit:¹⁶⁶

- Z = Querzug- bzw. Trossenkraft in Tonnen
- z_H = Höhe des Schlepphakens über dem Kiel
- T = Tiefgang des Schwimmkörpers (Höhe der Unterwasserlateralfäche)
- $T/2$ = Höhe des Angriffspunktes der Wasserreaktionskraft R
- L = Länge des Schwimmkörpers
- c = Widerstandsbeiwert des Schiffes quer ($\sim 1,10$)
- v_q = Quergeschwindigkeit des Schiffes bei Querzug in der Einheit [m/s]

¹⁶⁴ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 58

¹⁶⁵ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 58

¹⁶⁶ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 58

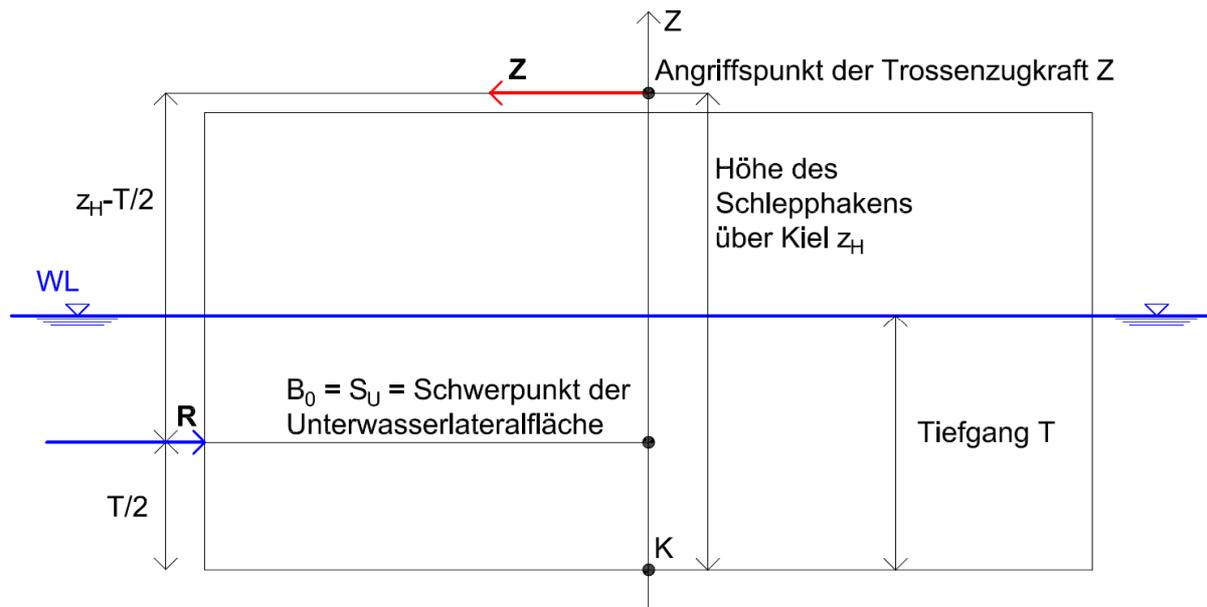


Abbildung 3.37: Trossenzug und Reaktionskraft R des Wassers¹⁶⁷

Nach Meyer-Bohe beträgt der krängende Hebelarm zufolge Trossenzug:

$$h_z = \frac{Z * g * \left(z_H - \frac{T}{2}\right) * \cos(\varphi)}{Depl * g} \quad 168 \quad (3-95)$$

Rechenbeispiele zu den hydrostatischen Grundlagen von schwimmenden Anlagen sind in Kapitel 9 „Anhang – Beispiele zur Hydrostatik“ ab Seite 101 angeführt.

¹⁶⁷ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 58

¹⁶⁸ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 58

4 Rechtliche Grundlagen für die Errichtung schwimmender Anlagen

Für die Errichtung und den Betrieb einer schwimmenden Anlage bedarf es eines wasserrechtlichen und ggf. auch eines schifffahrtsrechtlichen Bescheides.

Die rechtlichen Grundlagen für die Errichtung von schwimmenden Anlagen hat der österreichische Gesetzgeber unter anderem in folgenden Gesetzen und Verordnungen normiert:

- Schiffahrtsgesetz (SchFG)
- Schiffahrtsanlagenverordnung (SchAVO)
- Wasserrechtsgesetz 1959 idgF (WRG)
- Wasserstraßenverkehrsordnung
- Wasserstraßengesetz
- Seen- und Flussverkehrsordnung
- Schiffstechnikverordnung

Für schwimmende Anlagen, auf denen gefährliche oder brennbare Stoffe gelagert werden, sind außerdem folgende Rechtsquellen maßgeblich:

- Richtlinie 2012/18/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen, zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinie 96/82/EG des Rates, (siehe Kapitel 6.3.1 auf Seite 81)
- Gefahrgutbeförderungsgesetz
- Verordnung des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie über die Beförderung gefährlicher Güter auf Wasserstraßen (ADN-Verordnung)
- Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über den Schutz der Arbeitnehmer/innen vor explosionsfähigen Atmosphären und mit der die Bauarbeiterschutzverordnung und die Arbeitsmittel-Verordnung geändert werden (Verordnung explosionsfähige Atmosphären - VEXAT)
- Kennzeichnungsverordnung

Sofern es sich bei einer schwimmenden Anlage um eine Arbeitsstätte beziehungsweise um einen Arbeitsraum handelt, so sind unter anderem auch folgende Rechtsmaterien zu berücksichtigen:

- ArbeitnehmerInnenschutzgesetz
- Arbeitsstättenverordnung
- Arbeitsmittelverordnung

Die allgemeinen rechtlichen Grundlagen, den generellen Ablauf eines Genehmigungsverfahrens und die dafür zuständigen Behörden hat Herr DI Loy in seiner Diplomarbeit behandelt. Auf diese Punkte wird daher im Folgenden nicht in voller Tiefe eingegangen. Es wird an dieser Stelle vielmehr auf die im Quellenverzeichnis unter Punkt [13] angeführte Diplomarbeit verwiesen.

Für die Donau im Raum Wien wird aufgrund der Relevanz für diese Diplomarbeit folgende Tabelle mit den Geltungsbereichen der jeweiligen Gesetze erwähnt:

Geltungsbereich				
Gesetz/Verordnung	Donau	Neue Donau	Donaukanal	Alte Donau
Schifffahrtsgesetz	✓	✗	✓	✗
Wasserrechtsgesetz	✓	✓	✓	✓
Wasserstraßenverkehrsordnung	✓	✗	✓	✗
Seen- und Flussverkehrsordnung	✗	✗	✗	✓
Schifffahrtsanlagenverordnung	✓	✗	✓	✓*
Schiffstechnikverordnung	✓	✗	✓	✓*
Wiener Bauordnung	✗	✗	✗	✗
* nur für gewerbsmäßige Schifffahrt, der Vermietung und Schulungszwecke				
✓ gültig				
✗ nicht gültig				

Tabelle 4.1: Geltungsbereich der Gesetze und Verordnungen für die Errichtung von schwimmenden Anlagen¹⁶⁹

Exkurs: Die Donau im Bundesland Wien

Ab dem Jahr 1744 gab es erste konkrete Pläne für einen Hochwasserschutz im Raum des heutigen Wiens. Es folgte die Errichtung erster Hochwasserschutzdämme. Die Schutzwirkung dieser Dämme war allerdings nur von kurzer Dauer.

Bis zum Jahr 1870 war die Donau im Raum Wien praktisch nicht reguliert und suchte sich ihr Flussbett in einem circa 5 Kilometer breiten Auebereich selbst. Es existierten damals mehrere Haupt- und Nebenarme, die sich nach Hochwasserereignissen wieder völlig neue Wege suchen konnten und gänzlich andere Wasserführungen haben konnten.

Die erste Donauregulierung im Raum Wien erfolgte in den Jahren 1870 bis 1875. Im Zuge dieser Regulierungsmaßnahmen wurden zum einen fünf Brücken über die Donau gebaut. Zum anderen wurde auch der ursprünglich südwestlichste der fünf Hauptarme der Donau bei Wien ausgebaut. Dieser Donauarm ist heute als Donaukanal bekannt. Damals wurden das Einlaufbauwerk bei Nußdorf sowie die Mündung des Donaukanals in die Donau adaptiert.

Zwischen 1972 und 1988 erfolgte die zweite Donauregulierung im Großraum Wien. Mit der neuen Donau wurde ein 210 Meter breites Entlastungsgerinne geschaffen.

¹⁶⁹ [13] Loy: Bauen am Wasser, Seite 39

Das anfallende Aushubmaterial wurde zum Aufschütten der Donauinsel verwendet. Diese trennt nun die Neue Donau von der Donau selbst.¹⁷⁰

Für nähere Informationen über die Donau im Bundesland Wien wird auf Kapitel 2.2 „Verlauf der Donau im Bundesland Wien“ der Diplomarbeit von Herrn DI Loy verwiesen.

Im den beiden nachfolgenden Kapiteln wird auf wesentliche Rechtsquellen in Zusammenhang mit schwimmenden Anlagen näher eingegangen. Das Schifffahrtsgesetz (SchFG) und die darin maßgeblichen Definitionen sowie die für diese Arbeit relevanten Gesetzesstellen werden in Kapitel 5 näher erläutert.

Weiters werden wesentliche Aspekte der Schifffahrtsanlagenverordnung, als zentrale Rechtsquelle für die Errichtung von schwimmenden Anlagen, sowie wesentliche Artikel der Richtlinie 2012/18/EU behandelt. Abschließend wird in aller Kürze auf die ADN-Verordnung eingegangen.

¹⁷⁰ [13] Loy: Bauen am Wasser, Seite 7ff

5 Schifffahrtsgesetz – SchFG

Das Schifffahrtsgesetz gliedert sich grundsätzlich in neun Teile und ist am 1. Juli 1997 in Kraft getreten. Dieses Bundesgesetz ist unter anderem die Rechtsgrundlage sowohl für die genaue Definition beziehungsweise für eine mögliche Abgrenzung einer schwimmenden Anlage, als auch für die Bewilligung, die Errichtung und den Betrieb von schwimmenden Anlagen.

Weiters sind Belange betreffend der Schifffahrtspolizei, des Schifffahrtsbetriebes und der Häfen, Länden und Treppelwege im Schifffahrtsgesetz geregelt. Die Vorschriften bezüglich Schiffseichung, Schiffszulassung und die Verhaltensmaßnahmen bei Notfällen und Schiffshavarien sind ebenfalls Bestandteil des SchFG.

In den folgenden Kapiteln wird auf die wesentlichen Gesetzesstellen iZm schwimmenden Anlagen eingegangen.

§ 1 des Schifffahrtsgesetzes definiert den Geltungsbereich dieses Bundesgesetzes.

5.1 § 1 SchFG – Geltungsbereich

Gemäß § 1 Abs. 1 SchFG gilt dieses Bundesgesetz sowohl für öffentliche fließende Gewässer iSd § 2 des Wasserrechtsgesetzes (WRG) 1959 idgF als auch für die öffentlichen Gewässer und Privatgewässer laut Anhang 1 SchFG.¹⁷¹

5.1.1 § 2 WRG – Öffentliche Gewässer

In § 2 WRG definiert der Gesetzgeber, was grundsätzlich als öffentliches Gewässer iSd österreichischen Wasserrechtsgesetzes zu verstehen ist.

Ob es sich bei einem Gewässer um ein öffentliches Gewässer im Sinne des WRG handelt, ergibt sich aus dem äußerst komplexen System des § 2 WRG.¹⁷² Gemäß § 2 Abs. 1 lit. a WRG sind öffentliche Gewässer jene Ströme, Flüsse, Bäche und Seen mit allen ihren Armen, Seitenkanälen und Verzweigungen, die im Anhang A des Wasserrechtsgesetzes für jedes Bundesland entsprechend namentlich angeführt sind.¹⁷³

Außerdem verweist § 2 WRG auch auf die Privatgewässerdefinition des § 3 WRG. Weiters werden auch all jene Gewässer als öffentlich bezeichnet, denen bereits vor Inkrafttreten des WRG ein solcher Status zukam.¹⁷⁴

In o.g. Anhang A sind für jedes Bundesland die jeweiligen öffentlichen Gewässer namentlich aufgezählt. Für die vorliegende Arbeit ist vor allem WRG Anhang A Ziffer 9 Bundesland Wien von zentraler Bedeutung.

¹⁷¹ [10] Schifffahrtsgesetz, §1 Abs. 1

¹⁷² [39] Muzak: Österreichisches, Europäisches und Internationales Binnenschifffahrtsrecht, Seite 193f

¹⁷³ [11] Wasserrechtsgesetz 1959; § 2 Abs. 1

¹⁷⁴ [39] Muzak: Österreichisches, Europäisches und Internationales Binnenschifffahrtsrecht, Seite 193f

Demnach sind öffentliche Gewässer iSd WRG im Bundesland Wien die Donau und die Wien.¹⁷⁵

Die öffentlichen Gewässer in den restlichen Bundesländern werden an dieser Stelle nicht einzeln angeführt. Es wird auf den Anhang A des WRG verwiesen.

In § 2 SchFG werden wesentliche Begriffe iZm mit der Schifffahrt bzw. schwimmenden Anlagen allgemein definiert.

5.2 § 2 SchFG – Begriffsbestimmungen

Im Sinne des § 2 SchFG gelten als:

- (1) „Fahrzeuge“: *Binnenschiffe einschließlich Kleinfahrzeuge, Fahrgastschiffe, Sportfahrzeuge, Fähren, schwimmende Geräte und Seeschiffe (§ 2 Z 2 des Seeschifffahrtsgesetzes, BGBl. Nr. 174/1981);*
- (6) „Schwimmendes Gerät“: *schwimmende Konstruktion mit technischen Einrichtungen, die für Arbeiten auf Gewässern bestimmt ist (z.B.: Bagger, Elevator, Hebebock, Kran);*
- (7) „Motorfahrzeug“: *Fahrzeug, das mit einem Maschinenantrieb ausgestattet ist; als Ausstattung gilt Einbau, Anhängen oder sonstiges Mitführen eines zur Fortbewegung des Fahrzeuges bestimmten Maschinenantriebes;*
- (13) „Floß“: *schwimmende Zusammenstellung von Auftriebskörpern, insbesondere von Hölzern;*
- (14) „Schwimmende Anlage“: *schwimmende Einrichtung, die nicht zur Fortbewegung bestimmt ist (z.B.: schwimmende Schifffahrtsanlagen, Badeanstalten, Einrichtungen, die dem Wohnen oder dem Sport dienen);*
- (19) „Schifffahrtsanlage“: *Anlage, die unmittelbar Zwecken der Schifffahrt dient (z.B.: Hafen, Lände, Schleuse, Fähranlage, Schiffumschlagsanlage, Versorgungsanlage, Sportanlage); eine Anlage an Land, die nur mittelbar Zwecken der Schifffahrt dient (z.B.: Tanklager, Lagerhaus, Werkstätte), ist keine Schifffahrtsanlage;*
- (20) „Hafen“: *Schifffahrtsanlage, die aus mindestens einem Becken besteht und mit Einrichtungen zum Festmachen von Fahrzeugen zum Zweck des Umschlages, der Versorgung oder des Schutzes ausgestattet ist;*
- (21) „Landungsplatz“: *jeder Platz, an dem eine mechanische Verbindung zwischen einem Fahrzeug oder Schwimmkörper und dem Ufer hergestellt wird;*
- (22) „Liegeplatz“: *ein zum Stillliegen von Fahrzeugen oder Schwimmkörpern bestimmter Platz;*
- (23) „Lände“: *Landungsplatz mit Einrichtungen zum Festmachen von Fahrzeugen oder Schwimmkörpern, ausgenommen Häfen;*
- (24) „Versorgungsanlage“: *Schifffahrtsanlage zur Versorgung von Fahrzeugen oder Schwimmkörpern mit Treibstoffen und Betriebsstoffen (z.B.: Bunkerstation, Schiffstankstelle); eine Versorgungsanlage gilt nicht als Mineralölumschlagsanlage;*

¹⁷⁵ [11] Wasserrechtsgesetz 1959; Anhang A Z 9

- (25) „Sportanlage“: Schifffahrtsanlage, die Sport- oder Vergnügungszwecken dient; eine Anlage, die auch gewerblichen Zwecken dient, gilt nicht als Sportanlage;
- (27) „Verfügungsberechtigter“: ein auf Grund eines Rechtstitels zur Benützung einer Sache Berechtigter (zB Eigentümer, Bestandnehmer, Leasingnehmer, Entleiher);¹⁷⁶

In § 2 SchFG hat der österreichische Gesetzgeber somit eine exakte Unterscheidung zwischen einem Fahrzeug, einem schwimmenden Gerät oder eben einer schwimmenden Anlage definiert.

Für Schifffahrtsanlagen und in weiterer Folge somit auch für schwimmende Anlagen ist primär der dritte Teil des Schifffahrtsgesetzes maßgebend. In § 45 SchFG ist der Geltungsbereich dieses dritten Teiles geregelt.

5.3 § 45 SchFG – Geltungsbereich

Gemäß § 45 Abs. 1 SchFG ist der dritte Teil des Schifffahrtsgesetzes für die in § 1 Abs. 1 SchFG genannten Gewässer maßgeblich.¹⁷⁷

Auf sonstigen schiffbaren Privatgewässern gilt der dritte Teil des SchFG gemäß § 45 Abs. 2 SchFG nur für jene Schifffahrtsanlagen, die der gewerbsmäßigen Schifffahrt, der Vermietung oder anderen gewerblichen Zwecken dienen.¹⁷⁸

§ 45 Abs. 3 SchFG regelt Belange bezüglich Schifffahrtsanlagen iVm dem Österreichischen Bundesheer.¹⁷⁹

5.4 § 46 SchFG – Schifffahrtsanlagen

Schifffahrtsanlagen sind gemäß § 46 Abs. 1 SchFG entweder öffentliche oder nicht öffentliche (private) Anlagen.¹⁸⁰

Gemäß § 46 Abs. 2 SchFG dürfen öffentliche Schifffahrtsanlagen von allen Fahrzeugen und Schwimmkörpern benützt werden, während hingegen private Schifffahrtsanlagen nur entsprechend der Entscheidung der darüber Verfügungsberechtigten unter Beachtung der nach dem zweiten Teil des SchFG erlassenen Verordnungen benützt werden dürfen.¹⁸¹

Es hängt somit vom Willen des Verfügungsberechtigten ab, ob eine Schifffahrtsanlage von jedermann benützt werden darf. Es obliegt dem Verfügungsberechtigten außerdem, durch seinen Willensakt den Gemeingebrauch zu begründen.¹⁸²

Verordnungen nach dem zweiten Teil des SchFG betreffend Verkehr und Betrieb von Fahrzeugen und Schwimmkörpern unter Bedachtnahme auf die Erfordernisse des

¹⁷⁶ [10] Schifffahrtsgesetz, § 2

¹⁷⁷ [10] Schifffahrtsgesetz, § 45 Abs. 1

¹⁷⁸ [10] Schifffahrtsgesetz, § 45 Abs. 2

¹⁷⁹ [10] Schifffahrtsgesetz, § 45 Abs. 3

¹⁸⁰ [10] Schifffahrtsgesetz, § 46 Abs. 1

¹⁸¹ [10] Schifffahrtsgesetz, § 46 Abs. 2

¹⁸² [39] Muzak: Österreichisches, Europäisches und Internationales Binnenschifffahrtsrecht, Seite 432

Wasserbaus und auf zwischenstaatliche Vereinbarungen sind zu erlassen, soweit es die in § 16 SchFG aufgezählten Gründe erfordern, wie beispielsweise:¹⁸³

- zur Wahrung der Sicherheit der Schifffahrt oder von Personen,
- zum Schutz von Personen vor Lärmbelästigung,
- zum Schutz von Ufern und Anlagen sowie von Regulierungs- und Schutzbauten

Die weiteren Gründe für Verordnungen und die Art und Weise der Kundmachung der Verordnungen sind im Teil 2 des Schifffahrtsgesetzes ausführlich geregelt.

Der anlagenrechtliche Teil des Schifffahrtsgesetzes ist sowohl für private als auch für öffentliche Schifffahrtsanlagen anwendbar. Die Anwendbarkeit der Vorschriften dieses dritten Teiles des Schifffahrtsgesetzes richtet sich grundsätzlich wie bereits erwähnt nach der Kategorie des betreffenden Gewässers, die Kategorie der Schifffahrtsanlage ist hingegen nicht maßgeblich.¹⁸⁴

5.5 § 47 SchFG – Bewilligungspflicht

§ 47 Abs. 1 SchFG legt fest, welche baulichen Maßnahmen bzw. welche Einrichtungen grundsätzlich einer Bewilligung bedürfen.

Demnach bedürfen einer Bewilligung:¹⁸⁵

- die Errichtung einer neuen Schifffahrtsanlage,
- die Wiederverwendung einer früheren Schifffahrtsanlage nach Erlöschen oder Widerruf der Bewilligung sowie
- die wesentliche Änderung einer bestehenden Schifffahrtsanlage.

Ab welcher Erheblichkeitsschwelle eine „wesentliche“ Änderung vorliegt, ist im Gesetz nicht ausdrücklich definiert. *Muzak* führt aus, dass bei der Beurteilung der Wesentlichkeit auf die Möglichkeit der Beeinträchtigung der in § 49 SchFG genannten Interessen und Erfordernisse abzustellen ist. Aus der Anordnung zur Bewilligungspflicht lässt sich jedoch jedenfalls ableiten, dass unwesentliche Änderungen an einer Schifffahrtsanlage vom Genehmigungsinhaber frei durchgeführt werden dürfen. Das österreichische Schifffahrtsgesetz sieht für unwesentliche Änderungen nicht einmal eine Anzeigepflicht vor.¹⁸⁶

Maßnahmen zur Instandhaltung oder Instandsetzung der Anlage, auch wenn damit eine Verbesserung vorhandener Einrichtungen verbunden ist, gelten gemäß § 47 Abs. 3 SchFG nicht als wesentliche Änderung.¹⁸⁷

¹⁸³ [10] Schifffahrtsgesetz, § 16

¹⁸⁴ [39] *Muzak*: Österreichisches, Europäisches und Internationales Binnenschifffahrtsrecht, Seite 432

¹⁸⁵ [10] Schifffahrtsgesetz, § 47 Abs. 1

¹⁸⁶ [39] *Muzak*: Österreichisches, Europäisches und Internationales Binnenschifffahrtsrecht, Seite 435

¹⁸⁷ [10] Schifffahrtsgesetz, § 47 Abs. 3

Der Gesetzgeber sieht in § 47 Abs. 2 SchFG Ausnahmen von der Bewilligungspflicht gemäß Abs. 1 vor. Demnach ist für Sportanlagen iSd § 2 Z 25 SchFG an oder auf anderen Gewässern als Wasserstraßen iSd § 15 SchFG eine Bewilligung nach Abs. 1 nicht erforderlich.¹⁸⁸ Sportanlagen auf anderen, also niederrangigeren Gewässern sind nach *Muzak* ausnahmslos nicht bewilligungspflichtig.¹⁸⁹

Die Bestimmungen der §§ 52 Abs. 3 SchFG (Überprüfung von Amts wegen) und 53 Abs. 2 SchFG (sonstige Überprüfungen) gelten in Zusammenhang mit diesen Sportanlagen jedoch ebenso. Außerdem sind die in § 58 SchFG erlassenen Vorschriften bezüglich Bauart, Mindestmaße, Festigkeit, Ausgestaltung und Einrichtung, Kennzeichnung, Betrieb und Benützung von Schifffahrtsanlagen in Zusammenhang mit Sportanlagen dieser Art zu beachten (siehe Seite 72).¹⁹⁰

Eine weitere Ausnahme von der Bewilligungspflicht sieht der österreichische Gesetzgeber im § 47 Abs. 2 SchFG iZm Anlagen für Zwecke der Bundes- oder Landesverwaltung vor, für die generell ein Sonderregime gemäß § 56 SchFG maßgeblich ist.

§ 47 Abs. 4 SchFG regelt u.a. die Vorgehensweise bei Schifffahrtsanlagen, die ohne Bewilligung errichtet wurden. Solche Anlagen sind auf Kosten des Verfügungsberechtigten zu entfernen.

5.6 § 48 SchFG – Antrag

Bei der Bewilligung einer Schifffahrtsanlage handelt es sich grundsätzlich um einen antragsbedürftigen Verwaltungsakt. Der Antrag ist von jener Person zu stellen, die die Anlage später zu betreiben beabsichtigt, also in der Regel der Eigentümer. § 48 Abs. 1 SchFG regelt, welche Angaben ein entsprechender Antrag zu umfassen hat:¹⁹¹

- von einem Fachkundigen erstellte Pläne inklusive den erforderlichen Berechnungen und Erläuterungen zur Anlage selbst oder der geplanten Änderung in zweifacher Ausfertigung;
- den Zweck und Umfang des geplanten Vorhabens mit Angabe des Gewässers, an dem sich die Anlage befinden soll. Des Weiteren ist die grundbücherliche Bezeichnung der betreffenden Örtlichkeiten anzugeben.
- Es müssen alle Personen, deren Rechte durch die Anlage oder deren Änderung berührt werden, angegeben werden. Allfällige Zustimmungserklärungen dieser Personen sind dem Antrag beizulegen.
- Die Angabe der nach diesem Teil des SchFG zulässigen Zwangsrechte, deren Anwendung erforderlich werden könnte. Ebenso sind Eigentümer der betroffenen Liegenschaften und der sonstigen Berechtigten anzugeben.

¹⁸⁸ [10] Schifffahrtsgesetz, § 47 Abs. 2

¹⁸⁹ [39] *Muzak*: Österreichisches, Europäisches und Internationales Binnenschifffahrtsrecht, Seite 436

¹⁹⁰ [10] Schifffahrtsgesetz, § 47 Abs. 2

¹⁹¹ [39] *Muzak*: Österreichisches, Europäisches und Internationales Binnenschifffahrtsrecht, Seite 437

- Eine zum Zeitpunkt der Antragstellung allenfalls bereits vorliegende Bewilligung nach dem Wasserrechtsgesetz 1959 idgF ist bei der Antragstellung bekannt zu geben.
- Außerdem ist bekannt zu geben, ob die Anlage eine öffentliche oder eine private Schifffahrtsanlage sein soll.¹⁹²

5.7 § 49 SchFG – Erteilung der Bewilligung

Gemäß § 49 Abs. 1 SchFG ist die Bewilligung zu erteilen, sofern bestehende Rechte nach § 49 Abs. 3 SchFG nicht entgegenstehen und Bedacht genommen wurde auf:

- „die Erfordernisse der Schifffahrt nach § 49 Abs. 4 SchFG,
- die Erfordernisse des Umweltschutzes, insbesondere der Reinhaltung der Gewässer und der Luft, soweit sie nicht in anderen nach bundesgesetzlichen Bestimmungen vorgeschriebenen Verfahren, insbesondere im Wasserrechtsverfahren, zu berücksichtigen sind,
- öffentliche Interessen gemäß § 49 Abs. 5 SchFG,
- zwischenstaatliche Vereinbarungen über die Schifffahrt,
- die Bestimmungen über Bau, Ausgestaltung, Erhaltung, Benützung und Betrieb von Schifffahrtsanlagen (§ 58 SchFG) sowie
- die Erfordernisse des ArbeitnehmerInnenschutzes.“¹⁹³

In jenen Fällen, in denen für die Errichtung von Schifffahrtsanlagen auch eine wasserrechtliche Bewilligung erforderlich ist, ist die zuständige Behörde im schifffahrtsanlagenrechtlichen Verfahren erst dann ermächtigt die Bewilligung nach dem dritten Teil des Schifffahrtsgesetzes zu erteilen, wenn die Bewilligung nach dem WRG vorliegt. Somit kommt nach *Muzak* dem wasserrechtlichen Bewilligungsbescheid im schifffahrtsanlagenrechtlichen Verfahren Tatbestandswirkung zu.¹⁹⁴

Weitere Ausführungen bezüglich Erteilung der Bewilligung sind der Diplomarbeit „Bauen am Wasser“ von DI Loy in Kapitel 7 zu entnehmen (siehe [13]).

5.8 § 50 SchFG – Geltungsdauer der Bewilligung

Eine Bewilligung iSd Schifffahrtsgesetzes kann seitens der zuständigen Behörde unbefristet oder befristet erteilt werden. Bei einer befristeten Bewilligung ist auf eine nach dem Wasserrechtsgesetz 1959 erteilte Bewilligung Bedacht zu nehmen.¹⁹⁵

Nach *Muzak* liegt es somit im Ermessen der zuständigen Behörde, die Geltungsdauer der Bewilligung iSd § 49 SchFG festzulegen. Im Falle einer Erteilung einer befristeten Bewilligung liegt die Festlegung der Gültigkeitsdauer der Bewilligung ebenfalls im Ermessen der Behörde.¹⁹⁶

¹⁹² [10] Schifffahrtsgesetz, § 48

¹⁹³ [10] Schifffahrtsgesetz, § 49 Abs. 1

¹⁹⁴ [39] *Muzak*: Österreichisches, Europäisches und Internationales Binnenschifffahrtsrecht, Seite 437f

¹⁹⁵ [10] Schifffahrtsgesetz, § 50

¹⁹⁶ [39] *Muzak*: Österreichisches, Europäisches und Internationales Binnenschifffahrtsrecht, Seite 452

5.9 § 51 SchFG – Fristen für Baubeginn und Bauvollendung; Anzeige

In § 51 SchFG hat der österreichische Gesetzgeber normiert, dass die Behörde im Bewilligungsbescheid angemessene Fristen für den Baubeginn sowie für die Bauvollendung kalendermäßig festzusetzen hat. Der Bewilligungsinhaber hat sowohl den Baubeginn als auch die Bauvollendung bei der Behörde anzuzeigen. Unter bestimmten Voraussetzungen sind Fristverlängerungen zulässig.¹⁹⁷

Auch in Bezug auf die Fristigkeiten bzw. die Anzeigepflicht sieht der Gesetzgeber für Sportanlagen Ausnahmen vor. Gemäß § 51 Abs. 3 SchFG ist im Bewilligungsbescheid nur eine angemessene Frist für die Bauvollendung festzusetzen bzw. ist vom Bewilligungsinhaber nur die Bauvollendung anzuzeigen.¹⁹⁸

Kommt der Bewilligungsinhaber der in § 51 SchFG normierten Anzeigepflicht nicht nach, so begeht er eine Verwaltungsübertretung gemäß § 72 Abs. 2 Z 5 SchFG, die grundsätzlich mit einer Geldstrafe von EUR 72 - 3.633 geahndet werden kann.¹⁹⁹

5.10 § 52 SchFG – Benützungsbewilligung, Überprüfung von Schifffahrtsanlagen

In § 52 Abs. 1-3 SchFG regelt der österreichische Gesetzgeber grundsätzlich die Überprüfung von Schifffahrtsanlagen im Rahmen einer Erstüberprüfung, einer Nachüberprüfung sowie einer Überprüfung von Amts wegen.

Gemäß § 52 Abs. 1 SchFG bedarf es für die erstmalige Inbetriebnahme bzw. Benützung nach erfolgter Anzeige über die Bauvollendung seitens des Bewilligungsinhabers einer erstmaligen Überprüfung sowie einer Bewilligung zur Benützung durch die Behörde für neuerrichtete bzw. wesentlich geänderte Schifffahrtsanlagen, die der gewerbsmäßigen Schifffahrt oder anderen gewerblichen Zwecken dienen.²⁰⁰

Der Gesetzgeber sieht in § 52 Abs. 2 SchFG unter bestimmten Voraussetzungen eine sogenannte Nachüberprüfung, die wiederkehrend in gewissen Intervallen stattzufinden hat, vor. Bei der Festlegung der Prüfintervalle hat die zuständige Behörde den Verwendungszweck, insbesondere den Umschlag gefährlicher Güter, den Fährbetrieb, die Fahrgastschifffahrt oder die gewerbsmäßige Schulung von Schiffsführern, sowie den Erhaltungszustand der Anlagen zu berücksichtigen.²⁰¹

Außerdem ist die Behörde gemäß § 52 Abs. 3 SchFG berechtigt, Schifffahrtsanlagen, die in den Anwendungsbereich des dritten Teiles des Schifffahrtsgesetzes fallen, jederzeit zu überprüfen, sofern ein Verdacht besteht, dass die Anlage den Erfordernissen des § 49 Abs. 1 SchFG nicht entspricht (Überprüfung von Amts wegen).²⁰²

¹⁹⁷ [39] Muzak: Österreichisches, Europäisches und Internationales Binnenschifffahrtsrecht, Seite 453

¹⁹⁸ [10] Schifffahrtsgesetz, § 51 Abs. 3

¹⁹⁹ [10] Schifffahrtsgesetz, §§ 51, 72

²⁰⁰ [10] Schifffahrtsgesetz, § 52 Abs. 1

²⁰¹ [10] Schifffahrtsgesetz, § 52 Abs. 2

²⁰² [10] Schifffahrtsgesetz, § 52 Abs. 2

5.11 § 53 SchFG – Durchführung der Überprüfung

Im Falle einer erstmaligen Überprüfung hat sich die Behörde gemäß § 53 Abs. 1 SchFG von der Übereinstimmung der Anlage mit der erteilten Bewilligung zu überzeugen. Außerdem ist seitens der Behörde die Beseitigung allfälliger Mängel, einschließlich solcher beim Betrieb oder bei der Benützung der Anlage, sowie etwaige Abweichungen unter Setzung entsprechender Fristen im Rahmen einer Erstüberprüfung sowie einer sonstigen Überprüfung vorzuschreiben.²⁰³

Bei Vorliegen von wesentlichen Mängeln hat die Behörde den Betrieb und die Benützung der Anlage bis zur Wiederherstellung der Betriebssicherheit oder bis zur Abstellung der Mängel einzuschränken bzw. gegebenenfalls komplett zu untersagen. Weiters ist die Behörde dazu ermächtigt, eine Abänderung der Betriebsvorschrift anzuordnen, sofern es die Wahrung der im § 49 Abs. 1 SchFG genannten Erfordernisse bedingt.²⁰⁴

Weitere Ausführungen bezüglich der weiteren Vorgehensweise bei etwaigen Mängeln sind nach [13] in der Diplomarbeit von DI Loy in Kapitel 7.1.10 erörtert.

5.12 § 57 SchFG – Beschränkungen für die Errichtung bestimmter Schifffahrtsanlagen

In Zusammenhang mit schwimmenden Anlagen ist § 57 Abs. 2 SchFG von zentraler Bedeutung. Demnach dürfen Umschlagsanlagen für flüssige gefährliche Güter als Massengut, die nicht mit Wasser mischbar sind, außerhalb von Häfen nur dann neu errichtet bzw. wesentlich geändert werden, wenn die Ausbreitung dieser Güter nach einem etwaigen Austritt während des Umschlags durch technische Einrichtungen verhindert werden kann. Dies trifft ebenso auf die Wiederverwendung früherer derartiger Anlagen zu.²⁰⁵

Einen weiteren Sondertatbestand in Zusammenhang mit der Errichtung von Schifffahrtsanlagen hat der Gesetzgeber mit § 57 Abs. 3 SchFG für Umschlagsanlagen für flüssige gefährliche Güter als Massengut, deren Flammpunkt unter 60°C liegt, geschaffen. Anlagen iSd § 57 Abs. 3 SchFG dürfen demnach außerhalb von Häfen nur dann neu errichtet bzw. wesentlich geändert werden, wenn der Antragsteller nachweist, dass bei einem etwaigen Austritt dieser Güter während des Umschlags keine zündfähigen Gaswolken entstehen können, die durch vorbeifahrende Fahrzeuge zur Explosion gebracht werden könnten. Dies gilt ebenso für die Wiederverwendung früherer derartiger Anlagen. Bei Bedarf sind durch Verordnung nähere Bestimmungen diesbezüglich unter Berücksichtigung des Standes der Technik und der internationalen Vorschriften für die Beförderung gefährlicher Güter zu erlassen.²⁰⁶

²⁰³ [10] Schifffahrtsgesetz, § 53 Abs. 1

²⁰⁴ [10] Schifffahrtsgesetz, § 53 Abs. 2

²⁰⁵ [10] Schifffahrtsgesetz, § 57 Abs. 2

²⁰⁶ [10] Schifffahrtsgesetz, § 57 Abs. 3

5.13 § 58 SchFG – Ausgestaltung, Betrieb, Benützung und Erhaltung von Schifffahrtsanlagen

Der österreichische Gesetzgeber sieht in § 58 Abs. 1 SchFG den generellen Grundsatz vor, dass Schifffahrtsanlagen in einem der Bewilligung entsprechenden Zustand zu erhalten und so zu betreiben sind, dass die Erfordernisse des § 49 Abs. 1 SchFG gewahrt bleiben. Der Bewilligungsinhaber wird dadurch verpflichtet, jene Erfordernisse, die als Bewilligungsdeterminanten dienen, auch beim Betrieb der Anlage unmittelbar zu beachten.²⁰⁷

In § 58 Abs. 2 – 13 SchFG finden sich weitere spezifische Vorschriften bzw. Verbote in Zusammenhang mit dem Betrieb sowie der Erhaltung von Schifffahrtsanlagen, wie beispielsweise Häfen oder Tankschiffen.

Von zentraler Bedeutung in Zusammenhang mit schwimmenden Anlagen ist § 58 Abs. 4 SchFG. Demnach dürfen gefährliche Güter nur an hierfür bewilligten Schifffahrtsanlagen umgeschlagen werden.

Eine Ausnahme hiervon stellt das Leichtern von Fahrzeug zu Fahrzeug in Notfällen dar. Unter dem Begriff Leichtern wird grundsätzlich die Verringerung des Tiefganges von See- oder Binnenschiffen durch die Übergabe von Ladung, Ausrüstung oder Vorräten verstanden. Bei einer Havarie eines mit gefährlichen Gütern beladenen Schiffes kann es sich als notwendig erweisen, diese rasch auf ein anderes Fahrzeug umzuladen, um so drohende Umweltschäden zu vermeiden. Der Gesetzgeber ermöglicht somit den Umschlag gefährlicher Güter auf andere als speziell ausgestattete Anlagen angesichts der Notwendigkeit des raschen Handelns zum Zwecke eines höheren Schutzgutes.²⁰⁸

Einen weiteren Ausnahmetatbestand stellt die Versorgung von Fahrzeugen mit Treib- oder Betriebsstoffen dar. Hintergrund für die Normierung dieser Ausnahme ist offenbar die Tatsache, dass Frachtschiffe in der Regel mit Verbrennungsmotoren betrieben werden und der notwendige Treibstoff als gefährliches Gut zu qualifizieren wäre.²⁰⁹

Zum anderen ist neben der Bestimmung über den Umschlag gefährlicher Güter gemäß § 58 Abs. 4 SchFG außerdem § 58 Abs. 6 SchFG für diese Arbeit von Relevanz. In § 58 Abs. 6 SchFG sieht der Gesetzgeber für Bewilligungsinhaber von Umschlagsanlagen für flüssige gefährliche Güter, die unverpackt und nicht mit Wasser mischbar sind, weitere Sondervorschriften vor. Demnach sind die Bewilligungsinhaber verpflichtet, auf ihre Kosten durch geeignete Einrichtungen und Maßnahmen – soweit dies technisch möglich ist – dafür zu sorgen, dass eine Ausbreitung derartiger Flüssigkeiten verhindert wird und diese Flüssigkeiten rasch entfernt werden können. In Häfen sind die Bewilligungsinhaber von Umschlagsanlagen davon befreit, wenn

²⁰⁷ [39] Muzak: Österreichisches, Europäisches und Internationales Binnenschifffahrtsrecht, Seite 500

²⁰⁸ [39] Muzak: Österreichisches, Europäisches und Internationales Binnenschifffahrtsrecht, Seite 506

²⁰⁹ [39] Muzak: Österreichisches, Europäisches und Internationales Binnenschifffahrtsrecht, Seite 507

und solange die Hafenverwaltung diese Einrichtungen errichtet bzw. betreibt und die erforderlichen Maßnahmen durchführt.²¹⁰

Die Behörde hat gemäß § 58 Abs. 12 SchFG durch Verordnung Bestimmungen über Verwendungszweck, Bauart, Mindestmaße, Festigkeit, Ausgestaltung und Einrichtung, Kennzeichnung, Betrieb und Benützung bestimmter Arten von Schifffahrtsanlagen, wie beispielsweise schwimmende Anlagen für die Lagerung gefährlicher Güter oder Versorgungsanlagen, zu erlassen. Dabei hat die Behörde die Erfordernisse des § 58 Abs. 1 bis 11 SchFG, des § 49 Abs. 1 SchFG sowie den jeweiligen Stand der Technik zu beachten. Es können im Interesse der Zweckmäßigkeit und Kostenersparnis diesbezügliche ÖNORMEN (Normengesetz 1971, BGBl. Nr. 240) und elektrotechnische Sicherheitsvorschriften (Elektrotechnikgesetz 1992, BGBl. Nr. 106/1993) ganz oder teilweise für verbindlich erklärt werden.²¹¹

5.14 § 71 SchFG – Behörden und ihre Zuständigkeit

Behörde im Sinne des § 71 Abs. 1 SchFG ist die Bezirksverwaltungsbehörde.²¹²

Für die Erlassung von Verordnungen nach diesem Teil des Schifffahrtsgesetzes ist grundsätzlich der Bundesminister für Verkehr, Innovation und Technologie zuständig, sofern in § 71 Abs. 4 nichts anderes bestimmt ist.²¹³

§ 71 Abs. 4 SchFG sieht Sonderregelungen für Wasserstraßen, für den Bodensee sowie den Neusiedlersee sowie für jene Teile der Donau, die nicht als Wasserstraßen klassifiziert sind, vor. Gemäß § 71 Abs. 4 SchFG sind für die Erlassung von Verordnungen der jeweilige Landeshauptmann bzw. die Landesregierung zuständig.²¹⁴

5.15 § 72 SchFG – Strafbestimmungen

Der österreichische Gesetzgeber sieht im § 72 Abs. 1 SchFG im Fall eines Verstoßes gegen die Vorschriften des dritten Teiles des Schifffahrtsgesetzes oder der auf Grund dieses Teiles erlassenen Verordnungen als Sanktion für eine solche Verwaltungsübertretung eine Geldstrafe iHv EUR 72 - 3.633 vor, sofern die Tat nicht den Tatbestand einer in die Gerichte fallenden strafbaren Handlung darstellt.

Eine Verwaltungsübertretung iSd § 72 Abs. 1 SchFG begeht insbesondere wer:

- *„ohne Bewilligung bewilligungspflichtige Schifffahrtsanlagen neu errichtet, bestehende Schifffahrtsanlagen wesentlich ändert oder frühere Schifffahrtsanlagen nach Erlöschen oder Widerruf der Bewilligung wiederverwendet (§ 47 Abs. 1);*
- *als Bewilligungsinhaber eine von der Behörde im Bewilligungsbescheid festgesetzte Bedingung, Auflage oder Einschränkung nicht einhält (§ 49 Abs. 2)*

²¹⁰ [10] Schifffahrtsgesetz, § 58 Abs. 6

²¹¹ [10] Schifffahrtsgesetz, § 58 Abs. 12

²¹² [10] Schifffahrtsgesetz, § 71 Abs. 1

²¹³ [10] Schifffahrtsgesetz, § 71 Abs. 3

²¹⁴ [10] Schifffahrtsgesetz, § 71 Abs. 4

- *als Bewilligungsinhaber eine Schifffahrtsanlage nicht für den von der Behörde im Bewilligungsbescheid festgesetzten Verwendungszweck verwendet (§ 49 Abs. 2);*
- *als neuer Bewilligungsinhaber die Übertragung einer Schifffahrtsanlage der Behörde nicht anzeigt (§ 49 Abs. 10);*
- *als Bewilligungsinhaber Baubeginn oder Bauvollendung der Behörde nicht anzeigt (§ 51 Abs. 2);*
- *eine Schifffahrtsanlage benützt oder betreibt, bevor die Behörde die erstmalige Überprüfung vorgenommen und die Benützungsbewilligung erteilt hat (§ 52 Abs. 1);*
- *außerhalb von Häfen Umschlagsanlagen für flüssige gefährliche Güter als Massengut, die nicht mit Wasser mischbar sind oder deren Flammpunkt unter 60 ° C liegt, entgegen den Vorschriften des § 57 Abs. 2 und 3 neu errichtet, bestehende derartige Anlagen wesentlich ändert oder frühere derartige Anlagen nach Erlöschen oder Widerruf der Bewilligung wieder verwendet;*
- *gefährliche Güter an anderen Stellen als an hierfür bewilligten Schifffahrtsanlagen umschlägt (§ 58 Abs. 4)*
- *Schifffahrtsanlagen unbefugt betritt, sich an diesen Anlagen oder Festmacheeinrichtungen anhängt oder sie erklettert (§ 58 Abs. 8);*
- *unbefugt Festmacheeinrichtungen von Schifffahrtsanlagen löst (§ 58 Abs. 10);*
- *öffentliche Schifffahrtsanlagen oder ihre Einrichtungen beschädigt, verunreinigt, unbefugt bedient oder ihren Gebrauch beeinträchtigt (§ 58 Abs. 11)²¹⁵*

Im anschließenden Kapitel wird auf die Schifffahrtsanlagenverordnung, die eine weitere wesentliche Rechtsgrundlage in Verbindung mit schwimmenden Anlagen bildet, näher eingegangen.

²¹⁵ [10] Schifffahrtsgesetz, § 72 Abs. 2

6 Schifffahrtsanlagenverordnung

Die „Verordnung des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie betreffend Schifffahrtsanlagen sowie sonstigen Anlagen und Arbeiten an Wasserstraßen“ – kurz „Schifffahrtsanlagenverordnung – SchAVO“ ist am 28. August 2008 in Kraft getreten. In der Schifffahrtsanlagenverordnung werden grundsätzlich alle Anlagen, die unmittelbar der Schifffahrt dienen, geregelt. Dazu zählen unter anderem schwimmende Anlagen, Häfen, Anlegestellen und Länden. Es werden aber auch sonstige Anlagen wie zum Beispiel Wasserflugplätze und etwaige notwendige Arbeiten an den Wasserstraßen selbst geregelt. Außerdem beinhaltet die Schifffahrtsanlagenverordnung Vorschriften in Hinblick auf Hafentgelte für öffentliche und private Häfen.

Für diese Arbeit von besonderer Bedeutung sind unter anderem:

- § 2 SchAVO – Begriffsbestimmungen
- § 14 SchAVO – Schwimmende Schifffahrtsanlagen
- § 15 SchAVO – Schwimmende Anlagen zur Lagerung gefährlicher Stoffe
- § 16 SchAVO – Schwimmende Anlagen zur Lagerung entzündbarer flüssiger gefährlicher Güter

6.1 § 2 SchAVO – Begriffsbestimmungen

In § 2 SchAVO erfolgt analog zu § 2 SchFG die Definition einer Schifffahrtsanlage, einer schwimmenden Anlage, einer Versorgungsanlage, eines Landungsplatzes sowie einer Lände (siehe Kapitel 5).

Weitere wesentliche Definitionen gemäß § 2 SchAVO sind unter anderem:

- (4) *„Sportanlage: Schifffahrtsanlage, die Sport- oder Vergnügungszwecken dient; eine Anlage, die auch gewerblichen Zwecken dient, gilt nicht als Sportanlage;*
- (7) *Versorgungslände: Lände zur Versorgung von Fahrzeugen oder Schwimmkörpern mit Treibstoffen und Betriebsstoffen; eine Versorgungslände gilt nicht als Umschlagslände;*
- (8) *Umschlagslände: Lände, die für den Güterumschlag bestimmt ist;*
- (9) *Gefährliche Güter: gefährliche Güter gemäß dem Europäischen Übereinkommen über die internationale Beförderung von gefährlichen Gütern auf Binnenwasserstraßen (ADN), BGBl. III Nr. 67/2008 in der geltenden Fassung;*
- (10) *Sonderlände: Lände, die nicht unter Z 7 bis 8 fällt und für Verwendungszwecke bestimmt ist, die besondere Maßnahmen hinsichtlich Ausgestaltung, Einrichtung und Betrieb erfordern;“²¹⁶*

²¹⁶ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 2

Nachdem nun die wesentlichen Begriffe iZm dem Schifffahrtsgesetz und der Schifffahrtsanlagenverordnung definiert wurden, wird in weiterer Folge auf § 14 SchAVO eingegangen.

6.2 § 14 SchAVO – Schwimmende Schifffahrtsanlagen

§ 14 SchAVO regelt grundsätzlich die Platzierung, die bauliche Ausgestaltung sowie die Befestigung von schwimmenden Schifffahrtsanlagen:

Gemäß § 14 Abs. 1 SchAVO darf es durch die Aufstellung schwimmender Schifffahrtsanlagen zu keinerlei Behinderungen des Verkehrs der gewerbsmäßigen Schifffahrt kommen.²¹⁷

Für Schwimmkörper schwimmender Schifffahrtsanlagen hat die zuständige Behörde eine Ebene der höchstzulässigen Eintauchung festzusetzen. Diese Ebene ist so anzusetzen, dass die Schwimmfähigkeit der Anlage auch bei voller Belastung und unter Berücksichtigung der höchsten möglichen auftretenden Wellen gewahrt bleibt. Diese definierte Ebene ist als sogenannte Einsenkungsmarke auf beiden Seiten des Schwimmkörpers sowie an beiden Enden seiner Längsausdehnung deutlich sichtbar und auf dauerhafte Weise anzubringen. Die Einsenkungsmarke besteht gemäß § 14 Abs. 2 SchAVO aus einem waagrecht liegenden weißen Rechteck, das 30 Zentimeter lang und 3 Zentimeter hoch ist. Der belastete Schwimmkörper darf nicht tiefer als bis zu dieser Marke eintauchen.²¹⁸



Abbildung 6.1: Freibordmarke und Einsenkungsmarke auf dem Kreuzfahrtschiff „Scenic Jewel“²¹⁹

²¹⁷ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 14 Abs. 1

²¹⁸ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 14 Abs. 2

²¹⁹ [30] Kolar, Aufnahmedatum: Mai 2016

In Abbildung 6.1 ist rechter Hand die erwähnte Einsenkungsmarke ersichtlich. Ebenso ist linker Hand die sogenannte Freibordmarke zu sehen. Im Gegensatz zu Binnenschiffen wird auf Seeschiffen anstatt der Einsenkungsmarke die Freibordmarke verwendet.

Die Freibordmarke wurde in den 1870er Jahren von Samuel Plimsoll eingeführt und ist demnach auch unter der Bezeichnung „Plimsoll-Marke“ bekannt. Sie gibt grundsätzlich die Grenze für den infolge Beladung veränderlichen Freibord des Schiffsrumpfes an. Wie in Abbildung 6.1 und Abbildung 6.2 ersichtlich, besteht die Freibordmarke aus einem Ring von 300 Millimetern Außendurchmesser, der durch einen waagrechten Strich von 450 Millimetern Länge und 25 Millimetern Breite geschnitten wird. Die Oberkante des Striches verläuft durch den Mittelpunkt des Ringes.²²⁰



Abbildung 6.2: Ahming und Freibordmarke auf der M/S „Wientank-1“²²¹

Außerdem ist in Abbildung 6.2 die sogenannte Ahming ebenfalls ersichtlich. Unter Ahming versteht man eine Tiefgangsmarke, die am Bug und Heck eines Seeschiffes bzw. auch mittschiffs angebracht ist.²²² Die Tiefgangsangabe wird hier von der Unterkante des Kiels nach oben gerechnet und wird in Dezimetern oder alternativ dazu in englischen Fuß angegeben, wobei idR beide Angaben parallel auf den beiden Seiten eines Schiffes vorzufinden sind.²²³

²²⁰ [36] Brockhaus, Naturwissenschaften und Technik Band 2, Seite 150

²²¹ [30] Kolar, Aufnahmedatum: Mai 2016

²²² [35] Eichler: vom Bug zum Heck – Seemännisches Hand- und Wörterbuch, Seite 20

²²³ [12] Brockhaus, Naturwissenschaften und Technik, Seite 128

Gemäß §14 Abs. 3 SchAVO ist eine schwimmende Schifffahrtsanlage und ihre Verbindung mit dem Ufer unter Berücksichtigung ihres Verwendungszweckes in einer solchen Art und Weise zu bauen und instand zu halten, dass die Sicherheit der Schifffahrt und auch der Personen, die die Anlage benützen, gewährleistet ist. Das Sinken bzw. Kentern der schwimmenden Anlage soll verhindert werden. Außerdem ist eine schwimmende Anlage gemäß § 14 Abs. 3 SchAVO an ihrem Standort derart zu befestigen, dass die Anlage gegen Losreißen oder Verschieben durch Strömung, Wind, Wellen und Wasserstandsschwankungen sowie durch den Sog und den Wellenschlag vorbeifahrender Fahrzeuge gesichert ist.²²⁴

Für schwimmende Anlagen an Wasserstraßen iSd § 15 SchFG sieht der österreichische Gesetzgeber in § 14 Abs. 4 SchAVO erweiterte und strengere Sicherheitsvorschriften vor. Demnach sind schwimmende Schifffahrtsanlagen auf Wasserstraßen am Ufer mit Ketten oder Drahtseilen an einbetonierten Haftringen oder Pollern fest und dauerhaft, unter Verwendung entsprechend starker und langer Schorbäume oder gleichwertiger technischer Lösungen wie beispielsweise entsprechend ausgelegte Stege oder Führungsdalben, festzumachen. Ketten oder Seile, die zum Festmachen der schwimmenden Anlage verwendet werden, sind außerdem gegen mutwilliges Lösen zu sichern.²²⁵



Abbildung 6.3: Befestigung eines schwimmenden Anlegesteges am Ufer²²⁶

²²⁴ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 14 Abs. 3

²²⁵ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 14 Abs. 4

²²⁶ [30] Kolar, Aufnahmedatum: Mai 2016

In jenen Bereichen, in denen Ketten oder Seile über Wege geführt werden, die entlang dem Ufer verlaufen, sind diese darüber hinaus gemäß § 14 Abs. 4 SchAVO zum Schutz vor Beschädigung und zur Vermeidung von Unfällen derart zu versenken bzw. zu verdecken, sodass keine Stolperstellen entstehen.²²⁷

Wie in Abbildung 6.3 ersichtlich, ist die schwimmende Anlage mit Drahtseilen an einbetonierten Pollern am Ufer befestigt. Als Abstandhalter werden sogenannte Schorbäume iSd § 14 Abs. 4 SchAVO in Verbindung mit ÖNORM EN 14504 verwendet (siehe Kapitel 7 „ÖNORM EN 14504“ auf Seite 97).

Die im § 14 Abs. 4 SchAVO erwähnte Dalbe, ist ebenso ein zentrales Element im Zusammenhang mit dem Festmachen bzw. Sichern einer schwimmenden Anlage. Unter einer Dalbe versteht man in den Hafengrund eingerammte Einzelpfähle oder Pfahlbündel, die dem Befestigen bzw. dem Abweisen von Schiffen, dem vertikalen Führen von schwimmenden Anlagen oder der Markierung von Fahrrinnen dienen.²²⁸



Abbildung 6.4: Führungsdalben für einen schwimmenden Anlegesteg im Yachthafen „Marina Wien“²²⁹

Abbildung 6.4 zeigt unter anderem eine Führungsdalbe im Yachthafen „Marina Wien GmbH“. Die Führungsdalbe fixiert die lagemäßige Position der schwimmenden Steganlage in der horizontalen Ebene, lässt bei Wasserstandsschwankungen aber sehr wohl vertikale Bewegungen der Anlage zu.

²²⁷ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 14 Abs. 4

²²⁸ [17] Brockhaus, Naturwissenschaften und Technik, Band 1, Seite 227

²²⁹ [30] Kolar, Aufnahmedatum: Mai 2016

Gemäß § 14 Abs. 5 SchAVO muss sich auf schwimmenden Schifffahrtsanlagen eine ausreichende Anzahl von Rettungsmitteln befinden, mindestens jedoch ein Rettungsring entsprechend der Europäischen Norm ÖNORM EN 14144 „Rettungsringe, Anforderung, Prüfungen“ vom 1. Juni 2003, der mit einer mindestens 25 m langen schwimmfähigen Leine versehen ist. Die Rettungsringe sind so anzubringen, dass sie zur Rettung von Personen von jedermann ungehindert und rasch verwendet werden können. Eine missbräuchliche Verwendung der Rettungsringe ist verboten. Außerdem ist gemäß § 14 Abs. 7 SchAVO sowohl der Name als auch der Wohnsitz (Sitz) des Bewilligungsinhabers auf der schwimmenden Schifffahrtsanlage anzubringen.²³⁰

6.3 § 15 SchAVO – Schwimmende Anlagen zur Lagerung gefährlicher Stoffe

In § 15 SchAVO wird grundsätzlich die Lagerung von gefährlichen Stoffen auf schwimmenden Anlagen geregelt:

„Die Lagerung von brennbaren Flüssigkeiten gemäß Anhang I der Richtlinie 2012/18/EU zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen, zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinie 96/82/EG, ABl. Nr. L 197 vom 24.7.2012, in schwimmenden Anlagen ist nur für Versorgungsanlagen und für Anlagen zur Übernahme von Schiffsbetriebsabfällen und Abfällen aus dem Ladungsbereich zulässig, deren Lagerungsvolumen die in Anhang I der Richtlinie 2012/18/EU festgelegten Schwellenwerte unterschreitet. Die Lagerung der übrigen in Anhang I der Richtlinie 2012/18/EU angeführten gefährlichen Stoffe in schwimmenden Anlagen ist verboten.“²³¹

§ 15 SchAVO sieht für die Lagerung von brennbaren Flüssigkeiten grundsätzlich zwei Schranken vor: Einerseits ist die Lagerung von brennbaren Flüssigkeiten lediglich für Versorgungsanlagen iSd § 2 Z 24 SchFG sowie für Anlagen zur Übernahme von Schiffsbetriebsabfällen und Abfällen aus dem Ladungsbereich zulässig. Andererseits knüpft der Gesetzgeber die Zulässigkeit einer solchen Lagerung an die in Anhang I der Richtlinie 2012/18/EU maßgeblichen Schwellenwerte.

Es ist daher lediglich die Lagerung brennbarer Flüssigkeiten gemäß Anhang I Richtlinie 2012/18/EU auf schwimmenden Anlagen gestattet. Eine Lagerung sämtlicher anderer gefährlicher Stoffe ist demnach nicht zulässig.

Im Folgenden wird auf die „Richtlinie 2012/18/EU zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen, zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinie 96/82/EG“, ABl. Nr. L 197 vom 24.7.2012 – in der Literatur oftmals auch als „Seveso III-Richtlinie“ bezeichnet – näher eingegangen.

²³⁰ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 14

²³¹ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 15

6.3.1 Richtlinie 2012/18/EU zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen, zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinie 96/82/EG

Die Richtlinie 2012/18/EU setzt sich aus 34 Artikeln sowie den Anhängen I bis VII zusammen. Zunächst sind in der Richtlinie die Gründe für deren Erlass angeführt.

Wesentliche Gründe, die die Europäische Union zum Erlass dieser Richtlinie bewegen haben und die definierten Ziele werden nachfolgend kurz dargestellt und erläutert.

6.3.1.1 Gründe für den Erlass der Richtlinie 2012/18/EU

Industrieunfälle können oft schwerwiegende und verheerende Folgen nach sich ziehen, wie unter anderem die Unfälle in Seveso, Bhopal, Schweizerhalle, Enschede, Toulouse oder Buncefield belegen.

Je nach Ausmaß bzw. Art des Industrieunfalls können sich negative ökologische oder wirtschaftliche Konsequenzen durchaus weit über die nationale Territorialität hinaus ergeben. Es bedarf daher gewisser Sicherheitsvorkehrungen, Standards sowie konkreter Maßnahmen zur Minimierung des Risikos, zur Prävention von Industrieunfällen und sofern sie dennoch auftreten sollten, zur Abmilderung der Auswirkungen.

Um ein hohes Schutzniveau sowohl für Bürger, Gemeinden als auch der Umwelt in der gesamten Europäischen Union zu gewährleisten, muss sichergestellt werden, dass geeignete vorbeugende Maßnahmen ergriffen werden. Das bestehende, schon hohe Schutzniveau muss daher zumindest gleich bleiben oder darüber hinaus sogar noch verbessert werden. Da dies auf Ebene der einzelnen Mitgliedsstaaten nicht ausreichend verwirklicht werden kann, wird die Europäische Union tätig und setzt diese Ziele auf Unionsebene fest.²³²

Im Folgenden wird auf die Artikel 1, 3 sowie auf den Anhang I der Richtlinie 2012/18/EU näher eingegangen.

6.3.1.2 Artikel 1 Richtlinie 2012/18/EU – Gegenstand

In Artikel 1 der Richtlinie 2012/18/EU werden abermals der Gegenstand und die Ziele der Richtlinie 2012/18/EU genannt:

„Diese Richtlinie legt Bestimmungen für die Verhütung schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen und für die Begrenzung der Unfallfolgen für die menschliche Gesundheit und die Umwelt fest, um auf abgestimmte und wirksame Weise in der ganzen Union ein hohes Schutzniveau zu gewährleisten.“²³³

²³² [18] Richtlinie 2012/18/EU, Abs. 2, 6, 30

²³³ [18] Richtlinie 2012/18/EU, Artikel 1

6.3.1.3 Artikel 3 Richtlinie 2012/18/EU – Begriffsbestimmungen

Im Artikel 3 der Richtlinie 2012/18/EU werden die für die RL relevanten Begriffe definiert.

Die für diese Diplomarbeit wesentlichen Begriffe werden im Folgenden aufgegriffen und gegebenenfalls näher erläutert.

Der Begriff Betrieb umfasst den gesamten unter der Aufsicht eines Betreibers stehenden Bereich, in dem gefährliche Stoffe in einer oder in mehreren Anlagen, vorhanden sind. Dies gilt auch für gemeinsame oder verbundene Infrastrukturen oder Tätigkeiten. Die Betriebe sind entweder den Betrieben der unteren Klasse oder den Betrieben der oberen Klasse zuzuordnen.²³⁴

Bei einem Betrieb der unteren Klasse iSd Artikel 3 Richtlinie 2012/18/EU handelt es sich um einen Betrieb, in dem gefährliche Stoffe in Mengen vorhanden sind, die den in Anhang I Teil 1 Spalte 2 (siehe Seite 84) oder Anhang I Teil 2 Spalte 2 (siehe Seite 85) genannten Mengen entsprechen oder darüber liegen; aber jedenfalls unter den in Anhang I Teil 1 Spalte 3 oder Anhang I Teil 2 Spalte 3 genannten Mengen liegen. Gegebenenfalls ist die Additionsregel gemäß Anhang I Anmerkung 4 anzuwenden.

Ein Betrieb der oberen Klasse hingegen ist ein Betrieb, in dem gefährliche Stoffe in Mengen vorhanden sind, die den in Anhang I Teil 1 Spalte 3 oder Anhang I Teil 2 Spalte 3 genannten Mengen entsprechen oder darüber liegen. Ebenso wie bei den Betrieben der unteren Klasse ist gegebenenfalls die Additionsregel gemäß Anhang I Anmerkung 4 anzuwenden.

Die jeweiligen Grenzwerte, die für die Einstufung in die untere oder obere Klasse maßgebend sind, sind in Anhang I Richtlinie 2012/18/EU angeführt. Auf den Anhang I der Richtlinie 2012/18/EU wird im Anschluss an die weitere Begriffsdefinition genauer eingegangen.

Eine Anlage iSd Artikels 3 der Richtlinie 2012/18/EU ist eine sowohl ober- als auch unterirdische technische Einheit innerhalb eines Betriebes, in der gefährliche Stoffe hergestellt, verwendet, gehandhabt oder gelagert werden. Es werden alle Einrichtungen, Bauwerke, Rohrleitungen, Maschinen, Werkzeuge, Privatgleisanschlüsse, Hafenbecken, Umschlaganlagen, Anlegebrücken, Lager u. dgl., aber auch schwimmende Konstruktionen, die für die Tätigkeit dieser Anlage erforderlich sind, umfasst.

Ein gefährlicher Stoff ist ein Stoff oder ein Gemisch, der/das unter Anhang I Teil 1 fällt oder in Anhang I Teil 2 aufgeführt ist. Dies gilt ebenso bei Vorhandensein des Stoffes in Form eines Rohstoffes, eines Endproduktes, eines Nebenproduktes, eines Rückstandes oder eines Zwischenproduktes.

²³⁴ [18] Richtlinie 2012/18/EU, Artikel 3, Z 1

Unter dem Begriff Risiko wird die Wahrscheinlichkeit, dass innerhalb einer bestimmten Zeitspanne oder unter bestimmten Umständen eine bestimmte Wirkung eintritt, verstanden.

Das Vorhandensein einer Menge gefährlicher Stoffe zum Zweck der Einlagerung, der Hinterlegung zur sicheren Aufbewahrung oder der Lagerhaltung wird unter dem Begriff Lagerung subsummiert.²³⁵

Nachdem nun die wesentlichen Begriffe iSd Artikels 3 Richtlinie 2012/18/EU definiert sind, wird nachfolgend auf den Anhang I Richtlinie 2012/18/EU betreffend gefährliche Stoffe näher eingegangen.

6.3.1.4 Anhang I Richtlinie 2012/18/EU – Gefährliche Stoffe

Der Anhang I dieser EU-Richtlinie ist grundsätzlich in zwei Teile gegliedert, wobei in Teil 1 eine Klassifizierung in Gefahrenkategorien sowie eine Festlegung der jeweiligen Schwellenwerte erfolgt. Teil 2 des Anhangs I der Richtlinie 2012/18/EU umfasst eine Auflistung im Umfang von 48 gefährlichen Stoffen sowie die dazugehörigen Schwellenwerte iZm der Lagerung des jeweiligen Stoffes.

Auf gefährliche Stoffe, die unter die Gefahrenkategorien des Teils 1, Spalte 1 des Anhangs I fallen, finden die in den Spalten 2 und 3 des Teils 1 genannten Mengenschwellen Anwendung.²³⁶

Sofern ein gefährlicher Stoff unter Teil 1 des Anhangs I fällt und ebenfalls in Teils 2 aufgeführt ist, finden die in den Spalten 2 und 3 des Teils 2 genannten Mengenschwellen Anwendung.²³⁷

²³⁵ [18] Richtlinie 2012/18/EU, Artikel 3

²³⁶ [18] Richtlinie 2012/18/EU, Anhang I

²³⁷ [18] Richtlinie 2012/18/EU, Anhang I

6.3.1.4.1 Teil 1 – Gefahrenkategorien von gefährlichen Stoffen

Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3
Gefahrenkategorien gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008	Mengenschwelle (in Tonnen) für gefährliche Stoffe gemäß Artikel 3 Absatz 10 für die Anwendung von	
	Anforderungen an Betriebe der unteren Klasse	Anforderungen an Betriebe der oberen Klasse
P5a ENTZÜNDBARE FLÜSSIGKEITEN <ul style="list-style-type: none"> • entzündbare Flüssigkeiten der Gefahrenkategorie 1 • entzündbare Flüssigkeiten der Gefahrenkategorie 2 oder 3, die auf einer Temperatur über ihrem Siedepunkt gehalten werden • andere Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt von $\leq 60^\circ\text{C}$, die auf einer Temperatur über ihrem Siedepunkt gehalten werden (siehe Anmerkung 12) 	10	50
P5b ENTZÜNDBARE FLÜSSIGKEITEN <ul style="list-style-type: none"> • entzündbare Flüssigkeiten der Gefahrenkategorie 2 oder 3, bei denen besondere Verarbeitungsbedingungen wie hoher Druck oder hohe Temperatur zu Gefahren schwerer Unfälle führen können • andere Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt von $\leq 60^\circ\text{C}$, bei denen besondere Verarbeitungsbedingungen wie hoher Druck oder hohe Temperatur zu Gefahren schwerer Unfälle führen können (siehe Anmerkung 12) 	50	200
P5c ENTZÜNDBARE FLÜSSIGKEITEN Entzündbare Flüssigkeiten der Gefahrenkategorie 2 oder 3, nicht erfasst unter P5a und P5b	5.000	50.000

Tabelle 6.1: Richtlinie 2012/18/EU Anhang I, Teil 1 Gefahrenkategorien von gefährlichen Stoffen²³⁸

Wie bereits erwähnt, ist lediglich die Lagerung entzündbarer Flüssigkeiten gemäß § 15 SchAVO iVm der Richtlinie 2012/18/EU gestattet, weshalb in der obenstehenden Tabelle keine weiteren gefährlichen Stoffe aus Anhang I angeführt werden.

²³⁸ [18] Richtlinie 2012/18/EU, Anhang I

6.3.1.4.2 Teil 2 – Namentlich aufgeführte gefährliche Stoffe

Wie bereits erwähnt, enthält Anhang I Teil 2 der RL 2012/18/EU idgF eine namentliche Auflistung im Umfang von insgesamt 48 gefährlichen Stoffen. Die für diese Diplomarbeit relevanten gefährlichen Stoffe werden in der untenstehenden Tabelle angeführt.

<i>Spalte 1</i>	<i>CAS-Nr.</i>	<i>Spalte 2</i>	<i>Spalte 3</i>
		<i>Mengenschwelle (in Tonnen) für die Anwendung in</i>	
<i>Gefährliche Stoffe</i>		<i>Betrieben der unteren Klasse</i>	<i>Betrieben der oberen Klasse</i>
<i>22. Methanol</i>	<i>67-56-1</i>	<i>500</i>	<i>5.000</i>
<i>34. Erdölerzeugnisse und alternative Kraftstoffe</i> <i>a) Ottokraftstoffe und Naphta</i> <i>b) Kerosine (einschließlich Flugturbinenkraftstoffe)</i> <i>c) Gasöle (einschließlich Dieselkraftstoffe, leichtes Heizöl und Gasölmischströme)</i> <i>d) Schweröle</i> <i>e) alternative Kraftstoffe, die denselben Zwecken dienen und in Bezug auf Entflammbarkeit und Umweltgefährdung ähnliche Eigenschaften aufweisen wie die unter den Buchstaben a bis d genannten Erzeugnisse</i>	<i>-</i>	<i>2.500</i>	<i>25.000</i>

Tabelle 6.2: Richtlinie 2012/18/EU Anhang I, Teil 2: Namentlich aufgeführte gefährliche Stoffe²³⁹

Die CAS-Nummer (CAS = Chemical Abstracts System) ist ein internationaler Bezeichnungsstandard für chemische Stoffe. Die CAS-Datenbank wird vom „Chemical Abstracts Service“, einer Institution von der „American Chemical Society“ mit Sitz in den USA, verwaltet. Für jeden in der CAS-Datenbank registrierten chemischen Stoff existiert eine eindeutige CAS-Nummer. Diese stoffspezifische Nummer soll sicherstellen, dass es in Gesetzes- und Verwaltungsvorschriften zu keinen Stoffverwechslungen kommt. Im Juni 2015 wurde die 100 Millionste Substanz in die CAS-Datenbank aufgenommen.²⁴⁰

²³⁹ [18] Richtlinie 2012/18/EU, Anhang I

²⁴⁰ [27] Streit/Bruno Streit/Elke Kentner: Umwelt Lexikon, Seite 65

Nachfolgend wird auf die Anmerkungen zum Anhang I näher eingegangen, die sich unter anderem mit der Einstufung der Stoffe und Gemische sowie mit der bereits erwähnten Additionsregel befassen.

6.3.1.4.3 Anmerkungen zu Anhang I

Laut Anmerkung 1 zu Anhang I RL 2012/18/EU sind Stoffe und Gemische gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 eingestuft.²⁴¹

Die Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 – des europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 wurde am 31. Dezember 2008 im Amtsblatt L 353 veröffentlicht und ist am zwanzigsten Tag nach der Veröffentlichung Inkraft getreten.

Sinn und Zweck der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 ist es, ein hohes Schutzniveau für die menschliche Gesundheit und für die Umwelt sowie den freien Verkehr von Stoffen, Gemischen und Erzeugnissen iSd Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 zu gewährleisten. Weiters werden die Kriterien für die Einstufung von Stoffen und Gemischen sowie die Vorschriften für die Kennzeichnung und Verpackung gefährlicher Stoffe und Gemische harmonisiert.²⁴²

In Verbindung mit der Richtlinie 2012/18/EU ist Teil 2, Kapitel 2.6 der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 von wesentlicher Bedeutung.

In Kapitel 2.6 „Entzündbare Flüssigkeiten“ wird zunächst der Begriff „entzündbare Flüssigkeit“ definiert. Danach erfolgt eine Einteilung in drei verschiedene Gefahrenkategorien.

Entzündbare Flüssigkeiten sind Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt von maximal 60 °C.

Gemäß Tabelle 2.6.1 – Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 – Anhang I ist eine entzündbare Flüssigkeit in eine der drei Kategorien einzustufen.

Kriterien für entzündbare Flüssigkeiten	
Kategorie	Kriterium
1	Flammpunkt < 23° C und Siedebeginn ≤ 35° C
2	Flammpunkt < 23° C und Siedebeginn > 35° C
3	Flammpunkt ≥ 23° C und ≤ 60° C (*)

Tabelle 6.3: Kriterien für entzündbare Flüssigkeiten nach Tabelle 2.6.1 – Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 – Anhang I

(*)“Für die Zwecke dieser Verordnung können Gasöle, Diesel und leichte Heizöle, die einen Flammpunkt zwischen 55 °C und 75 °C haben, als zur Kategorie 3 gehörend gelten.“²⁴³

²⁴¹ [18] Richtlinie 2012/18/EU, Anmerkungen zu Anhang I, Z 1

²⁴² [25] Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 vom 16. Dezember 2008

²⁴³ [25] Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 vom 16. Dezember 2008, Anhang I

Die in den Tabellen 1 und 2 des Anhanges I der Richtlinie 2012/18/EU angegebenen Mengenschwellen gelten je Betrieb.²⁴⁴

Grundsätzlich gelten die folgenden Regeln für das Addieren von Mengen gefährlicher Stoffe oder von Kategorien gefährlicher Stoffe:

Bei einem Betrieb, in dem mehrere gefährliche Stoffe vorhanden sind, jedoch kein einzelner Stoff in einer Menge vorhanden ist, die der jeweiligen Mengenschwelle entspricht oder größer ist, wird zur Feststellung, ob der Betrieb unter die einschlägigen Vorschriften der Richtlinie fällt, folgende Additionsregel angewandt.

Die Richtlinie 2012/18/EU ist auf Betriebe der oberen Klasse anzuwenden, wenn die Summe

$$\frac{q_1}{Q_{U1}} + \frac{q_2}{Q_{U2}} + \frac{q_3}{Q_{U3}} + \frac{q_4}{Q_{U4}} + \frac{q_x}{Q_{Ux}} + \dots$$

größer oder gleich 1 ist.

Dabei ist q_x entweder die Menge der gefährlichen Stoffe ein und derselben Kategorie X, die unter Teil 1 dieses Anhangs fällt und Q_{Ux} die in Teil 1, Spalte 3 angegebene relevante Mengenschwelle für die Kategorie X, oder aber die Menge des gefährlichen Stoffes X, der unter Teil 2 dieses Anhangs fällt. Q_{Ux} ist in diesem Fall die in Teil 2 Spalte 3 angegebene relevante Mengenschwelle für den gefährlichen Stoff X.

Ein Betrieb ist als Betrieb der unteren Klasse einzustufen, wenn die Summe

$$\frac{q_1}{Q_{L1}} + \frac{q_2}{Q_{L2}} + \frac{q_3}{Q_{L3}} + \frac{q_4}{Q_{L4}} + \frac{q_x}{Q_{Lx}} + \dots$$

größer oder gleich 1 ist.

Dabei ist analog zu den Betrieben der oberen Klasse q_x die Menge des gefährlichen Stoffes X (oder gefährlicher Stoffe ein und derselben Kategorie), der (die) unter Teil 1 oder 2 dieses Anhangs fällt (fallen), und Q_{Lx} die in Teil 1, Spalte 2 oder Teil 2, Spalte 2 angegebene relevante Mengenschwelle für den gefährlichen Stoff oder die Kategorie X.“

Diese Regel dient zur Beurteilung der folgenden Gefahren:

- Gesundheitsgefahren,
- physikalische Gefahren und
- Umweltgefahren²⁴⁵

Richtlinie 2012/18/EU, Anmerkungen zu Anhang I, Z 12 besagt, dass gemäß Anhang I Abschnitt 2.6.4.5 der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 Flüssigkeiten mit einem

²⁴⁴ [18] Richtlinie 2012/18/EU, Anmerkungen zu Anhang I, Z 3

²⁴⁵ [18] Richtlinie 2012/18/EU, Anmerkungen zu Anhang I, Z 3

Flammpunkt über 35° C nicht in die Kategorie 3 eingestuft werden müssen, wenn die Prüfung L.2 zur Bestimmung der selbstunterhaltenden Verbrennung nach dem UN-Handbuch über Prüfungen und Kriterien, Teil III Abschnitt 32, negativ ausgefallen ist. Bei veränderten Bedingungen, wie einer hohen Temperatur oder Hochdruck gilt dies allerdings nicht, daher sind solche Flüssigkeiten in diesem Eintrag eingeschlossen.²⁴⁶

Die „Empfehlungen für die Beförderung gefährlicher Güter – Handbuch über Prüfungen und Kriterien“ liegt aktuell in der fünften überarbeiteten Ausgabe mit deutscher Übersetzung von 2015 vor und wird von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung herausgegeben.

Abschnitt 32 in Teil III behandelt „Klassifizierungsverfahren, Prüfverfahren und Kriterien in Bezug auf flüssige desensibilisierte explosive Stoffe und entzündbare flüssige Stoffe der Klasse 3.“

Es wird das Klassifizierungsschema der Vereinten Nationen für flüssige desensibilisierte explosive Stoffe und entzündbare flüssige Stoffe der Klasse 3 beschrieben.

Mit der Prüfung L.2 „Prüfung zur Bestimmung der selbstunterhaltenden Verbrennung“ wird bestimmt, ob ein Stoff selbstunterhaltend verbrennt, wenn er nach vorgeschriebenen Prüfbedingungen erwärmt wird und einer Flamme ausgesetzt ist.

Eine Probenmulde (ein Metallblock mit einer konkaven Vertiefung) wird auf eine definierte Temperatur erwärmt. Das definierte Volumen des zu prüfenden Stoffes wird in die Probenmulde gefüllt. Anschließend wird nach einem genau vorgeschriebenen Verfahren eine Gasbrennerflamme angenähert und wieder entfernt und die Fähigkeit, selbstunterhaltend zu verbrennen, wird registriert.²⁴⁷

6.4 § 16 SchAVO – Schwimmende Anlagen zur Lagerung entzündbarer flüssiger gefährlicher Güter

§ 16 SchAVO beschreibt im Wesentlichen die bauliche Ausgestaltung, den laufenden Betrieb sowie die Wartung von schwimmenden Anlagen zur Lagerung entzündbarer flüssiger gefährlicher Güter.

Gemäß § 16 Abs. 1 SchAVO müssen Schwimmkörper von schwimmenden Versorgungsanlagen zur Gänze aus Stahl gebaut und durch Schotte unterteilt sein.

Der österreichische Gesetzgeber reglementiert in § 16 SchAVO die Ausgestaltung für Tanks in denen entzündbare flüssige Stoffe gemäß ADN auf schwimmenden Anlagen gelagert werden. Diese entzündbaren flüssigen Stoffe gemäß ADN müssen in dichten Metalltanks, die in dem Schwimmkörper der Anlage unverschiebbar jedoch lösbar eingebaut sind, gelagert werden.

Die Wände des Schwimmkörpers, die den Tank umgeben, dürfen nicht zugleich auch Wände des Tanks selbst sein. Jener Teil des Schwimmkörpers, in dem die Tanks eingebaut sind, muss gemäß § 16 Abs. 3 SchAVO eine öldichte Wanne bilden. Diese

²⁴⁶ [18] Richtlinie 2012/18/EU, Anmerkungen zu Anhang I, Z 4

²⁴⁷ [26] Empfehlungen für die Beförderung gefährlicher Güter, Teil III – Abschnitt 32

öldichte Wanne ist über Deck zu entlüften. Das Entlüftungsrohr ist mit einer Flammendurchschlagsicherung zu versehen.²⁴⁸

Unter einer Flammendurchschlagsicherung iSd § 16 Z 4 SchAVO wird eine Einrichtung verstanden, die an der Öffnung eines Anlagenteiles oder in verbindenden Rohrleitungen eines Systems von Anlagen eingebaut ist. Die Flammendurchschlagsicherung verhindert den Durchschlag von Flammen, ermöglicht jedoch den Durchfluss von flüssigen oder gasförmigen Medien.²⁴⁹

Das Deck des Schwimmkörpers über den Tanks muss wasserdicht, jedoch lösbar sein. Sofern in der Wanne keine Einrichtungen eingebaut sind, die Leckagen bzw. das Entstehen explosiver Gemische verlässlich anzeigen, ist der Zwischenraum zwischen den Tanks und der Wanne des Schwimmkörpers entweder mit ölresistenten Füllstoffen dicht zu verfüllen oder ständig gänzlich mit Wasser gefüllt zu halten.²⁵⁰

Außerdem müssen die Tanks, in denen entzündbare flüssige Stoffe gelagert werden, mit selbsttätigen Überfüllsicherungen versehen sein. Es dürfen dabei nur jene Überfüllsicherungen verwendet werden, die einerseits zuverlässig wirken und bei denen andererseits auch die Restentleerung der Füllleitung nach selbsttätiger Sperre der Flüssigkeitszufuhr gewährleistet ist.

Eine Überfüllsicherung iSd § 16 Z 5 SchAVO ist eine Einrichtung, die Teil eines Versorgungssystems ist, welches selbsttätig verhindert, dass der Flüssigkeitspegel im Lagertank eine definierte maximale Füllhöhe übersteigt.²⁵¹

Das Füllen solcher Tanks mit Pumpen ist gemäß § 16 Abs. 5 SchAVO jedenfalls verboten. Dieses Verbot gilt jedoch nicht für das Befüllen durch ein Bunkerboot gemäß ADN-Verordnung.

Ein Bunkerboot iSd ADN-Verordnung ist grundsätzlich ein Tankschiff des „Typs N offen“, das zur Beförderung sowie zur Abgabe von Schiffsbetriebsstoffen an andere Schiffe gebaut und eingerichtet ist und eine Tragfähigkeit von bis zu 300 Tonnen hat.²⁵²

Die Klassifizierung eines Tankschiffes als „Typ N offen“ bedeutet, dass das Tankschiff gemäß ADN-Verordnung für die Beförderung von flüssigen Stoffen in offenen Ladetanks zugelassen ist.²⁵³

Die „DDSG – First-DDSG Logistics Holding GmbH“ betreibt am rechten Donauufer bei Stromkilometer 1.927,000 eine eigene Basis zur Betankung von Donauschiffen. Diese Bunkerstation besteht aus dem Motortankschubschiff MTSS „Möll“, M/S „Wientank-1“ und M/S „Wientank-2“ und hat ein Fassungsvermögen von bis zu 4 Millionen Liter Dieseltreibstoff.²⁵⁴

²⁴⁸ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 16

²⁴⁹ [41] Dybra: Lexikon Explosionsschutz, Seite 132

²⁵⁰ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 16

²⁵¹ [41] Dybra: Lexikon Explosionsschutz, Seite 338

²⁵² [40] Busch: Lexikon Gefahrgut – Gefahrgutwissen von A-Z, Seite 78

²⁵³ [28] ADN-Verordnung; BGBl. II Nr. 292/2009; Teil 1 – Kapitel 1.2.1 Begriffsbestimmungen

²⁵⁴ [46] http://www.ddsg-holding.com/?grid_products=danube-bunker-max-3



Abbildung 6.5: Das Motortankschubschiff „Möll“ der DDSG bei Stromkilometer 1.927,000²⁵⁵



Abbildung 6.6: Bunkerstation der DDSG: MTSS „Möll“ und M/S „Wientank-2“²⁵⁶

Gemäß § 16 Abs. 6 SchAVO sind Füllleitungen solcher Tanks als Rohrleitungen an Deck des Schwimmkörpers fest zu verlegen. Jener Teil des Schwimmkörpers, in dem die Tanks untergebracht sind, ist außen hell und reflektierend zu streichen bzw. auszugestalten. Die Innenwandungen des Schwimmkörpers im Bereich der öldichten Wanne sind mit einem rostbindenden und mineralölbeständigen Anstrich zu versehen. Sofern der Zwischenraum zwischen einem solchen Tank und der Wanne des Schwimmkörpers mit Füllstoff gefüllt ist, muss vom Deck aus ein Kontrollrohr mit ausreichender lichter Weite bis hinunter zum tiefsten Punkt der Wanne führen. Die-

²⁵⁵ [30] Kolar, Aufnahmedatum: Mai 2016

²⁵⁶ [30] Kolar, Aufnahmedatum: Mai 2016

ses Rohr muss bis 0,05 m über den Boden des Schwimmkörpers reichen. Unter Deck ist das Rohr in seiner ganzen Länge mit Schlitzfenstern zu versehen, über Deck ist das Rohr außerdem mit einer Kappenverschraubung abzuschließen.²⁵⁷

§ 16 Abs. 8 SchAVO sieht weitere Bestimmungen für schwimmende Anlagen, die als Tankstelle für Fahrzeuge fungieren, vor. Demnach ist jener Teil des Decks, auf dem sich die Zapfeinrichtungen befinden, mit einem flüssigkeitsdichten Bordrand zu umgeben. Die in diesem Bereich anfallenden Niederschlagswässer sind über einen im Schwimmkörper eingebauten Ölabscheider abzuleiten. Dieser Ölabscheider muss eine selbsttätige Sperre und eine normale Durchflussleistung von mindestens 1 l/s aufweisen. Außerdem muss der Ölabscheider dicht und leicht zugänglich sein sowie über eine leicht abnehmbare Abdeckung verfügen. Der Ölabscheider ist jedenfalls rechtzeitig zu entleeren. Weiters ist die Funktionsfähigkeit des Ölabscheiders regelmäßig zu überprüfen.²⁵⁸ Über die Wartung des Ölabscheiders sind gemäß § 16 Abs. 10 SchAVO schriftliche Aufzeichnungen zu führen, in denen sämtliche Wartungsarbeiten mit Datumsangabe dokumentiert werden müssen.²⁵⁹ Wird die Anlage nicht verwendet, so müssen die Tanks, insbesondere im Winter, gemäß § 16 Abs. 13 SchAVO vollkommen entleert und gasfrei gemacht werden.²⁶⁰

Außerdem ist gemäß § 16 Abs. 9 SchAVO eine Bedienungsvorschrift für den Ölabscheider auf der schwimmenden Anlage aufzubewahren sowie dem zuständigen Personal auszuhändigen. Das Personal ist darüber hinaus nachweislich gemäß § 14 ArbeitnehmerInnenschutzgesetz in der Bedienung der Anlage einzuschulen sowie über die im Gefahrenfall erforderlichen Maßnahmen zu unterweisen.²⁶¹

Für das Befüllen der Tanks von Land aus sieht der Gesetzgeber in § 16 Abs. 11 SchAVO vor, dass die Anlage mit dem Land durch einen Steg verbunden sein muss, dessen tragende Teile aus Stahl konstruiert sein müssen. Die Füllleitung ist als Rohr verlegt an diesem Steg zu befestigen und sowohl am Steg als auch am Schwimmkörper zu erden. Diese Erdleitungen sind miteinander zu verbinden. Flexible Schlauchleitungen dürfen lediglich zur Verbindung der Füllleitung am Schwimmkörper selbst mit der Leitung am Steg verwendet werden.²⁶²

In Abbildung 6.7 sind der gemäß § 16 Abs. 11 SchAVO vorgeschriebene Stahlsteg sowie die darauf angebrachten Rohrleitungen ersichtlich.

In der Detailaufnahme in Abbildung 6.8 sind außerdem die flexiblen Verbindungselemente der Rohrleitungen der schwimmenden Anlage mit jenen Rohrleitungen des Stahlsteges ersichtlich.

²⁵⁷ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 16 Abs. 6

²⁵⁸ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 16 Abs. 8

²⁵⁹ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 16 Abs. 10

²⁶⁰ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 16 Abs. 13

²⁶¹ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 16 Abs. 9

²⁶² [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 16 Abs. 11



**Abbildung 6.7: Stützpunkt der Berufsfeuerwehr Wien mit Bootstankstelle;
Lage: rechtes Donauufer –Stromkilometer ca. 1.927,700²⁶³**



**Abbildung 6.8: Detailaufnahme zu Abbildung 6.7: Flexible Schlauchleitung zur Verbindung der
Rohrleitung der schwimmenden Anlage und des Steges²⁶⁴**

²⁶³ [30] Kolar, Aufnahmedatum: Mai 2016

²⁶⁴ [30] Kolar, Aufnahmedatum: Mai 2016

Außerdem sind in Abbildung 6.7 unter anderem folgende weitere Elemente im Sinne des § 14 Abs. 4 SchAVO ersichtlich:

- Poller zum Festmachen der Trossen,
- Schorbaum als Abstandhalter von schwimmenden Anlagen,
- Trosse, in diesem Fall ein Drahtseil zur Befestigung der schwimmenden Anlage.

An der Füllstelle ist gemäß § 16 Abs.12 SchAVO ein Schild mit der Aufschrift „*Achtung! Tank ist mit Überfüllsicherung ausgestattet. Nur mit dicht angeschraubtem Schlauchanschluss füllen*“ anzubringen.²⁶⁵

Auf dem Schwimmkörper müssen außerdem mindestens 60 Liter eines wirksamen wasserabweisenden Bindemittels vorrätig sein, um so etwaige ausgetretene bzw. verschüttete Stoffe sofort mit Bindemittel bedecken zu können. Verbrauchte Bindemittel sind unverzüglich sachgerecht zu entsorgen.²⁶⁶

Fungiert eine schwimmende Anlage als Versorgungsanlage, so muss diese außerdem mit Aufnahmeeinrichtungen gemäß § 9 Abs. 4 bis 9 SchAVO ausgestattet sein.

Zu beachten ist außerdem, dass in § 13 SchAVO darüber hinaus weitere Anforderungen an Versorgungsanlagen normiert werden.

§ 9 SchAVO regelt grundsätzlich die Einrichtungen für Schifffahrttreibende in Häfen. In § 9 Abs. 4 bis 9 SchAVO finden sich konkrete Vorgaben für Aufnahmeeinrichtungen für Öle, Ölrückstände oder ölhaltige Ladungsreste. Die Aufnahmeeinrichtungen müssen unter anderem derart errichtet bzw. betrieben werden, dass der an Bord der Fahrzeuge anfallende ölhaltige Abfall jederzeit in die Aufnahmeeinrichtung abgegeben werden kann. Diese abgegebenen Abfälle sind ordnungsgemäß zu sammeln und entsprechend zu behandeln.²⁶⁷

Aufnahmeeinrichtungen müssen gemäß § 9 Abs. 4 SchAVO entweder

- hochwasserfrei aufgestellt werden,
- hochwassersicher verankert und verschlossen sein oder
- derart ausgestaltet werden, dass sie im Falle eines Hochwassers an sichere Stellen gebracht werden können.²⁶⁸

Außerdem müssen die Aufnahmeeinrichtungen gemäß § 9 Abs. 5 SchAVO mit selbst ansaugenden Pumpen ausgestattet sein und derart ausgestaltet sein, dass bei der Einbringung bzw. Lagerung der Abfälle diese weder in das Gewässer noch in den Boden eindringen können. Pumpen, Rohrleitungen sowie Schläuche müssen dicht sein und außerdem einer jährlichen Druckprobe unterzogen werden. Um zu vermeiden, dass beim An- und Abschrauben von Schläuchen die Abfälle in das Gewässer

²⁶⁵ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 16 Abs. 12

²⁶⁶ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 16 Abs. 14

²⁶⁷ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 9

²⁶⁸ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 9 Abs. 4

gelangen, ist die Übernahmestelle dementsprechend auszuführen. Die Aufnahmeeinrichtungen sind weiters so zu errichten bzw. zu betreiben, dass die Ordnung der Schifffahrt und die Flüssigkeit des Schiffverkehrs aufrecht erhalten bleibt sowie die Sicherheit von Schifffahrt und Personen nicht gefährdet wird.²⁶⁹

Die zur Benützung von Aufnahmeeinrichtungen vorgesehenen Landungsplätze dürfen nur von Fahrzeugen, die Öle, Ölrückstände oder ölhaltige Wässer abgeben wollen, benützt werden.

Der Gesetzgeber sieht in § 9 Abs. 6 SchAVO weiters vor, dass Aufnahmeeinrichtungen mit geeigneten Feuerlöscheinrichtungen gemäß § 8 Abs. 5 SchAVO ausgerüstet sein müssen. Art, Anzahl, Leistungsfähigkeit, Aufstellungsort sowie Kennzeichnung dieser Feuerlöscheinrichtungen sind von der Behörde festzusetzen.²⁷⁰

Auf schwimmenden Versorgungsanlagen, die für die Lagerung von entzündbaren flüssigen Stoffen mit einem Flammpunkt von 23 °C bis 100 °C bestimmt sind, dürfen hinsichtlich der Ausgestaltung die Bestimmungen des ADN für Tankfahrzeuge angewendet werden; für diese Anlagen sind nur die Bestimmungen der Abs. 1, 8 bis 10, 13 und 14 ADN-Verordnung maßgeblich.²⁷¹

Die „Verordnung des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie über die Beförderung gefährlicher Güter auf Wasserstraßen“ – kurz ADN-Verordnung regelt grundsätzlich die Beförderung gefährlicher Güter auf Wasserstraßen gemäß § 15 Schifffahrtsgesetz.²⁷²

§ 15 SchFG definiert im Wesentlichen die Wasserstraßen in Österreich. Demnach sind Wasserstraßen iSd § 15 SchFG die Donau (einschließlich Wiener Donaukanal), die March, die Enns und die Traun, mit allen ihren Armen, Seitenkanälen, Häfen und Verzweigungen. Ausgenommen davon sind die in der Anlage 2 angeführten Gewässerteile:²⁷³

1. *„Die Neue Donau (Entlastungsgerinne) vom Einlaufbauwerk (Strom-km 1938,060) bis zum Wehr II (Strom-km 1918,300);*
2. *Staustufe Greifenstein: der oberhalb der Schwelle (Strom-km 1948,890, rechtes Ufer) gelegene Teil des Donaualtarmes;*
3. *Staustufe Altenwörth: der oberhalb der Schwelle (Strom-km 1979,550, linkes Ufer) gelegene Teil des Donaualtarmes;*
4. *Staustufe Melk: der oberhalb der Schwelle (Strom-km 2037,300, linkes Ufer) gelegene Teil des linksufrigen Donaualtarmes sowie der oberhalb der Schwelle (Strom-km 2035,700, rechtes Ufer) gelegene Teil des Melker Donaualtarmes;*
5. *Staustufe Abwinden: der oberhalb der Schwelle (Strom-km 2120,400, linkes Ufer) gelegene Teile des Donaualtarmes;*

²⁶⁹ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 9 Abs. 5

²⁷⁰ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 9 Abs. 6

²⁷¹ [9] Schifffahrtsanlagenverordnung, § 16

²⁷² [28] ADN-Verordnung; BGBl. II Nr. 292/2009; Teil 1

²⁷³ [10] Schifffahrtsgesetz, § 15

6. die Enns ab Fluß-km 2,70;
7. die Traun ab Fluß-km 1,80;
8. die March ab Fluß-km 6,0.²⁷⁴

Für schwimmende Anlagen zur Lagerung entzündbarer flüssiger gefährlicher Güter ist außerdem gemäß § 16 Abs. 16 SchAVO das Gefahrgutbeförderungsgesetz, BGBl. I Nr. 145/1998 idgF, sinngemäß anzuwenden.

Das „Bundesgesetz über die Beförderung gefährlicher Güter (Gefahrgutbeförderungsgesetz – GGBG)“ wurde mit dem BGBl. I Nr. 145/1998 erlassen, am 20. August 1998 ausgegeben und liegt aktuell in der Fassung BGBl. I Nr. 91/2013 vor. Im GGBG werden unter anderem Regelungen im Zusammenhang mit Verpackungen, Containern oder Tanks für gefährliche Güter getroffen. Außerdem finden sich im GGBG generelle Pflichten bzw. Verhaltensweisen für die an der Beförderung gefährlicher Güter Beteiligten, wie beispielsweise Beförderer, Absender, Verpacker, Befüller und Entlader.

Die Bestimmungen des GGBG sind grundsätzlich anzuwenden auf die Beförderung gefährlicher Güter

- auf der Straße,
- auf der Eisenbahn,
- auf Wasserstraßen,
- im Seeverkehr und
- im Rahmen der Zivilluftfahrt

Für diese Diplomarbeit von zentraler Bedeutung ist unter anderem § 1 Abs. 1 Z 3 GGBG, wonach die Beförderung von gefährlichen Gütern auf Wasserstraßen iSd § 15 SchFG mit Fahrzeugen gemäß § 3 Abs. 1 Z 6 lit. c iVm § 2 Z 1 SchFG vom Geltungsbereich des GGBG umfasst wird. Mit Ausnahme von Fähren, die Binnenwasserstraßen oder Binnenhäfen nur queren.

Der Geltungsbereich des GGBG umfasst auch unter anderem

- die Fahrzeuge, die zur Beförderung dieser gefährlichen Güter dienen,
- den Betrieb der o. g. Fahrzeuge und den Verkehr mit ihnen,
- die Verpackungen der gefährlichen Güter (einschließlich Großverpackungen, Container, Tanks,
- das Verpacken bzw. Einfüllen und die sonstige Handhabung der Güter im Hinblick auf die Beförderung und
- das Laden, Stauen und Entladen, sowie den Umschlag auf einen oder von einem anderen Verkehrsträger.²⁷⁵

²⁷⁴ [10] Schifffahrtsgesetz, Anlage 2

²⁷⁵ [32] Gefahrgutbeförderungsgesetz, § 1

Ebenso wie in der Schifffahrtsanlagenverordnung findet sich auch im Gefahrgutbeförderungsgesetz ein Verweis auf die ADN-Verordnung. Gemäß § 2 Z 3 GGBG ist im Falle der Beförderung gefährlicher Güter auf Wasserstraßen iSd § 1 Abs. 1 Z 3 GGBG das „Übereinkommen über die internationale Beförderung von gefährlichen Gütern auf Binnenwasserstraßen (ADN)“ idgF sinngemäß anzuwenden (vgl. [28] ADN-Verordnung; BGBl. II Nr. 292/2009).²⁷⁶

²⁷⁶ [32] Gefahrgutbeförderungsgesetz, § 2

7 ÖNORM EN 14504

Neben den bereits genannten Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien ist in Österreich in Zusammenhang mit der Errichtung sowie dem laufenden Betrieb von schwimmenden Anlagen außerdem die ÖNORM EN 14504 – „Fahrzeuge der Binnenschifffahrt – schwimmende Anlegestellen – Anforderungen, Prüfungen.“ idF 1.6.2009 zu beachten.

Die Fassung der ÖNORM EN 14504 vom 01.05.2015 mit dem Titel „Fahrzeuge der Binnenschifffahrt – Schwimmende Anlegestellen und schwimmende Anlagen auf Binnengewässern – Anforderungen, Prüfungen“ ist zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Diplomarbeit als ENTWURF deklariert.

Da die ÖNORM EN 14504 idgF vom 1.6.2009 bereits in der Diplomarbeit von Herrn DI Andreas Loy (siehe u.a. Loy Kapitel 5.3) ausführlich behandelt wurde, wird an dieser Stelle primär auf den Normen-Entwurf vom 1.5.2015 eingegangen.

Die ÖNORM EN 14504 legt grundsätzlich die sicherheitstechnischen Anforderungen an schwimmende Anlegestellen und schwimmende Anlagen für den Personenverkehr sowie deren Ausrüstung fest.

Die ÖNORM EN 14504 idF 1.5.2015 ist jedoch nicht maßgeblich für:

- *„schwimmende Anlegestellen für den Kraftfahrzeugverkehr;*
- *schwimmende Anlegestellen der Sportschifffahrt und für Fahrzeuge der Binnenschifffahrt, die keine Schiffe sind;*
- *weitergehende Anforderungen an schwimmende Anlegestellen, die dem Gefahrgutumschlag dienen;*
- *eventuell notwendige Landstege zwischen Schiff und schwimmender Anlegestelle;*
- *schwimmende Sonderkonstruktionen, die nicht dem Personenverkehr oder dem Anlegen von Schiffen dienen.*²⁷⁷

In Abschnitt 3 „Begriffe“ der ÖNORM EN 14504 idF 1.5.2015 werden relevante Begriffe definiert. Für diese Diplomarbeit von besonderer Bedeutung sind unter anderem folgende Begriffe

- *„schwimmende Konstruktion: ein schwimmendes Gebilde für den Personenverkehr auf Binnengewässern*
- *schwimmende Anlegestelle: schwimmende Konstruktion, die ausschließlich dem Anlegen und Festmachen von Schiffen zur Verkehrsverbindung zwischen Schiff und Land dient*
- *schwimmende Anlage: eine schwimmende Konstruktion mit oder ohne Anlegeplatz*
- *Schwimmkörper: ein oder mehrere fest verbundene Auftriebskörper und eine Verkehrsfläche und/oder ein Auflager der Verbindungsbrücke.*

²⁷⁷ [6] ÖNORM EN 14504 Ausgabe: 2015-05-01 „ENTWURF“; Seite 5

- *Auftriebskörper: schwimmfähiger Körper, der entweder aus wasserdichten Luftkammern besteht oder der vollständig mit einem geschlossenenporigen Werkstoff gefüllt ist*
- *Festmachereinrichtung: Einrichtung, mit der die schwimmende Konstruktion an ihrem Liegeplatz gehalten wird*
- *Schorbaum: Abstandhalter für den Schwimmkörper*
- *Freibord: Abstand zwischen der Wasserlinie und der Oberkante des Auftriebskörpers*
- *Restfreibord: Abstand zwischen der Wasserlinie und der Oberkante des Auftriebskörpers im Leckfall.*
- *Sicherheitsabstand: Abstand zwischen der Wasserlinie und dem tiefsten nicht mehr wasserdichten Punkt von Auftriebskörpern mit Luftkammern*
- *Restsicherheitsabstand: Abstand zwischen der Wasserlinie und dem tiefsten nicht mehr wasserdichten Punkt von Auftriebskörpern mit Luftkammern im Leckfall“²⁷⁸*

Der Normen-Entwurf vom 1.5.2015 sieht einige Abänderungen und Ergänzungen bezüglich der gültigen ÖNORM EN 14504 in der Fassung vom 1.6.2009 hinsichtlich der Intaktstabilität vor.

Für schwimmende Konstruktionen, die nicht an Führungen oder Dalben geführt werden und den Einwirkungen A.2 bis A.4 und A.8 nach Anhang A ausgesetzt sind, sieht der Normen-Entwurf einen Mindestwert für die metazentrische Höhe von 0,15 Metern vor. Außerdem wurden die Werte betreffend Belastungssituationen aktualisiert.²⁷⁹

Tabelle 7.1 zeigt eine Gegenüberstellung wesentlicher Anforderungen der ÖNORM EN 14504 in der Fassung vom 1.6.2009 und des ÖNORM-Entwurfes vom 1.5.2015 bezüglich Intaktstabilität.

	ÖNORM vom 1.6.2009	ÖNORM-Entwurf vom 1.5.2015
metazentrische Höhe	keine Anforderung	mindestens 0,15 Meter
Freibord	mindestens 0,30 Meter	mindestens 0,15 Meter
Sicherheitsabstand	mindestens 0,30 Meter	mindestens 0,30 Meter
Krängungswinkel	maximal 10,0°	maximal 10,0°

Tabelle 7.1: Gegenüberstellung ÖNORM 1.6.2009 und ÖNORM Entwurf 1.5.2015²⁸⁰²⁸¹

Die Einwirkung A.2 des Anhangs A gemäß ÖNORM EN 14504 idF 1.5.2015 definiert u.a. sieben verschiedene kombinierte Einwirkungen für mögliche auftretende Bemessungssituationen für schwimmende Anlegestellen und schwimmende Anlegebrücken.²⁸²

²⁷⁸ [6] ÖNORM EN 14504 Ausgabe: 2015-05-01 „ENTWURF“; Seite 6f

²⁷⁹ [6] ÖNORM EN 14504 Ausgabe: 2015-05-01 „ENTWURF“; Seite 8/

²⁸⁰ [6] ÖNORM EN 14504 Ausgabe: 2015-05-01 „ENTWURF“; Seite 7

²⁸¹ [6] ÖNORM EN 14504 Ausgabe: 2015-05-01 „ENTWURF“; Seite 8

²⁸² [6] ÖNORM EN 14504 Ausgabe: 2015-05-01 „ENTWURF“; Seite 13

Bemessungssituationen für schwimmende Brücken und die anzusetzenden Teilsicherheitsbeiwerte werden in Einwirkung A.3 definiert.²⁸³

Welche Einwirkungen für die Bemessung von schwimmenden Konstruktionen an ebendiese angesetzt werden müssen, legt die ÖNORM EN 14504 idF 1.5.2015 im Anhang A in Punkt A.4 fest.²⁸⁴

In Einwirkung A.8 nach Anhang A der ÖNORM EN 14504 idF 1.5.2015 wird grundsätzlich die Bemessung von schwimmenden Konstruktionen für den Lastfall Schiffsanlegestoß geregelt.²⁸⁵

Weitere Informationen zu den Einwirkungen des Anhanges A der ÖNORM EN 14504 idgF sind der Diplomarbeit von DI Loy [13] im Kapitel 5.3 „Einwirkungen auf schwimmende Anlagen“ auf Seite 50 zu entnehmen.

²⁸³ [6] ÖNORM EN 14504 Ausgabe: 2015-05-01 „ENTWURF“; Seite 14f

²⁸⁴ [6] ÖNORM EN 14504 Ausgabe: 2015-05-01 „ENTWURF“; Seite 15f

²⁸⁵ [6] ÖNORM EN 14504 Ausgabe: 2015-05-01 „ENTWURF“; Seite 20ff

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit der Stabilitätsbetrachtung von Schiffen, aber auch von schwimmenden Anlagen. Es wurde grundsätzlich zwischen kleinen und großen Neigungswinkeln differenziert.

Für die Stabilitätsberechnungen bei kleinen Krängungswinkeln können einige Vereinfachungen getroffen werden. Bei Neigungswinkeln, die größer als 5 Grad sind, ist die Zugrundelegung dieser vereinfachten Annahmen nicht mehr sinnvoll, da die dadurch entstehenden Abweichungen vom exakten Ergebnis nicht mehr als vernachlässigbar gelten. Daher werden in dieser Arbeit die grundlegenden Aspekte für die exakte Berechnung der Stabilität von Schiffen bzw. schwimmenden Anlagen erläutert.

Für die Beurteilung der Stabilität von Schiffen ist einerseits das aufrichtende Moment M_A und andererseits das krängende Moment M_{KR} von zentraler Bedeutung. Die in der Praxis viel häufiger verwendeten aufrichtenden und krängenden Hebel wurden in dieser Diplomarbeit ebenso behandelt.

Die Beurteilung der Stabilität erfolgte ebenso unter Berücksichtigung der wesentlichsten Stabilitätsbelastungen, die an einer schwimmenden Anlage auftreten können. Dazu zählen beispielsweise die Belastung einer schwimmenden Anlage durch Wind und Eis, durch übergehende Ladung sowie die Belastung einer Anlage durch das Anheben oder Ausschwenken von Lasten durch einen bordeigenen Kran.

Neben der Stabilitätsbetrachtung schwimmender Anlagen liegt ein weiteres Hauptaugenmerk dieser Diplomarbeit auf den rechtlichen Grundlagen sowohl für die Errichtung, den laufenden Betrieb als auch für die Wartung schwimmender Anlagen. Als wesentliche Rechtsgrundlagen dienen in diesem Zusammenhang das österreichische Schifffahrtsgesetz sowie die Schifffahrtsanlagenverordnung.

Für schwimmende Anlagen, die zur Lagerung gefährlicher Stoffe dienen, sind außerdem die ADN-Verordnung sowie das österreichische Gefahrgutbeförderungsgesetz maßgeblich.

Die Diplomarbeit unter dem Titel „Schwimmende Anlagen zur Lagerung gefährlicher Stoffe mit einer Einführung in die Hydrostatik von schwimmenden Anlagen“ deckt in Kombination mit jener von DI Loy „Bauen am Wasser“ einen wesentlichen Bereich für Sachverhalte betreffend dem Bauen am bzw. im Wasser ab. Durch die vorliegende Diplomarbeit wurden vor allem rechtliche Belange sowie Berechnungsgrundlagen im Bereich der Hydrostatik von Schiffen bzw. schwimmenden Anlagen behandelt und zusammengefasst. Dynamische Aspekte wurden bei der erfolgten Stabilitätsbetrachtung außer Acht gelassen. Die Angaben in Bezug auf Versorgungsanlagen und die ADN-Verordnung wurden im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht in voller Tiefe behandelt. Es bedarf somit einer weiteren darüber hinaus gehenden Bearbeitung und Auseinandersetzung, um einen noch tieferen Einblick in die genannten Materien zu erlangen. Ein weiteres interessantes Themengebiet im Bereich Bauen am Wasser stellt außerdem das hochwassersichere Bauen dar, das im Rahmen einer weiteren Diplomarbeit behandelt werden wird.

9 Anhang – Beispiele zur Hydrostatik

Zu der vorliegenden Diplomarbeit sind einige Beispiele zur Hydrostatik von schwimmenden Anlagen angeführt.

Die Beispiele umfassen im Wesentlichen die Berechnung der Schwerpunktkoordinaten, Ermittlung der Verdrängung und des Tiefganges. Des Weiteren wird ein simples Beispiel zum Krängungsversuch durchgerechnet.

Für eine schwimmende Arbeitsplattform werden einige theoretische Überlegungen anhand des Beispiels in Kapitel 9.6 behandelt. In Kapitel 9.7 wird die Tragfähigkeit einer bereits hergestellten schwimmenden Arbeitsplattform mit Hilfe der Herstellerunterlagen der Schwimmkörper ermittelt.

Die Schwimmstabilität einer unsymmetrischen Arbeitsplattform mit ausmittiger Belastung wird in Kapitel 9.8 berechnet.

9.1 Momentenbilanz – Schwerpunktkoordinaten²⁸⁶

Gegeben sei eine schwimmende Anlage mit den Abmessungen $L \times B \times H = 30,0 \times 15,0 \times 12,0$ Meter. Der Ursprung des gewählten Koordinatensystems liegt in Mittschiffsebene auf Höhe Kiel im Heck der Anlage. Der Beladungszustand und die Schwerpunktabstände der jeweiligen Einzelmassen sind in Tabelle 9.1 zusammengefasst.

	Einzelmassen m_i [t]	x_G l_{cg_i} [m]	y_G t_{cg_i} [m]	z_G v_{cg_i} [m]
Masse der leeren Anlage	105	15,65	0,00	4,56
Vorräte (Ebene 1)	10	21,90	1,05	3,76
Tanks (Ebene 1)	60	8,05	-0,15	4,80
Container (Ebene 2)	25	24,45	0,35	7,35
Vorräte (Ebene 2)	12	7,50	-0,95	6,95

Tabelle 9.1: Beladung und Schwerpunktabstände

Gesucht sind das Displacement der Anlage sowie die Längs- Quer- und Höhenkoordinaten des Gesamtschwerpunktes G.

Das Displacement errechnet sich nach Gleichung (3-6) wie folgt:

$$Depl = \sum_{i=1}^n m_i = 105 + 10 + 60 + 25 + 12 = 212t$$

Die Längs- Quer- und Höhenkoordinaten des Gesamtschwerpunktes werden mit Hilfe der Formeln (3-7) bis (3-9) berechnet:

²⁸⁶ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 88

$$x_G = lcg = \frac{\sum_{i=1}^n m_i * x_i}{Depl} = \frac{105 * 15,65 + 10 * 21,90 + 60 * 8,05 + 25 * 24,45 + 12 * 7,50}{212} = 14,37m$$

$$y_G = tcg = \frac{\sum_{i=1}^n m_i * y_i}{Depl} = \frac{105 * 0,00 + 10 * 1,05 + 60 * (-1,05) + 25 * 0,35 + 12 * (-0,95)}{212} = -0,01m$$

$$z_G = vcg = \frac{KG}{Depl} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i * z_i}{Depl} = \frac{105 * 4,56 + 10 * 3,76 + 60 * 4,80 + 25 * 7,35 + 12 * 6,95}{212} = 5,05m$$

Alternativ kann die Berechnung auch in Tabellenform ausgeführt werden.

	Einzelmassen m_i [t]	l_{cg_i} [m]	t_{cg_i} [m]	v_{cg_i} [m]	$l_{cg_i} * m_i$	$t_{cg_i} * m_i$	$v_{cg_i} * m_i$
Masse der leeren Anlage	105	15,65	0,00	4,56	1643,25	0,00	478,80
Vorräte (Ebene 1)	10	21,90	1,05	3,76	219,00	10,50	37,60
Tanks (Ebene 1)	60	8,05	-0,15	4,80	483,00	-9,00	288,00
Container (Ebene 2)	25	24,45	0,35	7,35	611,25	8,75	183,75
Vorräte (Ebene 2)	12	7,50	-0,95	6,95	90,00	-11,40	83,40
Summen	212 t	Displacement			3046,50	-1,15	1071,55
		$l_{cg} = x_G$	$t_{cg} = y_G$	$v_{cg} = z_G$			
Koordinaten des Gesamtschwerpunktes G:		14,37	-0,01	5,05			

Tabelle 9.2: Tabellarische Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse

Der Gesamtschwerpunkt der schwimmenden Anlage liegt höhenmäßig 5,05 Meter über Kiel und in Querrichtung einen Zentimeter aus der Mittschiffsebene. Die Längskordinate liegt in 14,37 Metern Entfernung vom Heck der Anlage.

9.2 Momentenbilanz – Veränderung des Beladungszustandes²⁸⁷

Gegeben sei eine schwimmende Anlage mit denselben Abmessungen wie in Beispiel aus 9.1: $L \times B \times H = 30,0 \times 15,0 \times 12,0$ Meter

Das Ausgangs-Displacement der Anlage beträgt 135 Tonnen. Der Ausgangsschwerpunkt der Anlage liegt 4,83 Meter über Kiel.

Im Zuge des Betriebes der Anlage wird Ladung aufgenommen, gelöscht und verschoben (Angaben gemäß Tabelle 9.3).

²⁸⁷ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 88

	Einzelmassen m_i [t]	v _{cg} [m]
Masse der Anlage im Ausgangszustand	135	4,83
hinzukommende Vorräte (Ebene 1)	7	3,95
hinzukommender Tankinhalt (Ebene 1)	40	4,30
verschobene Container (Ebene 2 => Ebene 1) von v _{cg} = 7,40 auf v _{cg} = 3,50 Meter über Kiel	25	-
Vorräte auf Ebene 2 werden gelöscht	12	6,95

Tabelle 9.3: Beladung und Schwerpunktabstände

Gesucht sind das aktuelle Displacement der Anlage und die aktuelle Lage des Höhengschwerpunktes der Anlage.

	Einzelmassen m_i [t]	v _{cg} [m]	v _{cg} * m_i
Masse der Anlage im Ausgangszustand	135	4,83	652,05
hinzukommende Vorräte (Ebene 1)	7	3,95	27,65
hinzukommender Tankinhalt (Ebene 1)	40	4,30	172,00
verschobene Container (Ebene 2 => Ebene 1) von v _{cg} = 7,40 auf v _{cg} = 3,50 Meter über Kiel	-25	7,40	-185,00
	25	3,50	87,50
Vorräte auf Ebene 2 werden gelöscht	-12	6,95	-83,40
Summen	170		670,80
die aktuelle Höhenlage des Gesamtschwerpunktes ist		3,95 m ü. Kiel	

Tabelle 9.4: Aktuelles Displacement und Höhenlage des Schwerpunktes

9.3 Tiefertauchung²⁸⁸

Eine schwimmende Arbeitsplattform mit Ausgangs-Displacement $Depl_0 = 7.550$ Tonnen schwimmt in Süßwasser ($\rho_s = 1,000 \text{ t/m}^3$). Die Wasserlinienfläche AWL beträgt 1.150 Quadratmeter. Die Wasserlinienfläche errechnet sich durch Multiplikation der Länge L mit der Breite B des Schiffes auf Höhe der Wasserlinie. Im Laufe der Arbeiten wird die Plattform auch in maritimen Bereichen mit Meerwasser ($\rho_M = 1,025 \text{ t/m}^3$) eingesetzt.

Wie viel Ladung muss hinzugefügt werden, damit die Plattform im Meerwasser um $dT = 5,0$ cm tiefer eintaucht?

Nach Gleichung (3-5) ist das Displacement das Produkt aus Dichte und Verdrängung:

$$Depl_0 = \rho_s * \nabla_0$$

Durch Umformen lässt sich das verdrängte Volumen berechnen:

$$\nabla_0 = \frac{Depl_0}{\rho_s} = \frac{7.550 \text{ t}}{1,000 \text{ t/m}^3} = 7.550 \text{ m}^3$$

²⁸⁸ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 88

Die Verdrängung der tiefer getauchten Plattform ∇_E errechnet sich aus der Verdrängung ∇_0 plus dem Produkt aus Wasserlinienfläche und dem Maß der Tiefertauchung.

$$\nabla_E = \nabla_0 + A_{WL} * dT = 7.550m^3 + 1.150m^2 * 0,05m = 7.807,5m^3$$

Das erforderliche Displacement der im Meerwasser tiefer getauchten Plattform errechnet sich wie folgt:

$$Depl_E = \rho_M * \nabla_E = 1,025t / m^3 * 7.807,5m^3 = 8.002,7t$$

Die erforderliche Zuladung M_{zul} ergibt sich durch Subtraktion von $Depl_0$ von $Depl_E$.

$$M_{zul} = Depl_E - Depl_0 = 8.002,7t - 7.550,0t = 452,7t$$

Damit die Plattform im Meerwasser um 5 cm tiefer eintaucht, muss eine Zuladung von 452,7 Tonnen aufgenommen werden.

9.4 Verringerung des Tiefganges²⁸⁹

Bei Baggerarbeiten an der Sohle eines Gewässers ($\rho_W = 1,000 t/m^3$) kommt eine Klappschute für die temporäre Lagerung des ausgebaggerten Materials zum Einsatz. Eine Klappschute ist ein Wasserfahrzeug – oft auch ohne eigenen Antrieb – das zum Transport von Baggergut vom Baggerplatz zum Löschplatz eingesetzt wird. Durch Öffnen der Klappen im Fahrzeugboden wird die transportierte Fracht gelöscht (=entladen).

Die Abmessungen der Schute betragen $L \times B \times T_0 = 50,00 \times 15,00 \times 2,50$. Der Innenraum mit den Maßen $L \times B = 30,00 \times 5,00$ Meter ist 2,30 Meter hoch mit Schlamm ($\rho_S = 2,100 t/m^3$) gefüllt.

Welcher Tiefgang stellt sich nach dem Verklappen des Schlammes ein?

Zunächst wird das Displacement der Schute bei dem Tiefgang T_0 berechnet:

$$Depl_0 = \rho_W * \nabla_0 = 1,000t / m^3 * 50,00m * 15,00m * 2,50m = 1.875t$$

Die Masse des geladenen Schlammes ergibt sich zu:

$$m_{Schlamm} = \rho_S * V_{Schlamm} = 2,100t / m^3 * 30,00m * 5,00m * 2,30m = 724,5t$$

Das Displacement der leeren Schute beträgt:

$$Depl_E = Depl_0 - m_{Schlamm} = 1.875t - 724,5t = 1.150,5t$$

²⁸⁹ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 89

Da sich die Schute in Süßwasser mit der Dichte $\rho_W = 1,000 \text{ t/m}^3$ befindet, lässt sich die Verdrängung der leeren Schute mit $\nabla_E = 1.150,5 \text{ m}^3$ sofort beziffern.

In einem weiteren Schritt berechnet man die Wasserlinienfläche A_{WL} der Klappschute nach dem Verklappen. Wenn die Klappen am Boden der Schute geöffnet sind, entleert sich der Laderaum nach unten. Gleichzeitig füllt sich der Laderaum aber mit Wasser, somit bleibt für die Ermittlung der Wasserlinienfläche nur die Differenz zwischen der Pontonfläche und der Fläche des Laderaumes.

$$A_{WL} = A_{\text{Ponton}} - A_{\text{Laderaum}} = 50,00 * 15,00 - 30,00 * 5,00 = 600 \text{ m}^2$$

Durch Division der Verdrängung der leeren Schute durch die Fläche der Wasserlinie ergibt sich der gesuchte Tiefgang nach dem Verklappen:

$$T_E = \frac{\nabla_E}{A_{WL}} = \frac{1.150,5 \text{ m}^3}{600 \text{ m}^2} = 1,92 \text{ m}$$

9.5 Krängungsversuch²⁹⁰

Bei einem Schiff mit $\text{Depl} = 3.500$ Tonnen wird ein Krängungsversuch im Süßwasser ($\rho_W = 1,000 \text{ t/m}^3$) durchgeführt. Da der Versuch im Süßwasser durchgeführt wird, hat das Displacement von 3.500 Tonnen eine Verdrängung des Schiffes von 3.500 Kubikmetern Wasser zur Folge. Dazu wird ein Gewicht $m_H = 5,0$ Tonnen um die Strecke $d_y = 8,00$ Meter zur Seite verschoben. Die vier durchgeführten Winkelmessungen mit einem sechs Meter langen Pendel ergaben folgende Ausschläge: 65 mm / 71 mm / 69 mm / 76 mm.

Gesucht sind der Krängungswinkel φ , die Strecke \overline{GM} , das aufrichtende Moment, der aufrichtende Hebel, das Breitenträgheitsmoment der Wasserlinie, sowie der Abstand $\overline{B_0 M_\varphi}$.

9.5.1 Der Krängungswinkel φ

Der Krängungswinkel φ wird über die Winkelfunktion $\tan(\varphi)$ mit dem gemittelten Pendelausschlag und der Pendellänge berechnet.

$$\tan(\varphi) = \frac{\frac{1}{4} * (65 + 71 + 69 + 76)}{6000} = 0,011708$$

Daraus ergibt sich der Krängungswinkel φ zu $0,6708^\circ$.

²⁹⁰ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 90

9.5.2 Die metazentrische Höhe

Durch Umformen der Gleichung (3-52) erhält man die metazentrische Höhe \overline{GM} wie folgt:

$$\overline{GM}(\varphi) = \frac{m_H * dy}{Depl * \tan(\varphi)} = \frac{5,0t * 8,0m}{3.500t * 0,011708} = 0,9761m$$

9.5.3 Das aufrichtende Moment

Das aufrichtende Moment erhält man durch Einsetzen in die Gleichung für die Berechnung des aufrichtenden Momentes bei kleinen Neigungswinkeln (siehe Gleichung (3-38) auf Seite 26).

$$M_A(\varphi) = \rho * g * \nabla * \overline{GM} * \sin(\varphi) = 1,00 * 9,81 * 3.500 * 0,9761 * \sin(0,6708) = 392,37kNm$$

9.5.4 Der aufrichtende Hebel

Der aufrichtende Hebel wird durch Division des aufrichtenden Momentes durch das Displacement berechnet:

$$\overline{GZ}(\varphi) = \frac{M_A(\varphi)}{Depl * g} = \frac{392,37kNm}{34.335kN} = 0,011m$$

9.5.5 Das Breitenträgheitsmoment der Wasserlinienfläche

Für die Berechnung des Breitenträgheitsmomentes der Wasserlinienfläche wird die Gleichung (3-20) wie folgt umgeformt:

$$M_A(\varphi) = I_T * \rho * g * \tan(\varphi) \Rightarrow I_T = \frac{M_A(\varphi)}{\rho * g * \tan(\varphi)} = \frac{392,37kNm}{1,000 \frac{t}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2} * 0,011708} \cong 3.417m^4$$

9.5.6 Die Strecke von B_0 nach M_φ

Die Strecke $\overline{B_0M_\varphi}$ wird mittels Gleichung (3-47) berechnet:

$$\overline{B_0M_\varphi} = \frac{I_T}{\nabla} = \frac{3.417m^4}{3.500m^3} = 0,9763m \quad (9-1)$$

9.6 Stabilität einer Arbeits- und Bohrplattform²⁹¹

Gegeben sei eine quadratische Arbeitsplattform mit vier senkrecht angeordneten Rohren als Schwimmkörper. Der Achsabstand der Rohre beträgt $e = 25,00$ Meter.

²⁹¹ [1] Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Seite 91

Die Masse der Plattform beträgt 1.300 Tonnen mit einer Schwerpunkthöhe von 14,0 Metern über der Basis. Der Verdrängungsschwerpunkt B_0 liegt 3,00 Meter über der Basis. Der aktuelle Einsatz der Plattform erfolgt im Süßwasser ($\rho_W = 1,000 \text{ t/m}^3$).

Gesucht sind:

1. Der Tiefgang der Arbeitsplattform
2. Der erforderliche theoretische Rohrdurchmesser für den Tiefgang nach Punkt 1
3. Der theoretische Mindestrohrdurchmesser für eine stabile Schwimmelage
4. Der Tiefgang bei dem Mindestrohrdurchmesser nach Punkt 3

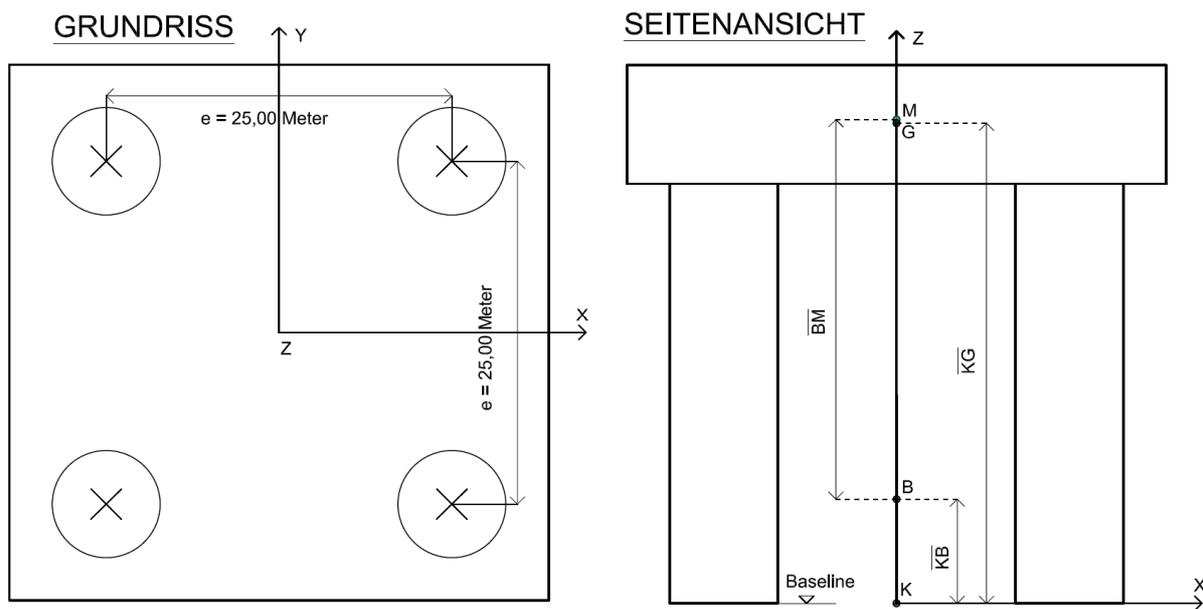


Abbildung 9.1: Geometrie der Arbeitsplattform

9.6.1 Ad 1: Tiefgang der Arbeitsplattform

Der Verdrängungsschwerpunkt B_0 ist mit 3,00 Metern über der Basis angegeben. Die Schwimmkörper sind gleich groß und symmetrisch angeordnet. Daher liegt der Verdrängungsschwerpunkt höhenmäßig in der Mitte des verdrängten Volumens.

Der Tiefgang beträgt somit 6,0 Meter.

9.6.2 Ad 2: erforderlicher theoretischer Rohrdurchmesser für den Tiefgang nach Punkt 1.

Nach Umformen der Gleichung $Depl = \rho * \nabla$ ergibt sich die Verdrängung zu $\nabla = \frac{Depl}{\rho}$.

Es müssen somit 1.300 Kubikmeter Wasser verdrängt werden. Durch den vorgegebenen Tiefgang von sechs Metern kann der erforderliche Rohrdurchmesser berechnet werden.

$$\nabla = 4 * 6,0m * \frac{d^2 * \pi}{4} = 1.300m^3$$

$$d = \sqrt{\frac{1.300m^3 * 4}{4 * 6,0m * \pi}} = 8,3m$$

Bei einem Tiefgang von sechs Metern beträgt der erforderliche Rohrdurchmesser 8,3 Meter.

9.6.3 Ad 3: theoretischer Mindestrohrdurchmesser für eine stabile Schwimmelage

In Tabelle 3.2 auf Seite 16 sind die Gleichgewichtslagen von Schwimmkörpern erläutert. Demnach ist ein Schwimmkörper instabil, wenn die Strecke \overline{GM} negativ, also kleiner als Null ist. Liegen das Metazentrum und der Gewichtsschwerpunkt auf ein und demselben Punkt (die Strecke \overline{GM} ist also genau Null), so herrscht eine indifferente Schwimmelage vor. Für eine stabile Schwimmelage muss demnach also der Abstand \overline{GM} positiv, also größer als Null sein. Unter Berücksichtigung dieser Voraussetzung wird die folgende Gleichung angeschrieben:

$$\overline{GM} = \overline{KB} + \overline{BM} - \overline{KG} = \overline{KB} + \frac{I_T}{\nabla} - \overline{KG} \geq 0$$

Die Strecke \overline{KB} beträgt laut Angabe 3,00 Meter. Die Strecke \overline{KG} ist mit 14,00 Meter beziffert.

$$3,00m + \frac{I_T}{1.300m^3} - 14,00m \geq 0 \Rightarrow I_{T\text{-erforderlich}} = 14.300m^4$$

Als hinreichend genaue Vereinfachung „auf der sicheren Seite“ wird das Eigentrigheitsmoment der vier Wasserlinienflächen vernachlässigt und es werden nur die wesentlich größeren „Steiner-Anteile“ berücksichtigt.

$$I_{T\text{-erforderlich}} = 14.300m^4 = I_{T\text{-EIGEN}} \rightarrow 0 + 4 * A * \left(\frac{e}{2}\right)^2 = 4 * \frac{d^2 * \pi}{4} * \left(\frac{25,00m}{2}\right)^2$$

Durch Umformen ergibt sich der erforderliche Mindestrohrdurchmesser zu:

$$d = \sqrt{\frac{14.300m^4}{\left(\frac{25,00m}{2}\right)^2 * \pi}} = 5,4\text{Meter}$$

Der Vollständigkeit halber wird das Eigentrigheitsmoment der vier Rohre mit dem vorhin erhaltenen Durchmesser von 5,4 Meter berechnet:

$$I_{T-EIGEN} = 4 * \frac{d^4 * \pi}{64} = 4 * \frac{5,4^4 * \pi}{64} \approx 167m^4 \ll 14.300m^4$$

9.6.4 Ad 4: Tiefgang bei dem Mindestrohrdurchmesser nach Punkt 3

$$\nabla = 4 * T * \frac{d^2 * \pi}{4} = 1.300m^3$$

Durch Umformen der Gleichung ergibt sich der theoretische Tiefgang zu:

$$T = \frac{1.300m^3}{(5,4m)^2 * \pi} = 14,2Meter$$

9.7 Schwimmende Arbeitsinsel

Es soll eine schwimmende Arbeitsinsel gemäß Abbildung 9.2 hergestellt werden.

Für den nötigen Auftrieb sollen acht Schwimmkörper der Marke „Schwimmkörper Typ 155 EasyXLBig-M“ der Firma Technus sorgen. Die Abmessungen und technischen Details sind in Abbildung 9.3 ersichtlich. Der Zusammenhang zwischen dem Tiefgang und der zugehörigen Verdrängung der einzelnen Schwimmkörperelemente ist in Abbildung 9.3 in Form einer Tabelle dargestellt.



Abbildung 9.2: schwimmende Arbeitsinsel²⁹²

²⁹² [21] <http://shop.technus.de/images/p5020008.jpg>; abgerufen am 15.03.2016

Die Breite der Arbeitsinsel beträgt 2,40 Meter (4 x Schwimmkörperbreite von 0,60 Meter). Die Länge der Plattform beträgt 3,40 Meter (2 x Schwimmkörperlänge von 1,20 Meter plus 1,00 Meter in der Mitte der Plattform).

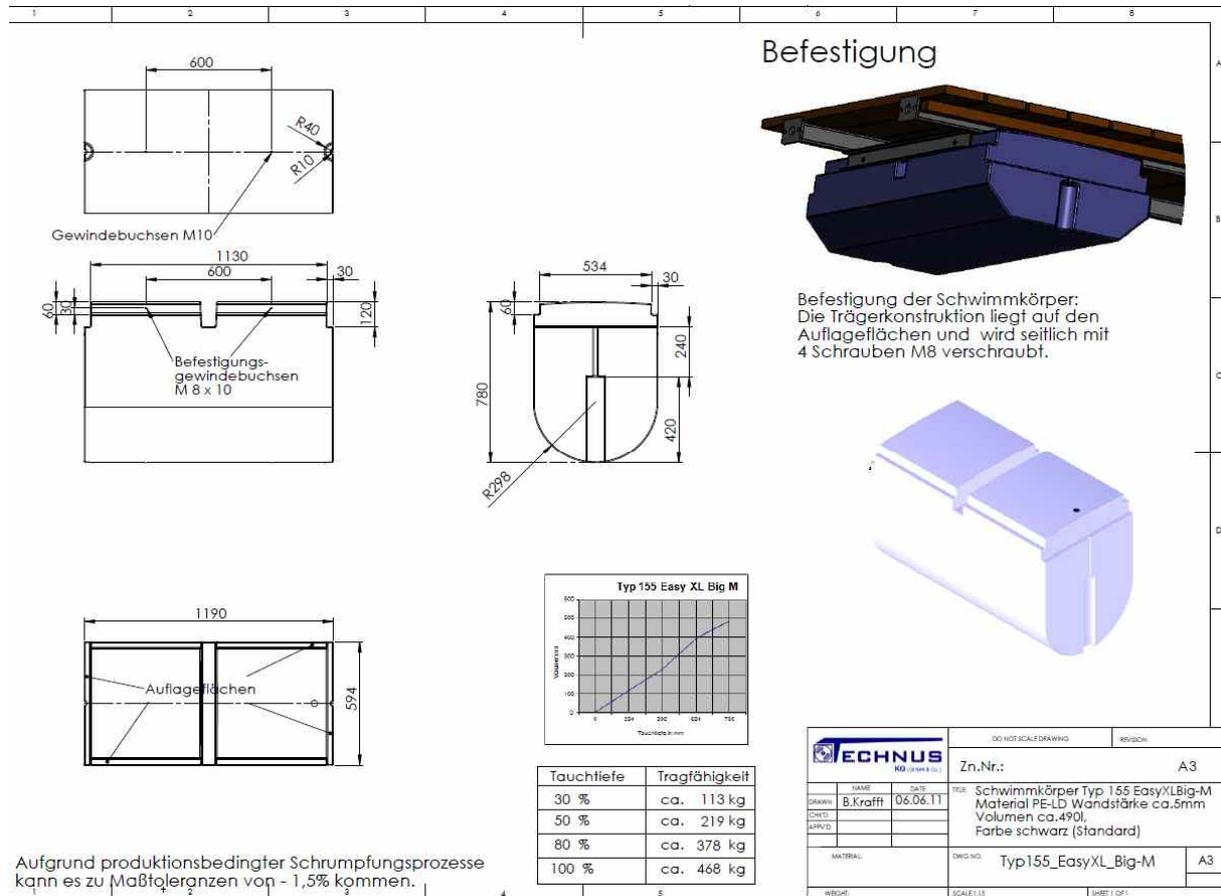


Abbildung 9.3: Produktdatenblatt „Schwimmkörper Typ 155 EasyXL-Big-M“ der Firma Technus²⁹³

9.7.1 Tragfähigkeit der Plattform

Wie groß ist die Gesamttragfähigkeit der Arbeitsplattform, wenn alle Schwimmkörper vollständig eingetaucht sind?

Laut Herstellerangaben (siehe Tabelle in Abbildung 9.3) besitzt ein Schwimmkörper vom Typ 155 EasyXL-Big-M bei vollständiger Eintauchung eine Tragfähigkeit von circa 468 Kilogramm.

Da die Arbeitsinsel aus acht Stück dieser Schwimmkörper besteht, lässt sich die Gesamttragfähigkeit (inklusive Eigengewicht) wie folgt berechnen:

$$8 * 468kg = 3.744kg$$

²⁹³ [22] <http://www.easy-ponton.de/schwimmkoerper/typ-155-easy-xl-big--mitte.php>; abgerufen am 15.03.2016

9.7.2 Tiefgang bei vorgegebener Belastung

Welchen Tiefgang hat die Arbeitsinsel bei einer Gesamtbelastung von 1.760 Kilogramm (Eigengewicht plus Zuladung)?

Die Division der 1.760 kg Gesamtbelastung durch die Anzahl der Auftriebselemente ergibt die Belastung pro Schwimmkörper:

$$\frac{1.760\text{kg}}{8} = 220\text{kg}$$

Anhand der Tabelle in den Herstellerunterlagen (Abbildung 9.3) wird die erforderliche Tragfähigkeit von 220 kg pro Element bei ca. 50% Tauchtiefe erreicht. Demnach lässt sich der zu erwartende Tiefgang mit circa 39 Zentimetern sehr einfach und rasch bestimmen.

9.8 Unsymmetrische Arbeitsplattform²⁹⁴

Gegeben sei eine asymmetrisch zusammengesetzte Schwimmkonstruktion gemäß Abbildung 9.4 und Abbildung 9.5.

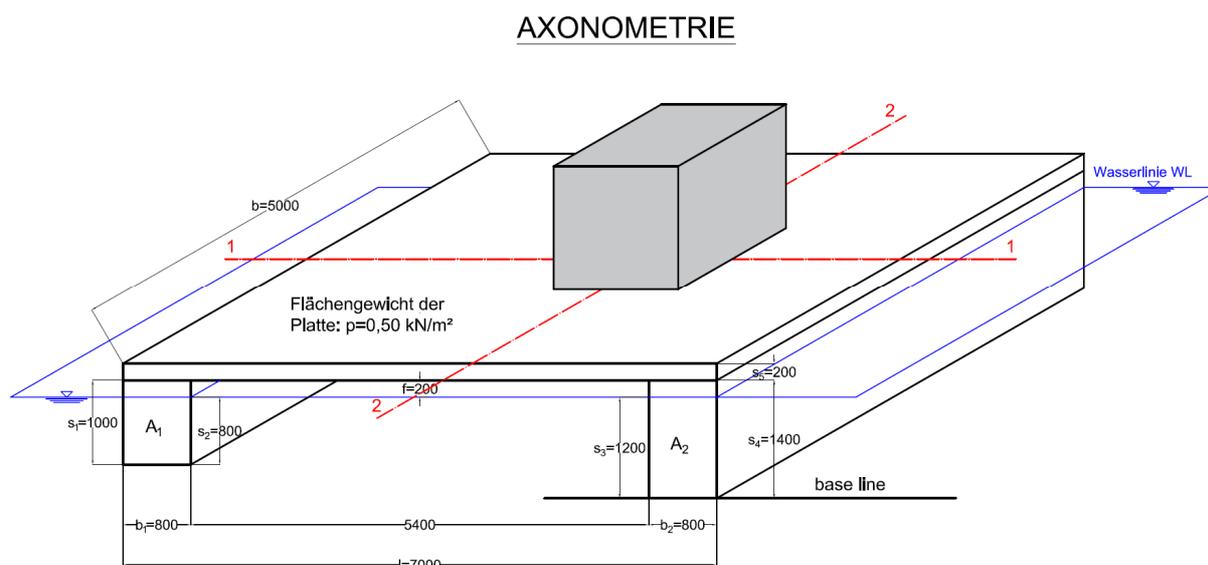
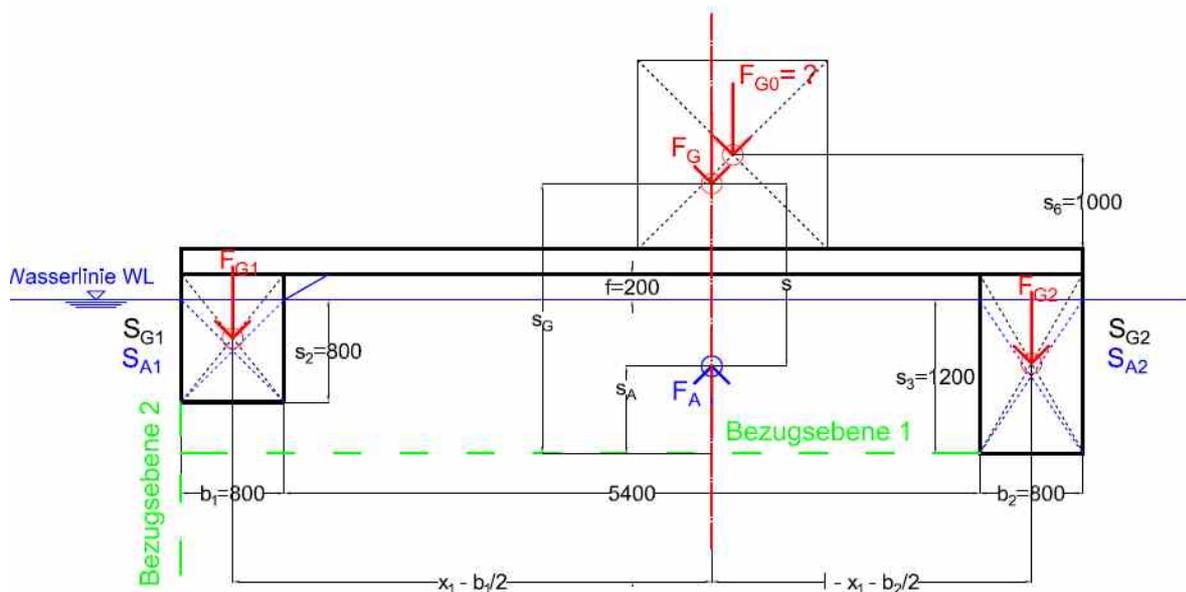


Abbildung 9.4: Axonometrie der Schwimmkonstruktion²⁹⁵

²⁹⁴ [24], Preser: Klausurtrainer Hydromechanik für Bauingenieure; Seite 40ff

²⁹⁵ [24], Preser: Klausurtrainer Hydromechanik für Bauingenieure; Seite 40

ANSICHT



GRUNDRISS

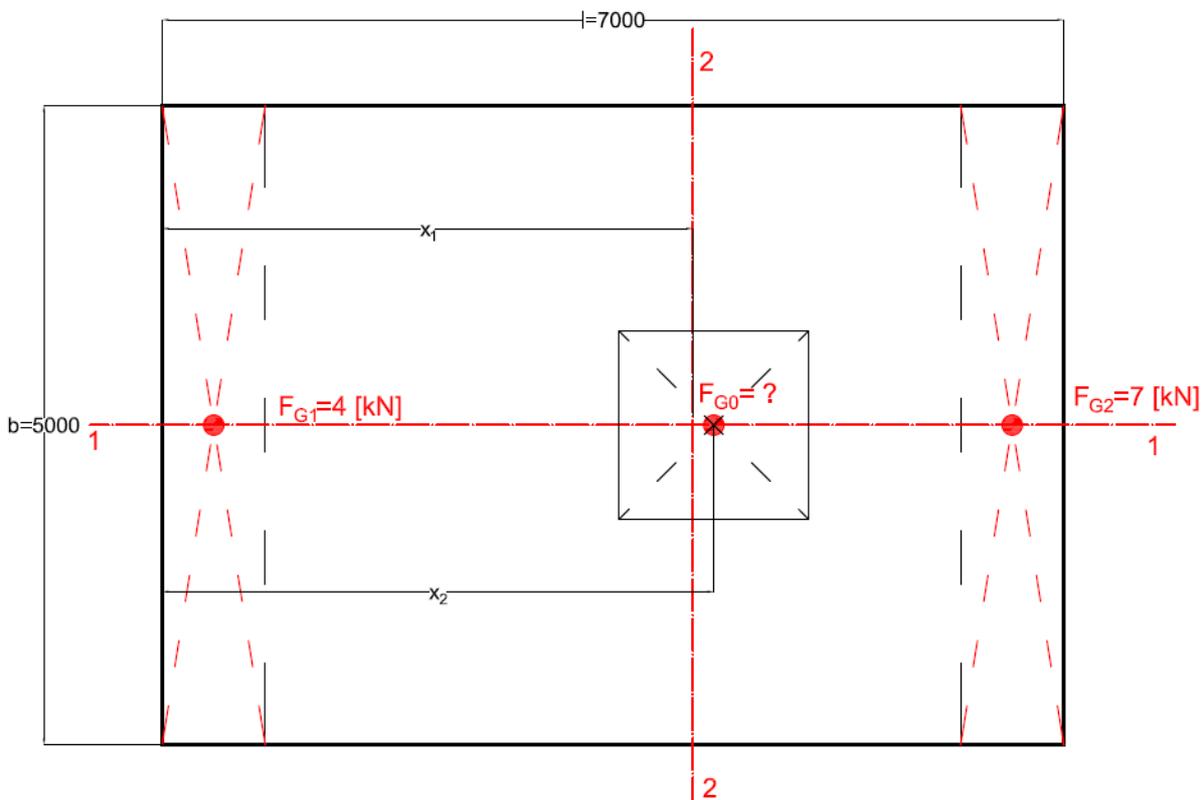


Abbildung 9.5: Grundriss und Ansicht der unsymmetrischen Plattform²⁹⁶

²⁹⁶ [24], Preser: Klausurtrainer Hydromechanik für Bauingenieure; Seite 40

Diese Konstruktion soll auf Schwimmstabilität geprüft werden. Auf dem Ponton befindet sich eine bezüglich der Achse 1 ausmittig platzierte Auflast F_{G0} . Die Dichte des Wassers beträgt $\rho_W = 1,000 \text{ t/m}^3$.

Gesucht sind die Größe und Lage der Auflast F_{G0} sowie der Nachweis der Schwimmstabilität.

Es erfolgt ein vereinfachter Nachweis für kleine Krängungswinkel:

9.8.1 Größe und Lage der Auflast F_{G0}

Für die Ermittlung der Auflast F_{G0} werden zunächst anhand der bekannten Gewichtskräfte die Auftriebskräfte berechnet. Da für die Schwimmfähigkeit die Gewichtskräfte und die Auftriebskräfte im Gleichgewicht stehen müssen, werden diese gleichgesetzt und so die unbekannte Größe F_{G0} ermittelt.

9.8.1.1 Gewichtskräfte

$$F_G = F_{G0} + F_{G1} + F_{G2} + F_{G-Platte}$$

$$F_{G-Platte} = l * b * p = 7,00m * 5,00m * 0,50 \frac{kN}{m^2} = 17,50kN$$

$$F_G = F_{G1} + 4,00kN + 7,00kN + 17,50kN = F_{G0} + 28,50kN$$

9.8.1.2 Ermittlung der Auftriebskräfte

$$F_{A1} = b_1 * s_2 * b * \gamma_W = 0,80m * 0,80m * 5,00m * 10 \frac{kN}{m^3} = 32,00kN$$

$$F_{A2} = b_2 * s_3 * b * \gamma_W = 0,80m * 1,20m * 5,00m * 10 \frac{kN}{m^3} = 48,00kN$$

$$F_A = F_{A1} + F_{A2} = 32,00kN + 48,00kN = 80,00kN$$

Gleichsetzen der Gewichtskräfte und Auftriebskräfte ergibt die gesuchte Größe F_{G0} :

$$F_A = F_G \Rightarrow 80,00kN = F_{G0} + 28,50kN \Rightarrow F_{G0} = 51,50kN$$

9.8.1.3 Berechnung der Lage von Kippachse 2

Bezugsebene für die Berechnung ist die Bezugsebene 2 (linke Außenkante von Schwimmkörper A₁).

$$F_A * x_1 = F_{A1} * \frac{b_1}{2} + F_{A2} * \left(l - \frac{b_2}{2} \right)$$

$$x_1 = \frac{F_{A1} * \frac{b_1}{2} + F_{A2} * \left(l - \frac{b_2}{2} \right)}{F_A}$$

$$x_1 = \frac{32,00kN * \frac{0,80m}{2} + 48,00kN * \left(7,00m - \frac{0,80m}{2} \right)}{80,00kN} = 4,120m$$

9.8.1.4 Berechnung des Angriffspunktes von F_{G0}

Als Bezugsebene für die Berechnung wird wiederum die Bezugsebene 2 gewählt.

$$F_G * x_1 = F_{G0} * x_2 + F_{G1} * \frac{b_1}{2} + F_{G2} * \left(l - \frac{b_2}{2} \right) + F_{G-Platte} * \frac{l}{2}$$

$$x_2 = \frac{F_G * x_1 - F_{G1} * \frac{b_1}{2} - F_{G2} * \left(l - \frac{b_2}{2} \right) - F_{G-Platte} * \frac{l}{2}}{F_{G0}}$$

$$x_2 = \frac{80,00 * 4,120 - 4,00 * \frac{0,80}{2} - 7,00 * \left(7,00 - \frac{0,80}{2} \right) - 17,50 * \frac{7,00}{2}}{51,50} = 4,283m$$

Der Schwerpunkt der Auflast F_{G0} liegt 4,283 Meter von der Bezugsebene 2 (linker Rand der Plattform) entfernt.

9.8.2 Nachweis der Schwimmstabilität

Für den Nachweis der Schwimmstabilität werden zunächst das Auftriebsvolumen = Verdrängung sowie die Höhenlage des Auftriebsschwerpunktes und des Gewichtsschwerpunktes des Pontons ermittelt. Weiters werden die beiden Flächenträgheitsmomente um die Kippachsen eins und zwei benötigt.

9.8.2.1 Berechnung der Verdrängung

$$V_A = \nabla = (b_1 * s_2 + b_2 * s_3) * b$$

$$V_A = \nabla = (0,80 * 0,80 + 0,80 * 1,20) * 5,00 = 8,000m^3$$

9.8.2.2 Berechnung der Höhenlage des Auftriebsschwerpunktes

Bezugsebene für die Berechnung ist die „base line“ (Bezugsebene 1).

$$A_A * s_A = A_{1A} * \left(s_3 - \frac{s_2}{2} \right) + A_{2A} * \left(\frac{s_3}{2} \right)$$

$$s_A = \frac{A_{1A} * \left(s_3 - \frac{s_2}{2} \right) + A_{2A} * \left(\frac{s_3}{2} \right)}{A_A}$$

$$s_A = \frac{0,80 * 0,80 * \left(1,20 - \frac{0,80}{2} \right) + 0,80 * 1,20 * \left(\frac{1,20}{2} \right)}{0,80 * 0,80 + 0,80 * 1,20} = 0,680m$$

Der Auftriebsschwerpunkt liegt 0,68 Meter über der „base line“.

9.8.2.3 Berechnung der Höhenlage des Gewichtsschwerpunktes

Die Bezugsebene für die Berechnung ist hierbei wieder die „base line“.

$$G * s_G = G_0 * (s_4 + s_5 + s_6) + G_1 * \left(s_4 - \frac{s_1}{2} \right) + G_2 * \frac{s_4}{2} + G_{Platte} * \left(s_4 + \frac{s_5}{2} \right)$$

$$s_G = \frac{G_0 * (s_4 + s_5 + s_6) + G_1 * \left(s_4 - \frac{s_1}{2} \right) + G_2 * \frac{s_4}{2} + G_{Platte} * \left(s_4 + \frac{s_5}{2} \right)}{G}$$

$$s_G = \frac{51,50 * (1,40 + 0,20 + 1,00) + 4,00 * \left(1,40 - \frac{1,00}{2} \right) + 7,00 * \frac{1,40}{2} + 17,50 * \left(1,40 + \frac{0,20}{2} \right)}{80,00}$$

$$s_G = 2,108m$$

Der Gewichtsschwerpunkt liegt 2,108 Meter über der „base line“.

Der Abstand s von Auftriebsschwerpunkt und Gewichtsschwerpunkt beträgt:

$$s = |s_A - s_G| = |0,680 - 2,108| = 1,428m$$

9.8.2.4 Flächenträgheitsmoment um die Kippachse 1-1

$$I_{Y_{1-1}} = \frac{b_1 * b^3}{12} + \frac{b_2 * b^3}{12} = 2 * \frac{0,80 * 5,00^3}{12} = 16,667m^4$$

9.8.2.5 Flächenträgheitsmoment um die Kippachse 2-2

$$I_{Y_{2-2}} = \frac{b * b_1^3}{12} + \frac{b * b_2^3}{12} + b * b_1 * \left[\left(x_1 - \frac{b_1}{2} \right)^2 + \left(l - x_1 - \frac{b_2}{2} \right)^2 \right]$$

$$I_{Y_{2-2}} = 2 * \frac{5,00 * 0,80^3}{12} + 5,00 * 0,80 * \left[\left(4,120 - \frac{0,80}{2} \right)^2 + \left(7,00 - 4,120 - \frac{0,80}{2} \right)^2 \right]$$

$$I_{Y_{2-2}} = 80,382m^4$$

9.8.2.6 Nachweis der Schwimmstabilität um Kippachse 1-1

Damit der Nachweis der Schwimmstabilität erbracht ist, muss die metazentrische Höhe \overline{GM} größer als Null sein: $\overline{GM} > 0$.

$$\overline{GM}_{1-1} = h_{m_{1-1}} = \frac{I_{Y_{1-1}}}{\nabla} - s = \frac{16,667m^4}{8,000m^3} - 1,428m = 0,655 > 0$$

Somit ist der maßgebende Nachweis der Schwimmstabilität um die Achse 1-1 erfüllt.

Der Vollständigkeit halber wird auch noch der Nachweis der Schwimmstabilität um die Achse 2-2 erbracht:

9.8.2.7 Nachweis der Schwimmstabilität um Kippachse 2-2

$$\overline{GM}_{2-2} = h_{m_{2-2}} = \frac{I_{Y_{2-2}}}{\nabla} - s = \frac{80,382m^4}{8,000m^3} - 1,428m = 8,620 > 0$$

10 Quellenverzeichnis

10.1 Literaturverzeichnis

- [1] Prof. Andreas Meyer-Bohe: Schwimmfähigkeit & Stabilität von Schiffen, Cuvillier Verlag Göttingen, 1. Auflage 2011
- [2] Prof. Dr. Christoph Wand: Schiffstheorie Band I, Verlag für Wissenschaft und Kunst GbR Herne 2004
- [3] Technische Universität Hamburg – Harburg; Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffsicherheit; Schriftenreihe Schiffbau – Prof. Dr.-Ing. Stefan Krüger: Hydrostatik von Schiffen, 23. April 2013
http://www.ssi.tu-harburg.de/doc/webseiten_dokumente/ssi/vorlesungsunterlagen/Hydrostatik_Skript.pdf abgerufen am 11.02.2016
- [4] ÖNORM EN 14504–Ausgabe: 2009-06-01 Fahrzeuge der Binnenschifffahrt — Schwimmende Anlegestellen — Anforderungen, Prüfungen; abgerufen am 18.02.2016
- [5] http://plato.is/stabilitt_von_fischerbooten/hebelarm/; abgerufen am 16.02.2016
- [6] ÖNORM EN 14504 Ausgabe: 2015-05-01 „ENTWURF“– Fahrzeuge der Binnenschifffahrt – Schwimmende Anlegestellen und schwimmende Anlagen auf Binnengewässern – Anforderungen, Prüfungen; abgerufen am 10.02.2016
- [7] Thomas Krapfenbauer: Bautabellen; 19., Auflage
Verlag Jugend & Volk Ges.m.b.H., Wien
- [8] Prof. Dr. Christoph Wand: Schiffstheorie Band II, Verlag für Wissenschaft und Kunst GbR Herne 2008
- [9] Schifffahrtsanlagenverordnung – SchAVO
StF: BGBl. II Nr. 298/2008; Änderung BGBl. II Nr. 27/2015 in der konsolidierten Fassung vom 25.11.2015
- [10] Schifffahrtsgesetz – SchFG
StF: BGBl. I Nr. 62/1997; Änderung: BGBl. I Nr.61/2015 in der konsolidierten Fassung vom 25.11.2015
- [11] Wasserrechtsgesetz 1959 – WRG 1959
StF: BGBl. Nr. 215/1959 (WV); Änderung: BGBl. I Nr. 54/2014 in der konsolidierten Fassung vom 25.11.2015
- [12] Brockhaus, Naturwissenschaften und Technik – Sonderausgabe, Band 5 So-Z. 1989; F.A. Brockhaus: Mannheim

- [13] Diplomarbeit von DI Andreas Loy: Bauen am Wasser – Grundlagen für die wasser- und schiffrechtsrechtliche Einreichung von schwimmenden Anlagen und Bauten am Wasser im Bundesland Wien – September 2015
- [14] Peters Software GmbH, Köln: Der Privatflugzeugführer – Metrologie
Peters Media Publishing, Köln; 1. Auflage August 2013
- [15] Josef Struber: Flugwetterkunde – Vom PPL zum ATPL nach JAR-FCL-Kriterien; Weishaupt Verlag; 2. Aktualisierte Auflage 2010
- [16] Hans Häckel: Wetter & Klimaphänomene; Verlag Eugen Ulmer KG, Stuttgart
2. völlig neu bearbeitete Auflage 2007
- [17] Brockhaus, Naturwissenschaften und Technik – Sonderausgabe,
Band 1 A-Ek. 1989; F.A. Brockhaus: Mannheim
- [18] „Richtlinie 2012/18/EU zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen, zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinie 96/82/EG“, ABl. Nr. L 197 vom 24.7.2012
- [19] RVS 02.03.11 Optimierung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV)
Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr (FSV)
- [20] Detlef Aigner, Gerhard Bollrich: Handbuch der Hydraulik für Wasserbau und Wasserwirtschaft; 1., Auflage 2015; Beuth Verlag GmbH
- [21] Technus KG (GmbH&Co.); Am Schwarzen See 17;17166 Teterow
<http://shop.technus.de/images/p5020008.jpg>; abgerufen am 15.03.2016
- [22] Technus KG (GmbH&Co.); Am Schwarzen See 17;17166 Teterow
<http://www.easy-ponton.de/schwimmkoerper/typ-155-easy-xl-big--mitte.php>;
abgerufen am 15.03.2016
- [23] Technus KG (GmbH&Co.); Am Schwarzen See 17;17166 Teterow
<http://www.easy-ponton.de/images/easy-155.jpg>; abgerufen am 15.03.2016
- [24] Prof. Dr.-Ing. Frank Preser: Klausurtrainer Hydromechanik für Bauingenieure
Vieweg+Teubner Verlag, 1. Auflage 2011
- [25] Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006
- [26] Empfehlungen für die Beförderung gefährlicher Güter, Handbuch über Prüfungen und Kriterien; BAM Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung; fünfte überarbeitete Ausgabe; deutsche Übersetzung 2015

- [27] Bruno Streit/Elke Kentner: Umwelt Lexikon
Verlag Herder, Freiburg im Breisgau 1992
- [28] ADN-Verordnung; BGBl. II Nr. 292/2009; Teil 1
Verordnung des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie über die Beförderung gefährlicher Güter auf Wasserstraßen (ADN-Verordnung) StF: BGBl. II Nr. 13/2005; Änderung: BGBl. II Nr. 292/2009
- [29] ArbeitnehmerInnenschutzgesetz – ASchG
StF: BGBl. Nr. 450/1994 idF BGBl. Nr. 457/1995; Änderung: BGBl. I Nr. 60/2015 in der konsolidierten Fassung vom 25.11.2015
- [30] Ing. Anton Kolar, BSc
- [31] Müller/Krauβ: Handbuch für die Schiffsführung – Band 3: Seemannschaft und Schiffstechnik; Teil B: Stabilität, Schiffstechnik, Sondergebiete
Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York
Achte neubearbeitete und erweiterte Auflage 1980
- [32] Gefahrgutbeförderungsgesetz – GGBG
StF: BGBl. Nr. I 145/1998; Änderung: BGBl. I Nr. 91/2013 in der konsolidierten Fassung vom 25.11.2015
- [33] Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.: Statische und dynamische Personendichten bei Großveranstaltungen,
Technischer Bericht vfdb TB 13-01; 1. Auflage März 2012 herausgegeben von Dr. Dirk Oberhagemann
- [34] Volker Lenzner / Werner Böhm: Aufzugstechnik 2., bearbeitete und aktualisierte Auflage; Vogel Buchverlag, Würzburg
- [35] Curt W. Eichler: vom Bug zum Heck – Seemännisches Hand- und Wörterbuch; 4., Auflage 1964,
Klasing & Co GmbH, Verlagsbuchhandlung, Bielefeld und Berling
- [36] Brockhaus, Naturwissenschaften und Technik – Sonderausgabe,
Band 2 EI-In. 1989; F.A. Brockhaus: Mannheim
- [37] Klausur Schiffshydrostatik vom 02.08.2010 – Institut für Entwerfen von Schiffen und Schiffssicherheit - Technische Universität Hamburg-Harburg
- [38] Merziger/Wirth: Repetitorium der höheren Mathematik, 5. Auflage 2006
Verlag: Binomi, Am Bergfelde 28, 31832 Springe
- [39] Dr. Gerhard Muzak: Österreichisches, Europäisches und Internationales Binnenschiffahrtsrecht; Verlag Österreich GmbH 2004

- [40] Hajo Busch: Lexikon Gefahrgut – Gefahrgutwissen von A-Z;
Bundesanzeiger Verlagsges. mbH, Köln 2008
- [41] Berthold Dybra: Lexikon Explosionsschutz; 2. Auflage 2009
Carl Heymanns Verlag – Köln-Berlin-München
- [42] Annemarie Kolar
- [43] Manfred Kolar
- [44] Brandner Schifffahrt
<https://www.brandner.at/de/ueber-uns/geschichte/> ; abgerufen am 26.04.2016
- [45] Herbert Balke: Einführung in die Technische Mechanik – Festigkeitslehre
Springer Vieweg; 3., aktualisierte Auflage, 2014
- [46] http://www.ddsg-holding.com/?grid_products=danube-bunker-max-3; abgerufen am 26.04.2016

10.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1: Schiffsquerschnitt – Tiefgang / Freibord / Verdrängung.....	9
Abbildung 3.2: Schiffsquerschnitt, Gewichtsschwerpunkt / Auftriebsschwerpunkt....	11
Abbildung 3.3: Festlegung eines schiffsbezogenen Koordinatensystems	12
Abbildung 3.4: Schiffsquerschnitt, Metazentrum B_0 / $B\varphi$	14
Abbildung 3.5: Metazentrische Höhe und aufrichtender Hebel bei unterschiedlichen Schwerpunkthöhen	15
Abbildung 3.6: Horizontaler Hebelarm für die Berechnung des aufrichtenden Momentes.....	17
Abbildung 3.7: Detailansicht $e/2$ und Horizontalkomponente $e_H(\varphi)/2$	19
Abbildung 3.8: Auszug aus den „Hydrostatic Tables“	24
Abbildung 3.9: Berechnung von M_A mit Hilfe der Werftunterlagen.....	25
Abbildung 3.10: schematischer Verlauf einer typischen GZ-Kurve.....	26
Abbildung 3.11: Skizze – Schwerpunktverschiebungssatz	28
Abbildung 3.12: Berechnung des Abstandes Kiel-Metazentrum.....	29
Abbildung 3.13: Versuchsanordnung bei einem Krängungsversuch	32
Abbildung 3.14: „wahre“ Metazentren M_0 bis M_4	34
Abbildung 3.15: scheinbare Metazentren N_0 bis N_4	34
Abbildung 3.16: Der aufrichtende Hebel bei großen Krängungen	35
Abbildung 3.17: Anfangstangente der Hebelarmkurve	36
Abbildung 3.18: Anstieg der Hebelarmkurve	37
Abbildung 3.19: Veränderung des Hebelarmes bei unterschiedlicher Krängung.....	38
Abbildung 3.20: Hebelarmkurve bei veränderter Schwerpunktlage	38
Abbildung 3.21: Hebelarmkurve bei Erhöhung des Freibordes	39
Abbildung 3.22: Hebelarmkurve bei Vergrößerung der Schiffsbreite	39
Abbildung 3.23: Angriffspunkt der Winddruckkraft F_W – schematische 3D-Skizze ...	41
Abbildung 3.24: Querschiffsebene – Windangriffspunkt und Hebelarm für krängendes Moment.....	41
Abbildung 3.25: Krängung durch Windbelastung.....	42

Abbildung 3.26: Bildung von Klareis an Grashalmen.....	44
Abbildung 3.27: Übergehende Ladung im Frachtraum eines Schiffes.....	45
Abbildung 3.28: Verschiebung des Gesamtschwerpunktes von G nach G'.....	48
Abbildung 3.29: Detailskizze – Schwerpunktverschiebung von G nach G'.....	50
Abbildung 3.30: Gekrängter Schiffsquerschnitt mit ausgespiegelter freier Oberfläche	51
Abbildung 3.31: Anheben einer Last durch den schiffseigenen Kran.....	52
Abbildung 3.32: Schwimmkran „DOKW-2“ im Einsatz.....	53
Abbildung 3.33: Ausschwenken einer hängenden Last m_H	54
Abbildung 3.34: Schwimmende Arbeitsplattformen mit Baggern.....	55
Abbildung 3.35: Schwimmende Anlage – Fahrgast-Hebel.....	57
Abbildung 3.36: Trossenzug bei einem festgemachten Schiff.....	59
Abbildung 3.37: Trossenzug und Reaktionskraft R des Wassers.....	60
Abbildung 6.1: Freibordmarke und Einsenkungsmarke auf dem Kreuzfahrtschiff „Scenic Jewel“.....	76
Abbildung 6.2: Ahming und Freibordmarke auf der M/S „Wientank-1“.....	77
Abbildung 6.3: Befestigung eines schwimmenden Anlegesteges am Ufer.....	78
Abbildung 6.4: Führungsdalben für einen schwimmenden Anlegesteg im Yachthafen „Marina Wien“.....	79
Abbildung 6.5: Das Motortankschubschiff „Möll“ der DDSG bei Stromkilometer 1.927,000.....	90
Abbildung 6.6: Bunkerstation der DDSG: MTSS „Möll“ und M/S „Wientank-2“.....	90
Abbildung 6.7: Stützpunkt der Berufsfeuerwehr Wien mit Bootstankstelle; Lage: rechtes Donauufer –Stromkilometer ca. 1.927,700.....	92
Abbildung 6.8: Detailaufnahme zu Abbildung 6.7: Flexible Schlauchleitung zur Verbindung der Rohrleitung der schwimmender Anlage und des Steges.....	92
Abbildung 9.1: Geometrie der Arbeitsplattform.....	107
Abbildung 9.2: schwimmende Arbeitsinsel.....	109
Abbildung 9.3: Produktdatenblatt „Schwimmkörper Typ 155 EasyXLBig-M“ der Firma Technus.....	110
Abbildung 9.4: Axonometrie der Schwimmkonstruktion.....	111
Abbildung 9.5: Grundriss und Ansicht der unsymmetrischen Plattform.....	112

10.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Metazentrische Höhen verschiedener Schiffstypen.....	10
Tabelle 3.2: Gleichgewichtslagen von Schwimmkörpern.....	16
Tabelle 3.3: Exemplarische Werte für Tangens, Sinus und Winkelangaben im Bogenmaß.....	16
Tabelle 3.4: Gegenüberstellung von M_A nach [1] und [2] und der exakten Berechnung von M_A	22
Tabelle 3.5: Typische Schüttwinkel von Massengütern.....	47
Tabelle 3.6: Exemplarische Werte für Tangens und Tangens ²	49
Tabelle 4.1: Geltungsbereich der Gesetze und Verordnungen für die Errichtung von schwimmenden Anlagen.....	62
Tabelle 6.1: Richtlinie 2012/18/EU Anhang I, Teil 1 Gefahrenkategorien von gefährlichen Stoffen.....	84
Tabelle 6.2: Richtlinie 2012/18/EU Anhang I, Teil 2: Namentlich aufgeführte gefährliche Stoffe.....	85
Tabelle 6.3: Kriterien für entzündbare Flüssigkeiten nach Tabelle 2.6.1 – Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 – Anhang I.....	86

Tabelle 7.1: Gegenüberstellung ÖNORM 1.6.2009 und ÖNORM Entwurf 1.5.2015	98
Tabelle 9.1: Beladung und Schwerpunktabstände	101
Tabelle 9.2: Tabellarische Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse.....	102
Tabelle 9.3: Beladung und Schwerpunktabstände	103
Tabelle 9.4: Aktuelles Deplacement und Höhenlage des Schwerpunktes.....	103