

Boote einmal theoretisch betrachtet

*Das Buch für Segler und
Motorbootfahrer*



Knut-Michael Buchalle

3. Ausgabe

Vorwort

Das "Boot" ist die Grundlage für unser Tun und Handeln auf dem Wasser. Ohne Boote, egal ob Jolle (Opti, 470er, FD) Katamaran (Hobie, Tornado), Dickschiff, Motorboot oder vielleicht auch nur einem Tretboot, ist eine Fortbewegung auf dem Wasser nicht möglich. Ja, sogar die Existenz eines Segelvereins hängt von dem Gut „Boot“ ab.

Diese existenzielle Bedeutung des Bootes sollte Grund genug, sein sich näher mit den mathematischen, physikalischen und handwerklichen Grundlagen der Vehikel auseinanderzusetzen. Das habe ich jetzt schön gesagt. Dabei registriere ich natürlich ganz genau, dass bei den Begriffen „mathematisch“ und „physikalisch“ einige Leser die Augen verdrehen, weil sie nichts damit zu tun haben wollen. Andere werden sehr gelangweilt gähnen, da sie bereits die einschlägige Fachliteratur besitzen und ausführlich studiert haben. Ein kleiner Rest wird vielleicht auf meine Themen neugierig sein.

Das genügt mir nicht. Ich will sie alle packen. Meine Darstellungen werden sich deshalb von den einschlägig bekannten unterscheiden. Das Fachwissen, das ich hier vermitteln will, soll allen einen kompetenteren Umgang mit dem schwimmenden Untersatz ermöglichen. Ein Mindestmaß an Fachwissen gehört übrigens zur Sicherheitsausrüstung eines jeden Bootes.

Außerdem möchte ich die evtl. auftretenden Hysterien bei neuen Entwicklungen eindämmen. So etwas hatten wir 1982 beim erfolgreichen Einsatz des Flügelkiels an der 12mR Yacht "Australia" erlebt. Nach dem Gewinn des America Cups wurde der Flügelkiel von vielen inkompetenten Seglern und Journalisten regelrecht mystifiziert. Das hatte der Flügelkiel nicht verdient.

Aktuell hat man bei Segelbooten gerade Knicke im Hinterschiffs Bereich wieder entdeckt. Auch nicht neu und so sensationell wie vielleicht einige glauben.

Ich möchte mit meiner kleinen Serie auf eine recht einfache Weise komplexe Zusammenhänge verdeutlichen und den Finger hin und wieder mal voll in die Wunde legen.

Die Darstellung von Grundlagen und die Definition von Fachbegriffen werden dabei unumgänglich sein, um eine einheitliche Diskussionsbasis zu schaffen. Aber ich werde es möglichst einfach machen. Darüber wacht Natascha.

Wer Natascha ist? - Natascha ist meine Kontrollinstanz. Sie war noch nie in ihrem Leben auf einem Boot. Also, wenn sie begriffen hat, worum es mir geht, dann begreift es jeder.

Anmerkung:

Zum ersten Mal erschienen ist dieses Buch 1995 als Fortsetzungsgeschichte in einer Vereinszeitschrift. Etwas überarbeitet und ergänzt wurde es 2012 auf der Webseite www.jazz-hexe.de als etwas experimentelles online Buch präsentiert. Hier ist jetzt die 3. Ausgabe als elektronisches Buch erschienen.

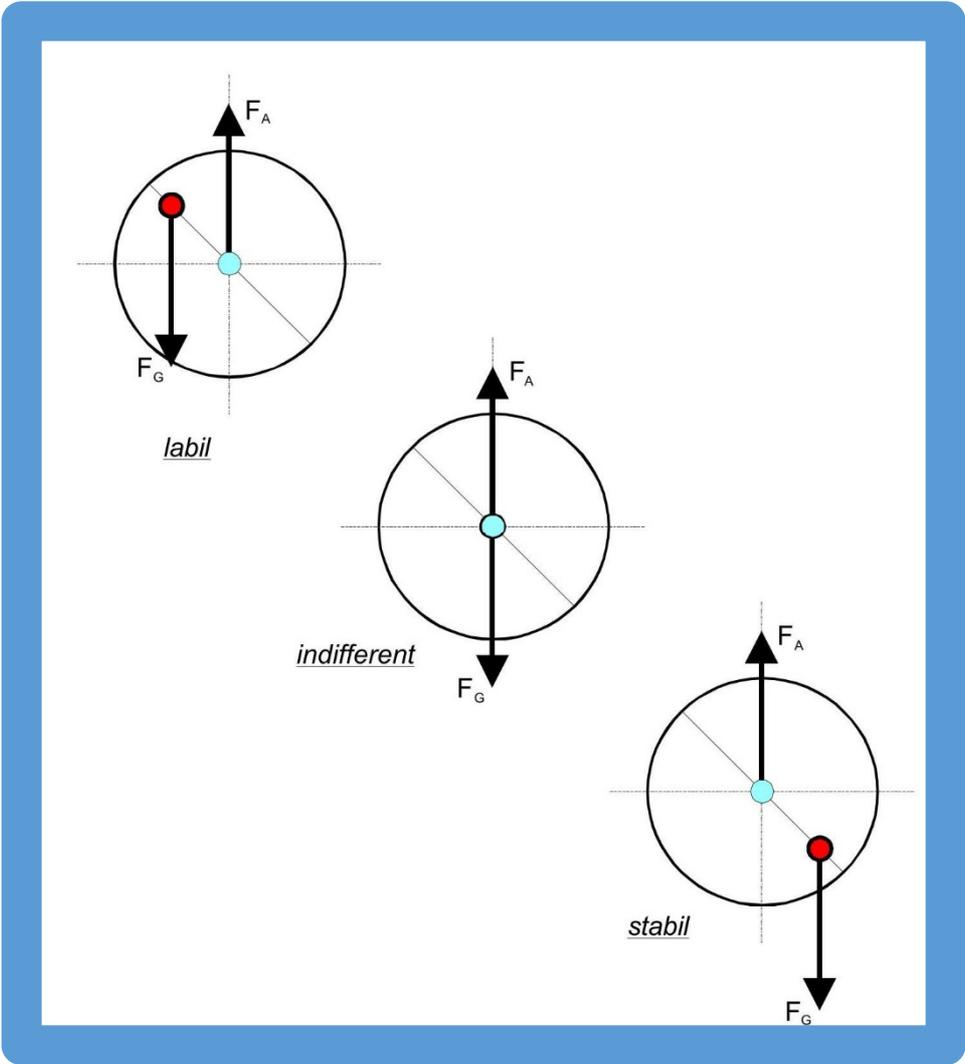
November 2014
Knut-Michael Buchalle

Inhaltsverzeichnis

1. Hydrostatik	5
1.1. Einführung in das Thema	6
1.2. Vertiefung der Grundbegriffe	7
1.3. Zusammenfassung	8
2. Hydrodynamik	11
2.1. Einführung in das Thema	12
2.2. Vertiefung der Grundlagen	13
2.3. Zusammenfassung	16
3. Aerodynamik	20
3.1. Einführung in das Thema	21
3.2. Vertiefung der Grundlagen	22
3.3. Zusammenfassung	23
4. Festigkeit	27
4.1. Einführung in das Thema	28
4.2. Vertiefung der Grundlagen	31
4.3. Zusammenfassung	32
5. Seetüchtigkeit	37
5.1 Einführung in das Thema	38
5.2 Vertiefung	40
5.3 Zusammenfassung	41
6. Entwurfskriterien am Beispiel einer Segelyacht	48
6.1 Einführung in das Thema	49
6.2 Vertiefung der Grundlagen	50
6.3 Zusammenfassung	51
7. Fertigungsmethoden	54
7.1. Einführung in das Thema	55
7.2. Vertiefung der Grundlagen	57
7.3. Schlussbemerkungen	59
8. Klassifikation	65
8.1. Einführung in das Thema	66
8.2. Vertiefung der Grundlagen	67
8.3. Schlussbemerkungen	68
9. Gebrauchtsboote	72
9.1. Einführung in das Thema	73

9.2. Vertiefung der Grundlagen	74
9.3. Schlussbemerkungen	75
10. Bootspflege	76
10.1. Einführung in das Thema	77
10.2. Vertiefung der Grundlagen	78
10.3. Schlussbemerkungen	81
Quellenverzeichnis	86
Abbildungsverzeichnis	87
Der Autor	89

1. Hydrostatik



1.1. Einführung in das Thema

"Warum schwimmt ein Schiff? Warum kann man an einer bestimmten Stelle den Wasserpass anmalen? Und das auch noch vom Bug bis achtern! Warum schwimmt das Schiff schief, wenn ich auf einer Seite entlanggehe? Können Boote umkippen? Was passiert, wenn Wasser ins Boot strömt? Warum gibt es breite und schmale Boote? Warum gibt es Boote mit viel und wenig Tiefgang? Warum gibt es Boote mit mehreren Rümpfen?"

Halt Stopp! - Liebe Natascha, nicht so viele Fragen auf einmal. Ich müsste sonst ein Lexikon schreiben um sie alle zu beantworten. Alle deine Fragen beziehen sich hauptsächlich auf ein Thema, die Hydrostatik von Booten. Aber, um es gleich vorweg zu nehmen, man kann und darf niemals ein Thema nur für sich allein betrachten. So ist die Hydrostatik z.B. nur ein Teil für die Begründung der Existenz von Schiffen mit mehreren Rümpfen. Und die Hydrostatik ist auch mitbestimmend für das Geschwindigkeitspotential eines Bootes, obwohl dieses hauptsächlich in der Hydrodynamik begründet wird.

"Was ist denn nun Hydrostatik?"

Ganz einfach ausgedrückt, die mathematisch, physikalische Begründung dafür, warum ein Schiff schwimmt (Abb.1). Der einfachste Gleichgewichtsgrundsatz ist:

Gewicht = Auftrieb

Wenn du diesen Grundsatz konsequent anwendest, dann kannst du alle deine Fragen allein beantworten.

Bei den beiden Komponenten Gewicht und Auftrieb handelt es sich um vektoriell gerichtete Kräfte, die jeweils konzentriert in einem Schwerpunkt angreifen.

"Nur in einem Punkt?"

Tja, - das ist eine Frage. Diese Schwerpunkte sind natürlich rechnerische Größen, die sich aus der Momenten Rechnung ergeben. Was das nun wieder ist, darauf möchte ich nicht weiter eingehen. Aber dieser Hinweis verdeutlicht zumindest, dass es bei Veränderungen in Teilbereichen, z.B. wenn du auf einer Seite des Bootes langgehst, zu Veränderungen im Gesamtsystem kommt. Die Konsequenz daraus ist, dass das Boot krängt (vorausgesetzt es tat es vorher nicht).

Um die vektoriell gerichteten Kraftgrößen Gewicht und Auftrieb für die unterschiedlichen, geometrischen Rumpfformen zu bestimmen ist eine reine Fleißarbeit nötig. Der Einsatz von Computern erleichtert dies und ermöglicht darüber hinaus noch Prognosen über den Stabilitätsverlauf, d.h. Veränderungen in den Wechselbeziehungen von Gewicht und Auftrieb für unterschiedliche Randbedingungen.

"Stabilität? - Veränderungen bei unterschiedlichen Randbedingungen? - Was ist damit gemeint?"

Nun, Stabilität ist nicht vorhanden, wenn man mit dem Hammer auf das Boot hauen kann, ohne dass es dabei zerbricht. Nein, **Stabilität ist ein Gleichgewichtszustand!** Die Widerstandsfähigkeit gegen den Hammerschlag, das ist die Festigkeit des Bootes. Diese Unterscheidung der Begriffe ist sehr wichtig, zumal sie gerade von technischen Laien immer wieder falsch angewendet werden.

Die Randbedingungen für die Stabilität eines vorhandenen Bootes können in der Vorgabe verschiedener Krängungswinkel, Bauausführungen oder Beladungszustände variiert werden. Interessant wird dann noch der Vergleich des Stabilitätsumfanges bei verschiedenen Rumpfformen, Rumpfgößen, Ballastanordnungen oder sonstigen Variationen in der Formgebung oder Gewichtsverteilung.

"Die Form und das Gewicht sind also die maßgebenden Kriterien?"

Ja, ja - das ist richtig. Aber, da muss ich auch gleich eine Korrektur von bislang gebräuchlichen Begriffen anmahnen. Da die Form und das Gewicht maßgebende Einflussgrößen sind, hat man jahrzehntelang etlichen Generationen von wissbegierigen Schülern in Segelschulungskursen die Begriffe von Form- und Gewichtsstabilität eingebläut. Diese Differenzierung ist zwar nicht unbedingt falsch, aber sie vereinfacht die Komplexität des Stabilitätsverhaltens eines Bootes in eigentlich unzulässiger Weise. Die einzige Unterscheidung bzw. Aufteilung der Stabilität bei Booten, die man vornehmen muss, ist die Trennung in Längs- und Querstabilität.

"Längs Stabilität? Bedeutet das denn, dass es eine Krängung in Längsrichtung des Bootes gibt?"

Das ist richtig, nur dann heißt es nicht Krängung, sondern Trimm. Die Bedeutung, die der Krängungswinkel für den Segler hat, die Bedeutung hat der Trimmwinkel für den Motorbootfahrer. Aber das möchte ich jetzt nicht näher erklären, denn das fällt in das Themengebiet der Hydrodynamik.

1.2. Vertiefung der Grundbegriffe

Ich möchte nun nochmal auf deine eingangs gestellten Fragen eingehen. Warum ein Schiff schwimmt, wissen wir nun auch. Warum es krängt, wissen wir im Großen und Ganzen auch. Aber kann es umkippen?

Na klar kann es das. Sobald das krängende Moment größer ist als das aufrichtende Moment.

"Aha, ich habe kein Wort verstanden!"

Zunächst einmal eine Erklärung für den Begriff Moment: Ein Moment (volkstümlich Drehmoment) liegt vor, wenn eine vektoriell gerichtete Kraft in einem klar definierten Abstand (Hebelarm) zu einem festgelegten Basispunkt angreift. Als Fortführung zu dem Begriff Moment müsste nun der Hinweis auf die Freiheitsgrade folgen. Aber die Begriffe, die im Zusammenhang mit der Definition der schiffsfesten Achsen (x,y,z) liegen, die hebe ich mir für spätere Kapitel auf.

Also, was ein Moment ist, wissen wir nun. Doch jetzt wird es schwierig. Das aufrichtende Moment und das krängende Moment an einem Boot zu erklären, das möchte ich mir sparen. Wen es dennoch interessiert, der möge sich ein Weilchen mit der Abbildung Nr.2 beschäftigen.

Wichtig im Zusammenhang mit der Definition der Hebelarme für das aufrichtende und krängende Moment ist der Begriff Metazentrum. Das Metazentrum ist ein imaginärer Bezugspunkt für die Wirkrichtung der Auftriebskraft. Es ist als die Drehachse des Bootes zu betrachten. Der Haken am Metazentrum ist nur leider, dass es sich mit dem

Krängungswinkel verändert. Viel mehr will ich zu diesem Thema auch nicht sagen. Eine Kernaussage ist noch wichtig: Ein stabiler Gleichgewichtszustand liegt immer dann vor, wenn der Gewichtsschwerpunkt unterhalb des Metazentrums liegt.

"Das hört sich alles ganz prima an, aber warum kann denn nun ein Boot umkippen?"

Nicht so ungeduldig, liebe Natascha. Diese Definitionen waren einfach nötig, um die folgenden Schritte zu verstehen.

Um den Stabilitätsumfang, d.h. die Stabilität bei verschiedenen Krängungswinkeln für ein Boot zu beschreiben, ist es üblich, die Hebelarme des aufrichtenden Momentes zu betrachten (Abb.3). Diese Betrachtung der Hebelarmkurven ermöglicht eine qualitative und vergleichende Beurteilung des Stabilitätsumfanges eines Bootes. In den Hebelarmkurven gibt es einige charakteristische Punkte, die zur Beurteilung herangezogen werden können. Dazu gehören die Anfangssteigung der Hebelarmkurve, das Maximum und die Bereiche der positiven und negativen Hebelarme.

Tja - und jetzt kommen wir zum Kern des Problems. Welche Stabilität bzw. aufrichtendes Moment zu einem Boot gehört, kann man berechnen und ist damit bekannt. Die Größe der krängenden Momente ist viel schwieriger zu ermitteln. Erschwerend kommt noch hinzu, dass in der Realität eine dynamische Veränderung der Momente (z.B. einfallende Windbö, Wellengang) stattfindet.

Wie sicher ein Boot gegen das Kentern ist, lässt sich deshalb nicht absolut sagen.

"Man weiß also gar nicht, ob ein Boot umkippen kann?"

Nein, so ist es nun auch wieder nicht. Man weiß schon eine ganze Menge, und man weiß auch genau unter welchen Bedingungen ein Boot umkippt. Nur man weiß halt nicht genau, ob und wann es im Leben eines Bootes eintreten wird.

Ein Ereignis aus unserer jüngeren Geschichte, das Fastnet Race von 1979, hatte die Fachwelt zum Nachdenken über ihr Wissen und Unwissen aufgerufen. Es gab nach diesem Unglücksrennen zahlreiche Untersuchungen, die neue Beurteilungskriterien für die Stabilität von Segelbooten liefern sollten. Untersuchungen dieser Art werden in der Großschiffahrt seit 1939 (Grenzkurve der Hebelarme nach Rahola) immer wieder gemacht und aktualisiert. Im Bootsbau wird leider nicht immer so konsequent mit technischem Wissen umgegangen.

Falls du, liebe Natascha, nun Angst bekommen solltest, möchte ich die hier dargestellten Kriterien nochmal etwas relativieren. Ganz global betrachtet sind bei den durchschnittlichen Segelbooten Krängungswinkel bis zu 50 - 60° unkritisch. Nun nimm dir mal ein Holzbrett, lege es 60° geneigt hin und versuche, dich darauf zu stellen. Na, - bequem? Wohl kaum. Die üblichen maximalen Krängungswinkel, bei denen wir noch segeln, liegen so bei 15 - 20°. Alles andere ist unerträglich und reduziert die Bootsgeschwindigkeit. Nur bei einem unglücklichen Zusammenspiel von Wind, Wellen (und vielleicht einem Wassereintritt ins Boot) kann es zu kritischen Situationen kommen.

1.3. Zusammenfassung

Insgesamt haben wir jetzt hier immer die Querstabilität betrachtet, denn sie ist den meisten Seglern in der Form von Krängung ein Begriff. Die Segler von Mehrumpfbooten erfahren hingegen schon mal die Bedeutung der Längsstabilität. Spätestens dann, wenn sie eine

Rolle vorwärts gemacht haben. Und beim Motorbootfahren (schnelle Gleitboote) kündigt sich eine unzureichende Längsstabilität durch unkontrolliertes Wippen des Bootes an.

"Also, wenn ich nun auf einer Seite des Bootes entlang gehe, dann stellt sich eine Krängung ein, weil meine Gewichtskraft in einem bestimmten Abstand (Hebelarm) zum Metazentrum auf das Boot einwirkt. Es liegt also ein krängendes Moment vor, dem ein gleich großes aufrichtendes Moment entgegenwirkt. Dieses aufrichtende Moment entsteht durch eine Veränderung der Schwimmerwasserlinie, d.h. das Boot hat Krängung. Sollte das Boot nicht in der Lage sein das krängende Moment durch ein gleich großes aufrichtendes Moment zu kompensieren, dann kippt es um."

Ganz große Klasse. - Natascha, du bist genial.

Die Abbildungen zum Thema Hydrostatik:

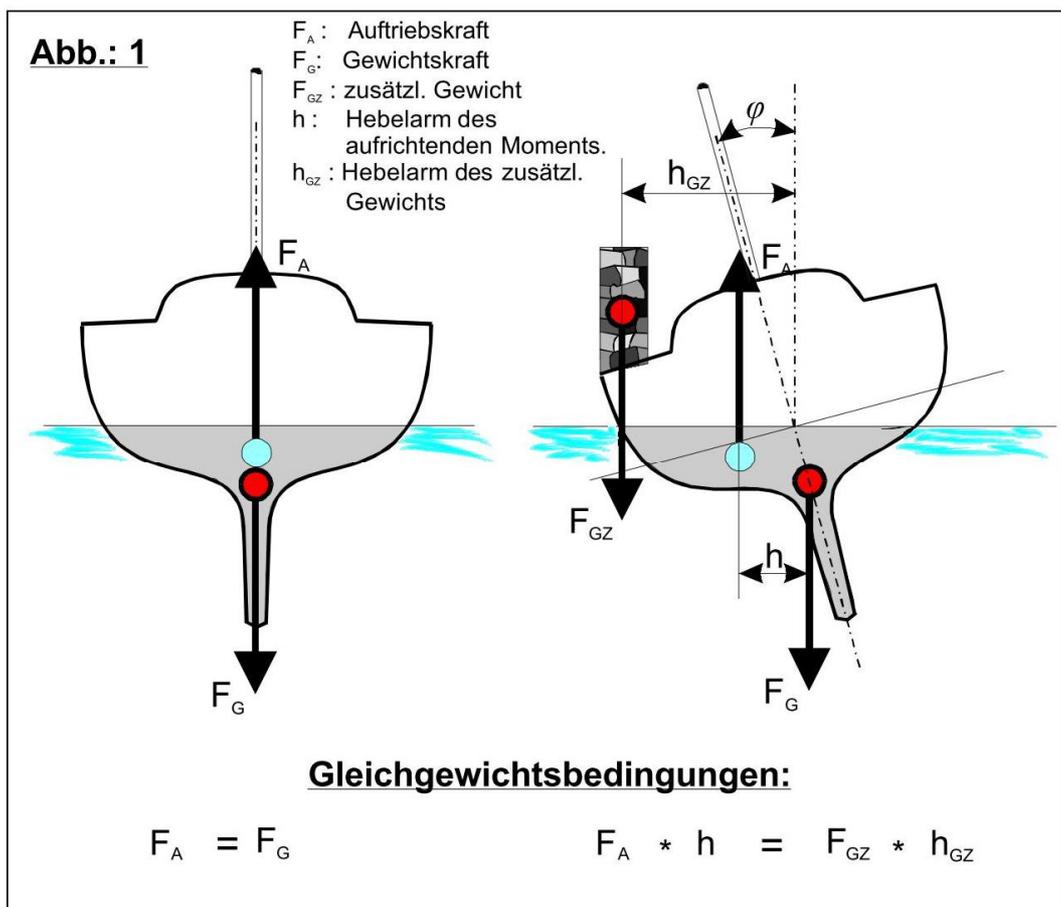


Abbildung 1: Gleichgewichtsbedingungen

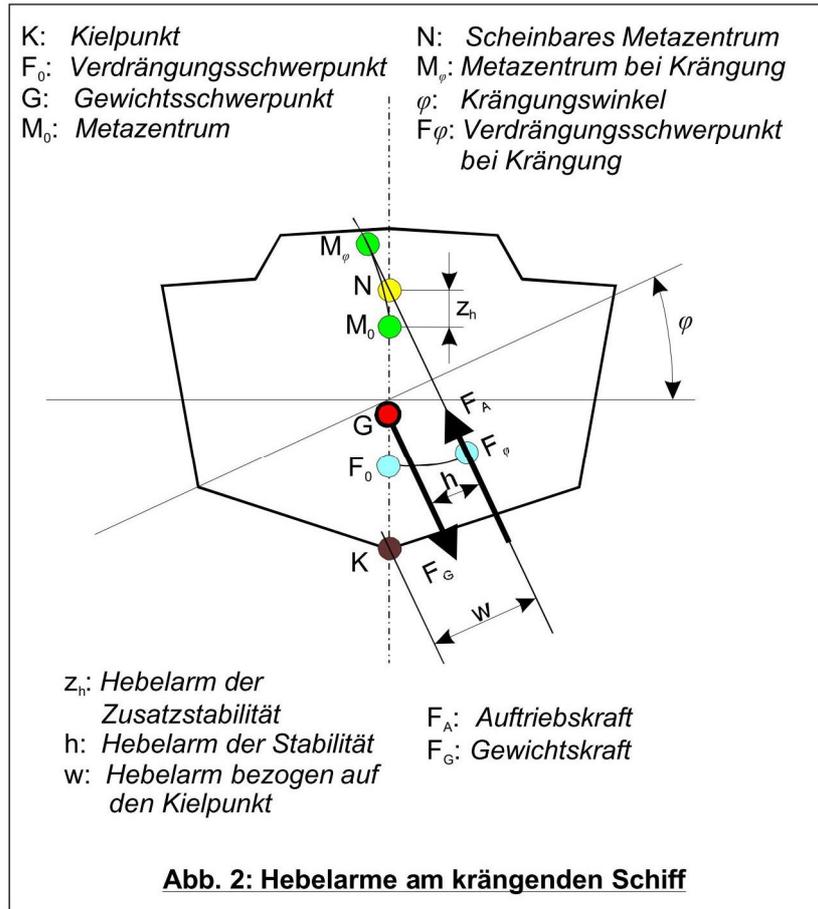
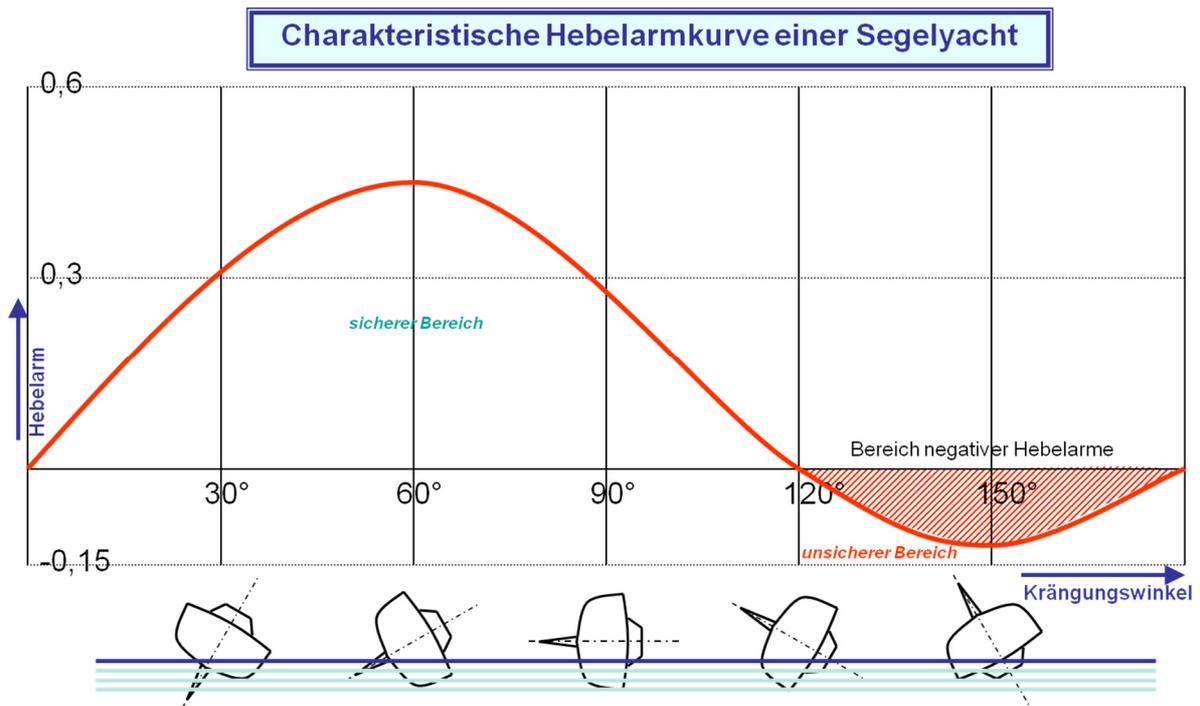
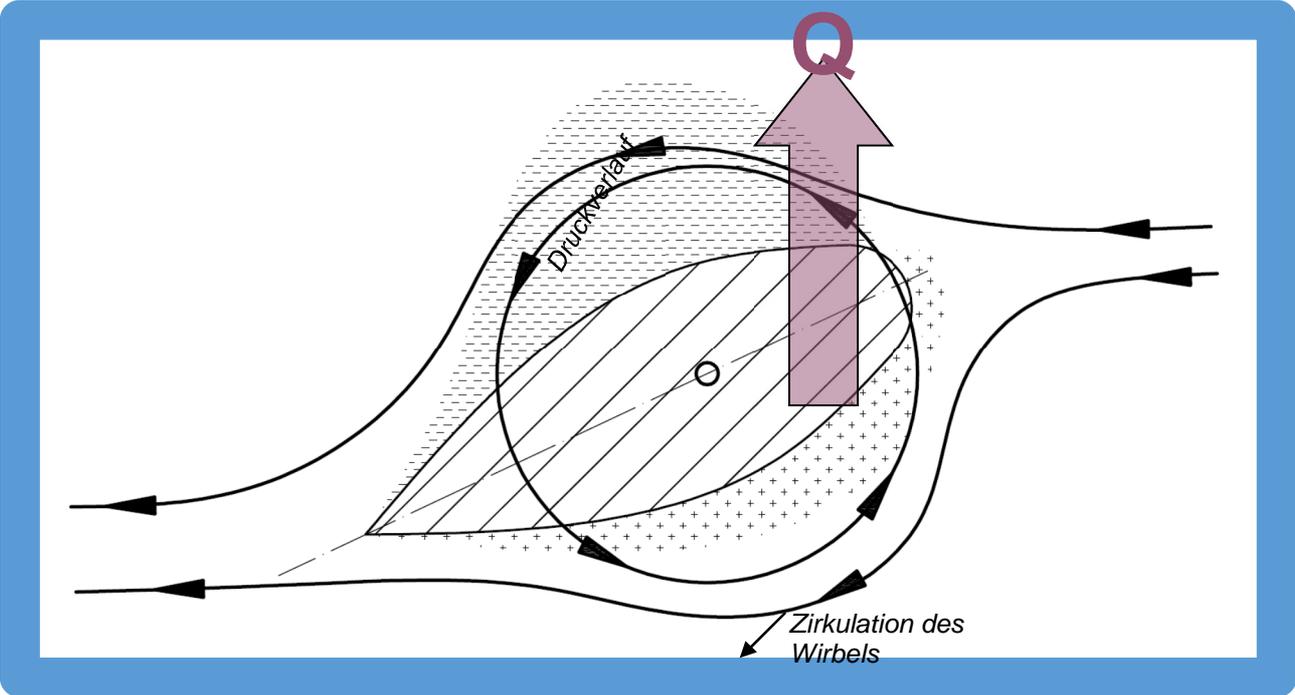


Abbildung 2: Hebelarme am krängenden Schiff



2. Hydrodynamik



2.1. Einführung in das Thema

Sag mal, liebe Natascha, was würdest Du unter dem Begriff „Hydrodynamik“ verstehen?

„Naja, ich gestehe ein, mit dem Begriff Aerodynamik bin ich schon häufiger in Berührung gekommen. Ich habe nämlich ein Auto. Bei der Hydrodynamik würde ich zunächst davon ausgehen, dass es sich um strömendes Wasser handelt.“

Genau darum geht es bei diesem 2. Grundlagenthema, der Hydrodynamik. Während die Grundlagen der Hydrostatik ihre Bedeutung erlangen, wenn das Boot zu Wasser kommt, tritt die Hydrodynamik ein, wenn das Boot Fahrt aufnimmt.

„Na gut, das habe ich verstanden. Hydrodynamik ist also Strömungslehre.“

Nicht so allgemein! Es ist die Strömungslehre von Flüssigkeiten. Boote, oder besser gesagt, Wasserfahrzeuge weisen zudem noch eine Besonderheit auf. Sie bewegen sich in der Grenzschicht zwischen zwei Medien, dem Wasser und der Luft. Das Resultat ist die Ausbildung von Oberflächenwellen. Eine Erscheinung, die z.B. bei Flugzeugen überhaupt nicht vorhanden ist.

Es dürfte damit einleuchtend sein, dass ein guter Flugzeugbauer nicht automatisch auch ein guter Schiffbauer ist.

In der Hydrodynamik dreht sich alles um Widerstände, Querkräfte bzw. Auftrieb.

„Moment mal! Auftrieb - war das nicht Hydrostatik?“

Ja richtig, nur bei der Hydrodynamik kann auch ein Auftrieb entstehen. Man unterscheidet dann zwischen hydrostatischem und dem hydrodynamischem Auftrieb. Während der hydrostatische Auftrieb immer klar zu einer Schiffsachse definiert werden kann, wirkt der hydrodynamische Auftrieb auf verschiedene Schiffsachsen. Segler profitieren davon in Form einer Querkraft, Motorbootfahrer können den Auftrieb zur Geschwindigkeitssteigerung nutzen.

„Die Widerstände haben doch sicherlich etwas mit dem cw-Wert zu tun?“

Richtig! In der Autowerbung wird dieser Wert ja häufig verwendet. Es handelt sich dabei um einen dimensionslosen Widerstandsbeiwert, der eine realistische, vergleichende Beurteilung der Strömungsqualität von Formen zulässt. Weiter möchte ich aber nicht auf das Thema Beiwerte eingehen.

Ich möchte vielmehr die Aufmerksamkeit auf die Anteile richten, die zum Widerstand eines Bootes gehören. Denn der Widerstand eines Bootes ist eine bestimmende Größe für die Geschwindigkeit, die ein Boot erreichen kann.

„Na - beim Bootswiderstand denke ich zunächst mal an Reibung.“

Ja genau, das ist einer der wesentlichen Widerstandsanteile ([Abb.4](#)). Und um es gleich vorweg zu nehmen, die metallisch blanke Oberfläche ist die Oberfläche mit der geringsten Reibung.

Jeder, der seinen Bronzpropeller mit Antifouling anmalt, begeht also eine Todsünde. Er verschlechtert damit den Wirkungsgrad seines Propellers. Aber bei Yachtpropellern kann

man im Grunde genommen nicht viel kaputt machen. Diese Propeller sind ohnehin aus Serienproduktionen und werden nicht für den jeweiligen Boots Typ optimiert.

Weiterhin ist ein glatt geschliffenes Unterwasserschiff im vorderen Bereich wichtiger als im achteren Bereich (Abb.5). Und der Bronze-Kiel ist die Kiel-Art mit dem geringsten Reibungswiderstand.

„Aha, mit einem Bronze-Kiel habe ich also das schnellste Schiff?“

Nein, nicht unbedingt. Der Reibungswiderstand ist halt nur einer der wesentlichen Widerstandsanteile. Einen weiteren Bedeutens werten Anteil haben die schwerebedingten Widerstandsgrößen, d.h. die Widerstände, die im Zusammenhang mit dem Druckverlauf am Bootsrumph entstehen und u.a. für die Wellenausbildung sorgen. Weiterhin ist der induzierte Widerstandsanteil (Abb.6) von großer Bedeutung. Dabei handelt es sich um den Widerstandsanteil, der im Zusammenhang mit den hydrodynamischen Auftriebskräften (Querkraft) entsteht. Es geht dabei um Strömungswirbel, die durch Druckunterschiede an Tragflächenprofilen hervorgerufen werden.

Der Gesamtwiderstand eines langsam fahrenden Bootes setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

$$R_T = R_{webr} + R_{webi} + R_{ZDA} + R_{ZDV} + R_i + R_{ZT}$$

„Aja, sechs recht unterschiedliche Teilgrößen bestimmen also wie schnell ein Boot fährt. Wenn man dafür sorgt, dass alle Teilwiderstände klein sind, dann ist das Boot sehr schnell.“

Richtig, nur leider nicht so leicht umzusetzen. Wenn ein Teilwiderstand optimiert wird, kann sich ein anderer verschlechtern. Bei schnellen Booten kommen dann noch weitere Teilwiderstände hinzu. So können bei einem schnellen Motorboot bis zu 21 Widerstandsanteile auftreten, die manchmal sogar unterschiedliche Vorzeichen annehmen.

2.2. Vertiefung der Grundlagen

„Warum fährt denn nun ein Boot mit einer bestimmten Geschwindigkeit? Was ist die Rumpfgeschwindigkeit? Warum braucht ein Segelboot einen Kiel? Was macht eigentlich der Propeller?“

Natascha - brrr! Eins nach dem Anderen.

Die Geschwindigkeit eines Bootes stellt sich ein, wenn die Vortriebskraft des Bootes genauso groß ist, wie der Widerstand. Die Beeinflussung des Rumpfwiderstandes ist somit eine Teileinflussgröße für die Geschwindigkeit.

Die zweite Einflussgröße, die Vortriebskraft, liegt viel deutlicher in der Hand des Seglers bzw. Motorbootfahrers. Diese Abhängigkeit von Widerstand und Vortriebskraft im Bezug zur Geschwindigkeit zeigt wieder einmal, dass man niemals nur ein Teilsystem für sich alleine betrachten sollte.

„Und was ist nun die Rumpfgeschwindigkeit?“

Die sogenannte „Rumpfgeschwindigkeit“ ist ein fiktiver Begriff. Zur Entstehung gehören einige Grundsatzuntersuchungen von William Froude (1810 - 1879). Er stellte theoretische

Überlegungen zur Ausbildung von Oberflächenwellen (Abb. 7) an und entwickelte hierfür Berechnungsformeln. Das Ergebnis der bekanntesten Formel lautet demnach auch Froudezahl. (nicht zu verwechseln mit der Reynoldszahl, die hat nur mit Reibung zu tun).

Die Formel lautet:

$$F_n = \frac{v}{\sqrt{L \cdot g}}$$

v: Bootsgeschwindigkeit

L: Wellenbildende Länge

g: Erdbeschleunigung

Weitere wissenschaftliche Untersuchungen haben die Froudezahl als kennzeichnende Größe bestätigt bzw. verwendet. So wurde z.B. wie folgt definiert:

$F_n < 0,4$ Verdrängerfahrt

F_n 0,4 bis 1,0 teilweises Gleiten

$F_n > 1,0$ Gleitfahrt

Bei einer Froudezahl von 0,4 stellt sich nun die sogenannte „Rumpfgeschwindigkeit“ ein. Sie ist aber keineswegs eine Höchstgeschwindigkeit. Die allseits bekannte Formel aus dem Yachttest entwickelt sich wie folgt:

$$F_n \cdot \sqrt{L \cdot g} = v ; F_n = 0,4 ; g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\rightarrow 1,25 \cdot \sqrt{L} = v \text{ [m/s]}$$

mit der Einheitenkorrektur: 1 m/s = 3,6 km/h ; 1 kn = 1 sm/h = 1,852 km/h

$$\frac{1,25 \cdot 3,6}{1,852} \cdot \sqrt{L} = v$$

$$2,43 \cdot \sqrt{L} = v \text{ [kn]}$$

Tut mir leid, aber diese Formelspielerei musste sein, um das Klischee der Rumpfgeschwindigkeit ein wenig zurecht zu rücken.

„Und der Kiel?“

Ja richtig, den hätte ich fast vergessen. Der Kiel hat bei einem Segelboot die Sonderaufgabe, eine Querkraft zu erzeugen. Eine Querkraft mit gleicher Größe, nur halt entgegengesetzter Richtung wie die im Rigg. Das Rigg ist aber bei dem Thema Aerodynamik dran.

Und weil der Kiel da unten ganz tief unter dem Rumpf hängt, macht man ihn auch gleich möglichst schwer, damit die Stabilität auch was davon hat. Tja, manchmal kommt bei theoretischen Überlegungen was ganz praktisches heraus.

Im Zusammenhang mit der Querkraftproduktion ist die Tragflächenwirbeltheorie zu nennen.

„Tragflächen kenne ich im Zusammenhang mit Flugzeugen. Ist es hier bei Booten nun dasselbe? -
Und was hat ein Wirbel damit zu tun?“

Bezogen auf die Teilsysteme Ruder, Kiel und auch ein bisschen den Rumpf sind die Grundlagen gleich zu denen im Flugzeugbau. Nur zum dynamischen Auftrieb kommt halt der statische hinzu. Das kennen Flugzeuge nicht.

Die Tragflächenwirbeltheorie ist die mathematisch physikalische Grundlage für die Querkraft- (Auftriebs-) Erzeugung. Dabei geht man davon aus, dass die entstehende Querkraft (Auftrieb) durch die Überlagerung von zwei Strömungen entsteht. Es handelt sich dabei um eine Wirbelströmung, die von einer Parallelströmung überlagert wird (Abb.8).

Dieses Strömungsbild ist mathematisch-physikalisch klar definiert und die Querkräfte mit den zugehörigen Schwerpunkten sind somit rechnerisch bestimmbare Größen.

„Ich kann also den richtigen Kiel und das richtige Ruderblatt für ein Segelboot berechnen?“

Ja - bezogen auf die Teilsysteme ist dies möglich.

„Und was ist mit dem Flügelkiel? Ist der besonders gut, weil er besonders viele Tragflächen hat?“

Nein. Er ist sogar schlecht, weil jede zusätzliche Tragfläche einen zusätzlichen Widerstand enthält. Der Flügelkiel war mal in einem Sonderfall eine sehr wertvolle Krücke. Aufgrund der Vermessungsregeln für die Meter-R-Yachten ist bei dieser Klasse keine gute Kielform möglich. Die seitlichen Flügel verringerten hier die Umströmung des Spitzenprofils der Kielflosse und erhöhten somit die Querkraftproduktion des Kiels.

Der Flügelkiel ist aber nur eine Sonderform von vielen (z.B. Scheel-Kiel, Fenster-Kiel). Alle Sonderformen können im Einzelfall eine sinnvolle Verbesserung darstellen. Global muss man aber sagen, ein gesundes Schiff braucht keine Krücken.

Weiter möchte ich das Thema Kiel- und Ruderformen jetzt nicht behandeln. Zu den Begriffen Profilform, Streckungsverhältnis, Flächenumrißkante, Pfeilung, Schwerpunkte sag ich nun nichts weiter, außer dass es sie gibt.

„Na gut, dann fehlt uns jetzt noch der Propeller?“

Ohje, den hatte ich nun gar nicht mehr auf der Rechnung. Der Propeller gehört zu dem Gebiet der Propulsion. Der Propeller ist nur eines von vielen Propulsionsorganen (Raddampfer haben nämlich keine Propeller), die Schub und damit Vortrieb erzeugen.

Aber das Themengebiet der Propulsion ist so groß, dass ich Ärger mit der Druckerei bekomme, weil der Text wieder zu lang ist.

„Na, das wollen wir ja nun nicht. Also reiß dich am Riemen und fass dich kurz!“

Also gut. Den meisten Skippern sind im Zusammenhang mit Propellern die Begriffe „Steigung“, „Radeffekt“, „Durchmesser“ und „Anzahl der Flügel“ bekannt. Die Begriffe „Flächenverhältnis“, „Profilform“, „Umrißkante“, „Verwindung“, „Schlupf“ sind nicht so geläufig, aber ebenso bedeutend. Wenn dann noch der Begriff „Kavitation“ hinzu kommt, dann ist große Aufklärung nötig. Denn die Kavitation wird immer wieder mit der Ventilation verwechselt.

Aber andererseits hat der Propeller für einen richtigen Segler, und das ist die Mehrzahl der Wassersportler, sowieso keine große Bedeutung, so dass ich das Thema hier beenden möchte.

Ein Tipp noch: Bei Vollgas und Fahrt voraus sollte die Maschine die vom Hersteller genannte Höchstdrehzahl erreichen. Wenn die tatsächliche Drehzahl höher oder kleiner ausfällt, dann passt der Propeller nicht!

2.3. Zusammenfassung

„Puh, zur Hydrodynamik gehören ja eine ganze Menge Teilgebiete. Dabei unterscheidet sich die Hydrodynamik von Schiffen doch in einigen Punkten recht deutlich von dem, was man so im alltäglichen Leben bei Autos oder Flugzeugen kennen lernt.“

Ein Schiff ist also aus hydrodynamischer Sicht schnell, wenn es wenig Wellen erzeugt und, einen möglichst glatten Rumpf hat. Der Kiel sollte am besten aus Bronze sein.“

Ja, das kann man schon mal so sagen. Aber der Kiel muss auch eine optimale Querkraft erzeugen, und wenn man unter Motor fährt, muss der Propeller einen optimalen Schub liefern. Ich benutze dabei ganz bewusst den Begriff optimal, denn die notwendige Optimierung muss zum Teil sehr stark gegensätzliche Faktoren unter einen Hut bringen. Da fängt dann eben die Kunst des Schiffbauers an.

„Wie verhalten sich denn nun Mehrrumpfboote? Die hast du hier noch gar nicht erwähnt.“

Ja, richtig - gut, dass Du noch danach fragst. Mehrrumpfboote haben durch ihre schlanken und langen Rümpfe einen sehr kleinen, wellenbildenden Widerstand. Hinzu kommt durch die große Rumpfbreite - hier spielt die Trennung in Einzelrümpfe zunächst keine Rolle - eine entsprechend große Stabilität. Die Stabilität ist allerdings nur bei kleinen Krängungswinkeln sehr groß.

„Mehrrumpfboote sind also mit Vorsicht zu genießen. - Ich glaube, zu diesem Kapitel habe ich nun keine weiteren Fragen mehr.“

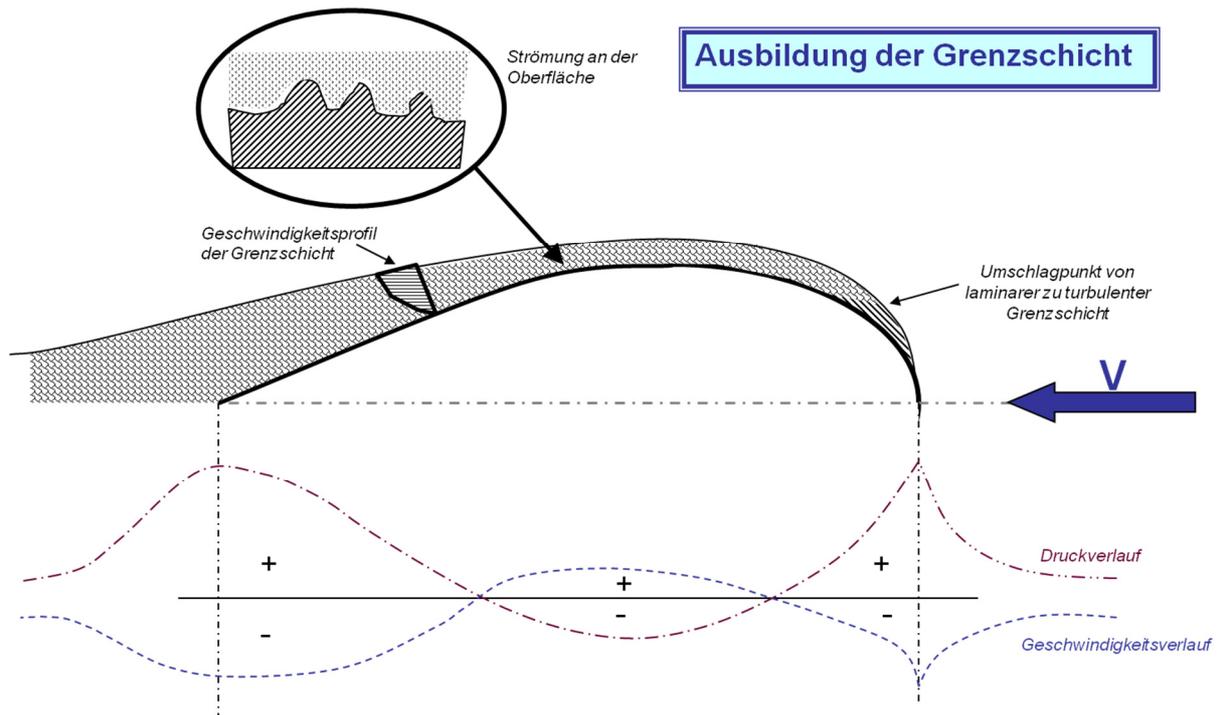


Abbildung 4: Ausbildung der Grenzschicht

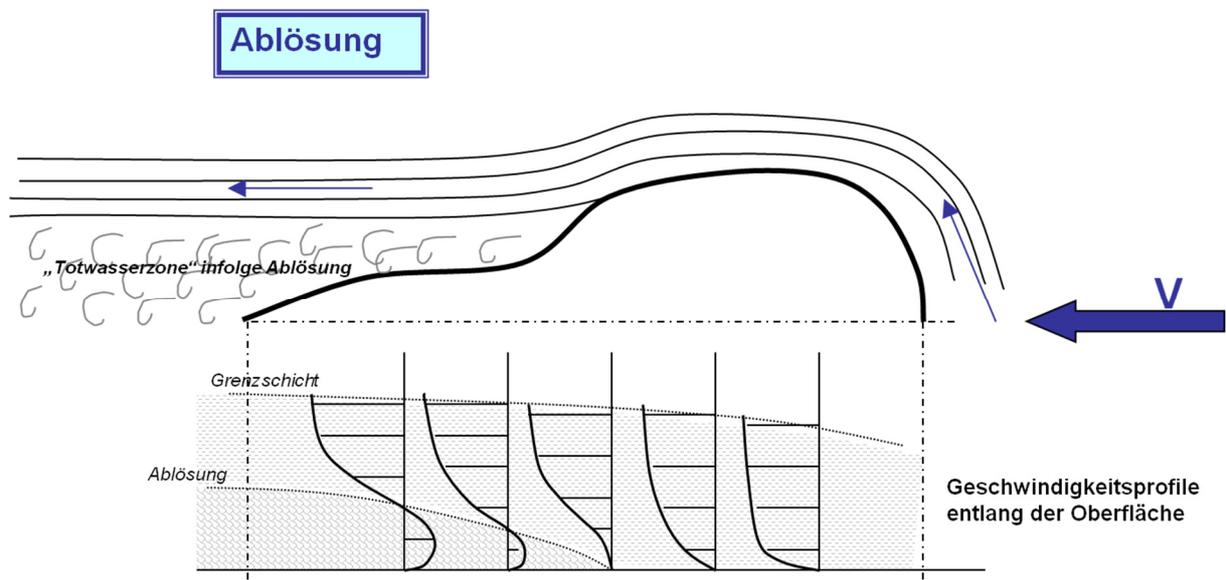


Abbildung 5: Ablösung

Induzierter Widerstand

(infolge Kantenumströmung)

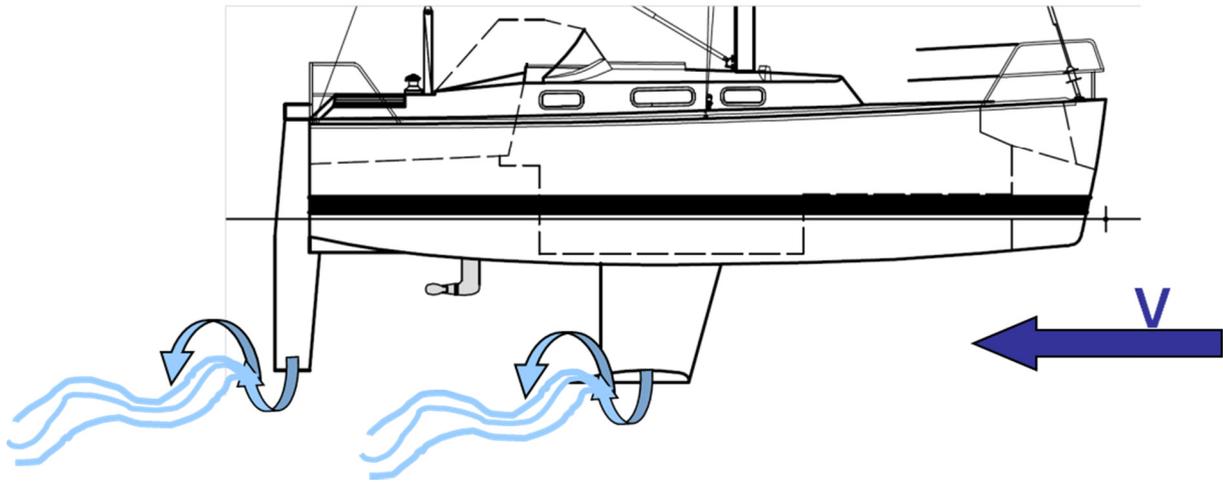


Abbildung 6: Induzierter Widerstand

Wellenbildung

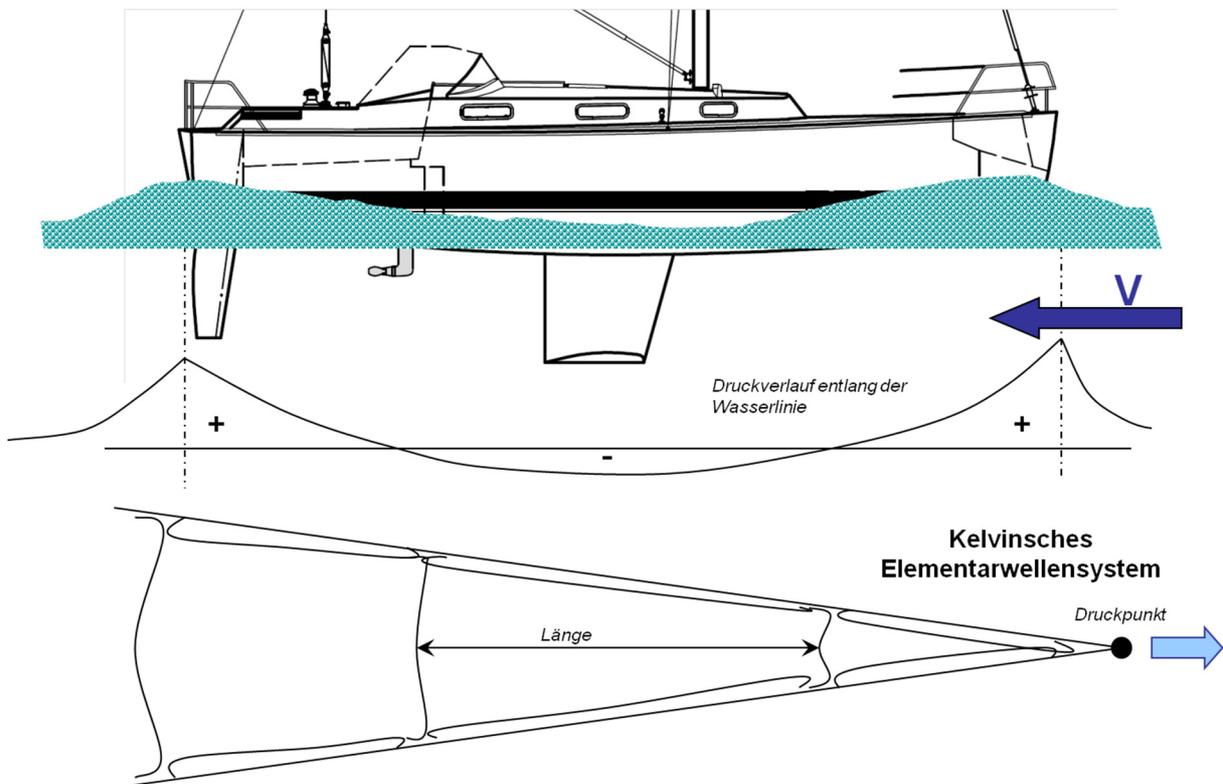


Abbildung 7: Wellenbildung

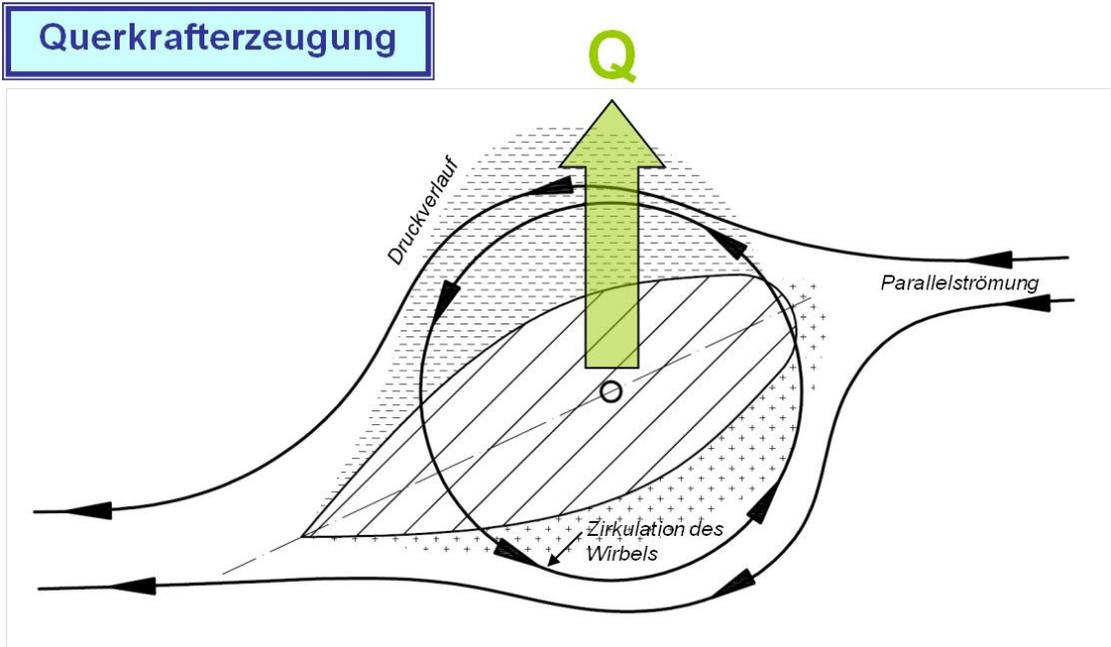
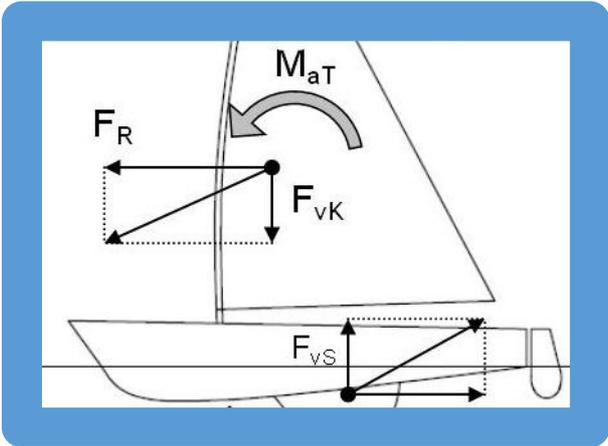


Abbildung 8: Querkrafterzeugung

3. Aerodynamik



3.1. Einführung in das Thema

Hallo, liebe Natascha. Schön, dass du wieder etwas Zeit mitgebracht hast und wir uns ein wenig unterhalten können. Die Aerodynamik von Segelfahrzeugen ist heute unser Thema.

„ Ja, ich weiß. Und diesmal habe ich mich auch ein bisschen vorbereitet. Ich habe mir nämlich zu diesem Thema ein Buch gekauft.“

So, so! - Du traust also nicht meiner fachlichen Kompetenz?

„ Nein, keineswegs. Du bist für mich der Größte.“

Ach, ja?

„ Ich wollte diesmal nur ein bisschen qualifizierter mitreden können.“

Na, - diese Absicht freut mich natürlich.

„Also, Aerodynamik ist Strömungslehre, wie auch bereits unser vorheriges Thema die Hydrodynamik.“

Ja, richtig. Nur diesmal wechseln wir das Medium, und die Besonderheit des Schiffes, das sich in der Grenzschicht zwischen zwei Medien bewegt, fällt weg. Die im vorangegangenen Teil genannten, allgemeinen Grundlagen der Strömungslehre sind also auch bei den Segeln uneingeschränkt gültig. Ich beziehe die Aerodynamik nun ganz bewusst auf die Segel, da die Überwasserschiffsform in den meisten Fällen von untergeordneter Bedeutung ist.

Die Grundlagenbegriffe „Widerstand“, „Auftrieb“, „Grenzschicht“, „Ablösung“, „induzierter Widerstand“ und nicht zu vergessen die „Tragflächenwirbeltheorie“, gelten auch hier.

„ Zum Thema „Tragflächenwirbeltheorie“ habe ich in meinem Buch gar nichts gefunden.“

Ach, ja? - Der Autor macht in diesem Buch auch ein paar Bemerkungen zur Hydrodynamik und liegt völlig daneben. In seinen theoretischen Darstellungen zur Aerodynamik trifft er nicht immer den Kern. Aber sonst ist es ein gutes Buch. Zumindest was das Titelfoto, die Druckqualität

Okay, - nun Schluss damit. Zurück zu unserem Thema. Die Tragflächenwirbeltheorie ist die mathematisch- physikalische-Grundlage zur Berechnung von Tragflächen. D.h., in Bezug zum Flächenumriß und den Profilquerschnitten lassen sich Auftriebs- und Widerstandsbeiwerte für verschiedene Randbedingungen rechnerisch bestimmen. Die Besonderheit von Segeln gegenüber den Tragflächen von Flugzeugen liegt nun in einer ganz anderen Art der Optimierung. Beim Segeln wird nämlich nicht nur die Querkraft (Flugzeug = Auftrieb) infolge der Tragflächenwirbeltheorie genutzt, sondern es wird auch der ganz banale Windwiderstand als Vortriebskraft eingesetzt. Es werden also in Abhängigkeit vom Kurs zum Wind mal besonders große Querkraftbeiwerte, mal besonders große Widerstandsbeiwerte benötigt.

Die älteste Form des Segelns ist das Widerstandssegeln. Das beherrschten schon die Wikinger ganz perfekt. Das Querkraftsegeln entstand dann bei der wissenschaftlichen Entwicklung der Strömungslehre zum Ende des vorherigen Jahrhunderts, ohne die es auch keine Flugzeuge geben würde. Die konsequenteste Umsetzung der Theorien zum

Querkraftsegeln war der Flettner-Rotor. Es handelte sich dabei um einen rotierenden Zylinder, der durch die Überlagerung mit der Windanströmung eine Querkraft erzeugte.

Ach ja, bevor ich es vergesse, noch etwas Wichtiges. Die Segel erzeugen zunächst eine Querkraft/Widerstandskraft. Das ist noch lange nicht die Vortriebskraft. Diese entsteht erst, wenn das Unterwasserschiff seinen Teil mit hinzusteuert und sich die entsprechenden Gleichgewichtsbedingungen (Abb.9) auf allen drei Schiffsachsen einstellen. Es müssen also für die Gleichgewichtsbedingungen die drei Teilgebiete „Hydrostatik“, „Hydrodynamik“ und „Aerodynamik“ in Einklang gebracht werden.

3.2. Vertiefung der Grundlagen

„In meinem Buch steht, dass ein Tragflügel mit elliptischer Form der Beste sei?“

Ja, es sollte nur besser heißen mit elliptischer Auftriebsverteilung. Denn nicht nur die elliptische Umriss Form hat eine elliptische Auftriebsverteilung. Aber das sind Feinheiten, mit denen wir uns hier nicht beschäftigen wollen.

Die allgemein gebräuchliche Rigg Form aus Großsegel und Vorsegel kommt dem Ideal einer elliptischen Auftriebsverteilung schon sehr nah.

„Wenn man dann noch bedenkt, dass diese Rigg Form mit Dreiecksegeln schon sehr lange den Segelalltag bestimmt, drängt sich mir die Frage auf, fällt den Technikexperten denn nichts mehr ein?“

Na, so einfältig sind die Techniker nun auch wieder nicht. Es gibt schon konsequente Weiterentwicklungen. Sie beziehen sich aber mehr auf Details und vor allem auf die Materialauswahl für die Segeltuche.

Bevor wir auf so revolutionäre Weiterentwicklungen wie z.B. den Flettner Rotor nochmal zu sprechen kommen, verdeutlichen wir uns die Wirkungsweise der klassischen Dreieckssegel. Es sind nämlich bereits einige wesentliche Unterschiede zwischen Vor- und Großsegel vorhanden (Abb.10).

Betrachtet man den Zustand des reinen Querkraftsegelns (d.h. Segeln hoch am Wind), haben die Vorsegel im Vergleich zum Großsegel deutlich höhere Querkraftbeiwerte bei geringen Widerstandsbeiwerten. Ändert sich jedoch der Kurs ein wenig und die Schoten können geschrickt gefahren werden, so ist das Großsegel das deutlich bessere Segel.

Diese einfache Erkenntnis ist für jeden Skipper wichtig, damit er weiß, auf welches Segel er sich konzentrieren sollte. Außerdem kann man daraus erkennen, dass bei schwerem Wetter Kurse hoch am Wind sehr wohl nur unter Vorsegel wirkungsvoll gesegelt werden können. Bei geschrickten Kursen wäre das Großsegel unter Umständen die bessere Wahl.

Natürlich bestehen zwischen Vor- und Großsegel zahlreiche Wechselbeziehungen (Abb.11). Die Stellung der Segel zueinander ist ebenfalls wichtig. Es gibt allerdings, entgegen der weit verbreiteten Meinung, zwischen dem Groß- und dem Vorsegel nicht auf jeden Fall eine Düse. Man sollte diesen Bereich als Zone der Wechselbeziehungen betrachten (Abb.12).

Um nun auf die von dir bezweifelte Kreativität von Technikexperten zurück zu kommen, es gibt durchaus Alternativen zu den gebräuchlichen Rigg Formen mit Dreiecksegeln. Da wären z. B. Riggs mit starren Flügeln, drehbaren Masten, Trapezsegeln usw.

Alle Weiterentwicklungen basieren jedoch auf einer Optimierung des Querkraftsegelns. Der in der Praxis sehr wichtige Bereich des Übergangs zum Widerstandssegeln schneidet bei allen grundlegend geänderten Rigg Formen schlecht ab.

3.3. Zusammenfassung

Die konventionelle Rigg Form mit Groß- und Vorsegel (Genua und Spinnacker) ist bei allen Kursen zum Wind immer noch am besten. Es ist darüber hinaus auch die kostengünstigste Variante eines Riggs. Da bleiben nur Veränderungen (Verbesserungen) im Detail (Abb.13). Falls aber ein Fahrtensegler sich eine Mylar-Kevlar Segelgarderobe zulegen will, sollte er sich ganz ernsthaft nach dem Kosten-Nutzeneffekt fragen.

Auch beim Segeln bzw. der Aerodynamik darf man niemals die Komplexität des Gesamtsystems vergessen. So manch ein Fachbuchautor tut sich da doch sehr schwer.

„Ja, ich habe schon verstanden. Bevor ich mir wieder ein Fachbuch kaufe, werde ich Dich erstmal fragen.“

Na, - ich glaube mit der Erkenntnis kann ich sehr zufrieden sein.

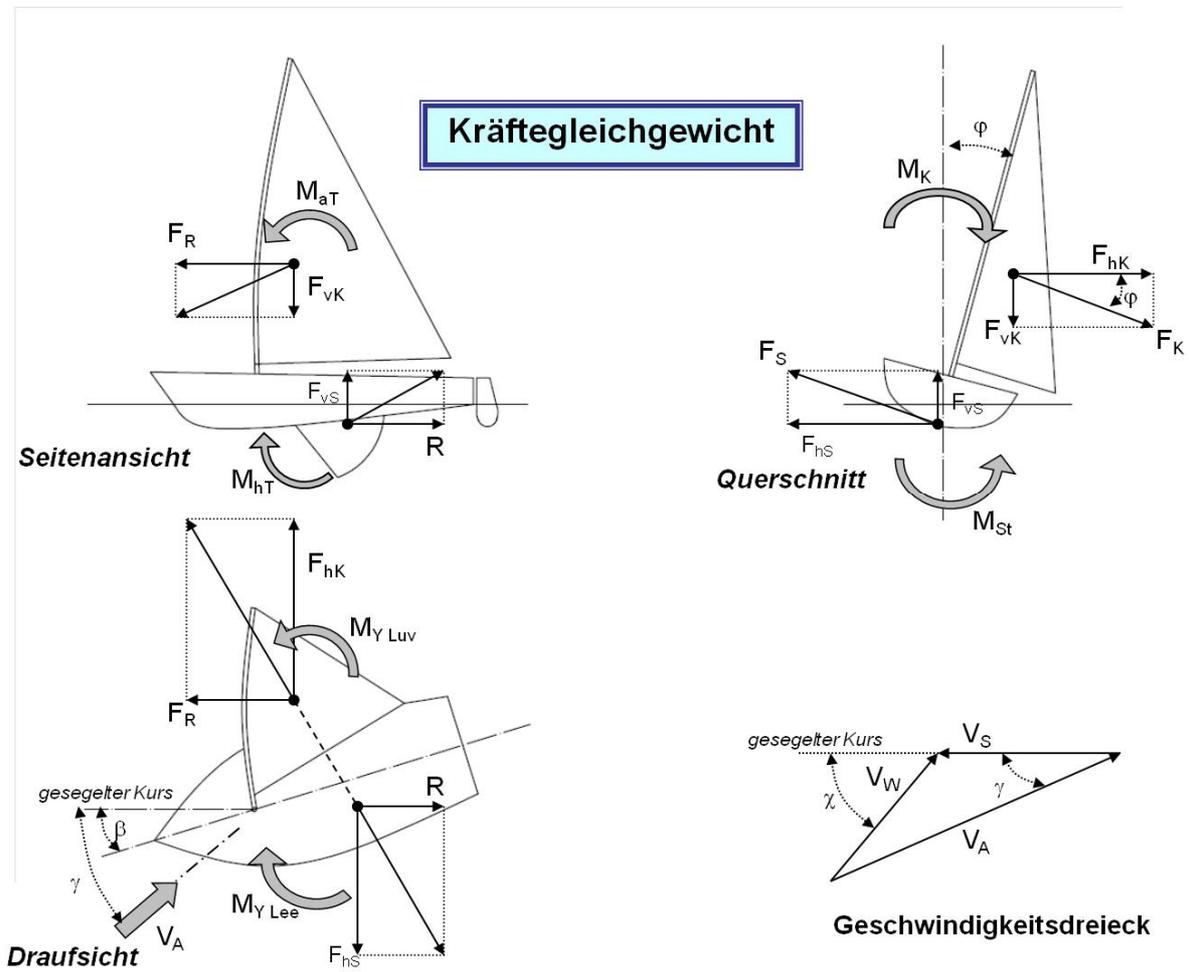


Abbildung 9: Kräftegleichgewicht am Segelboot

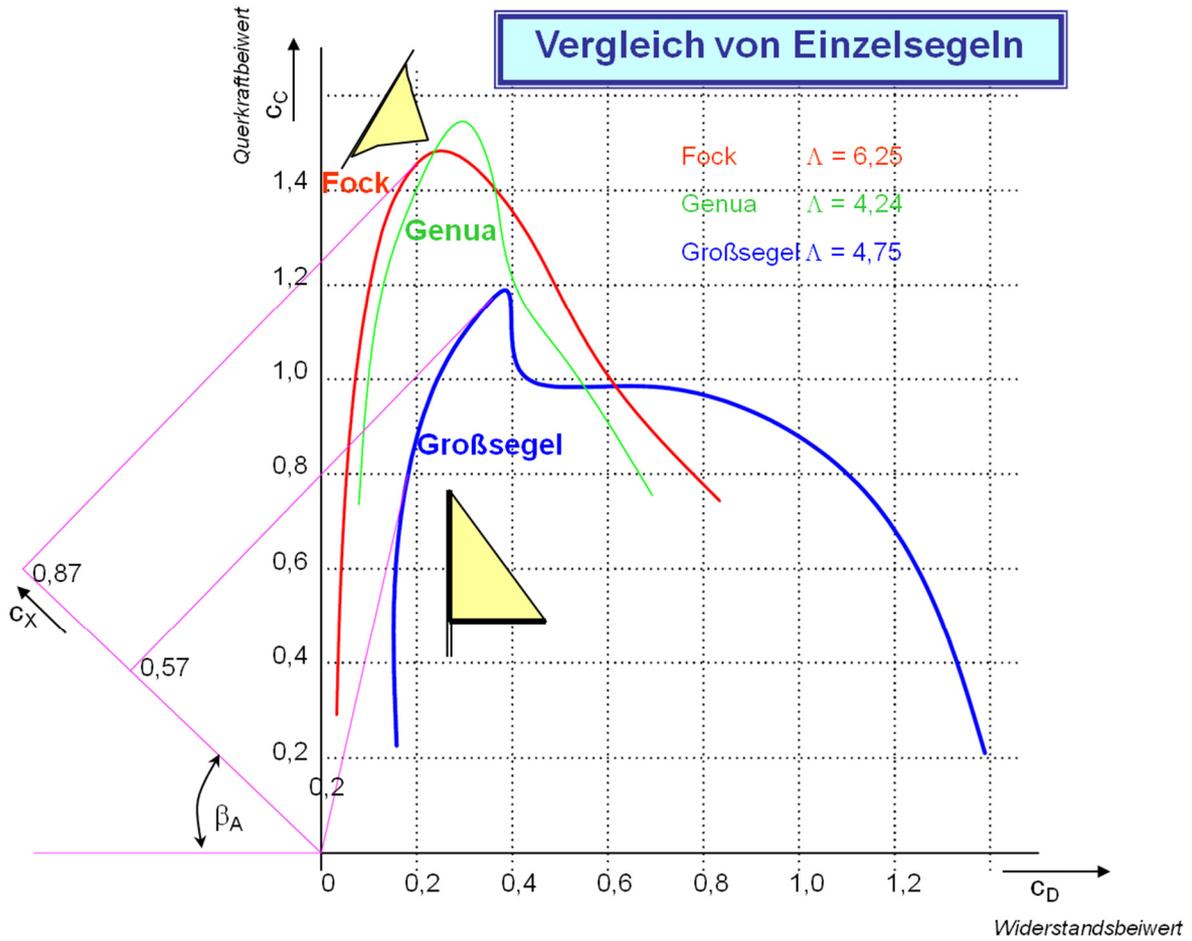


Abbildung 10: Segelpolare

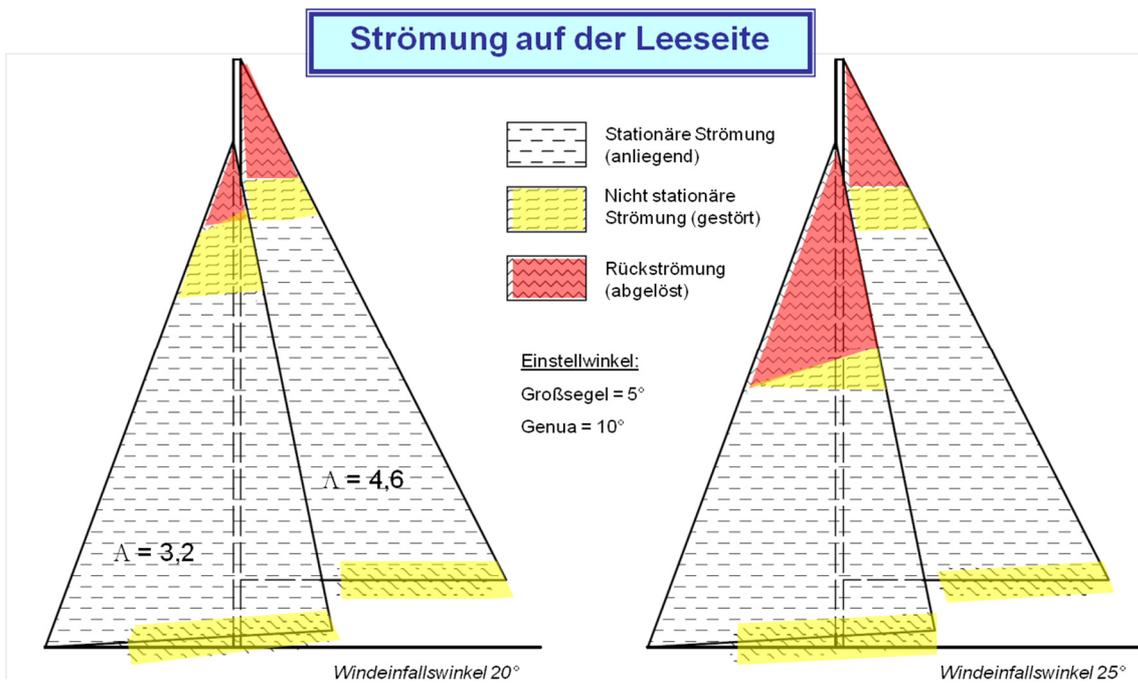


Abbildung 11: Strömung auf der Leeseite

Zirkulationsfelder von Fock und Groß

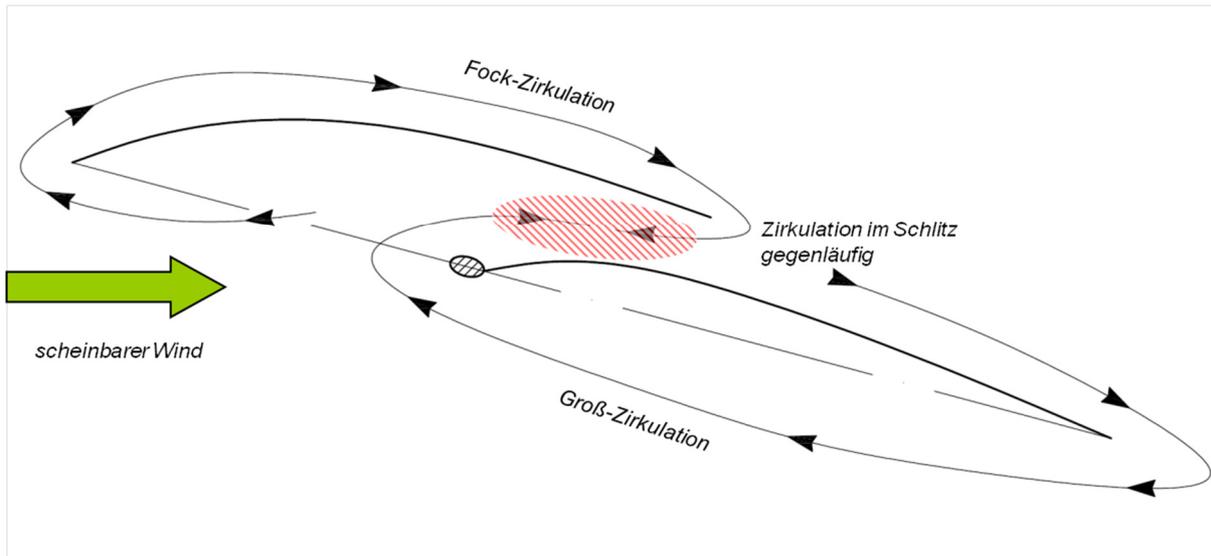


Abbildung 12: Zirkulation von Fock und Groß

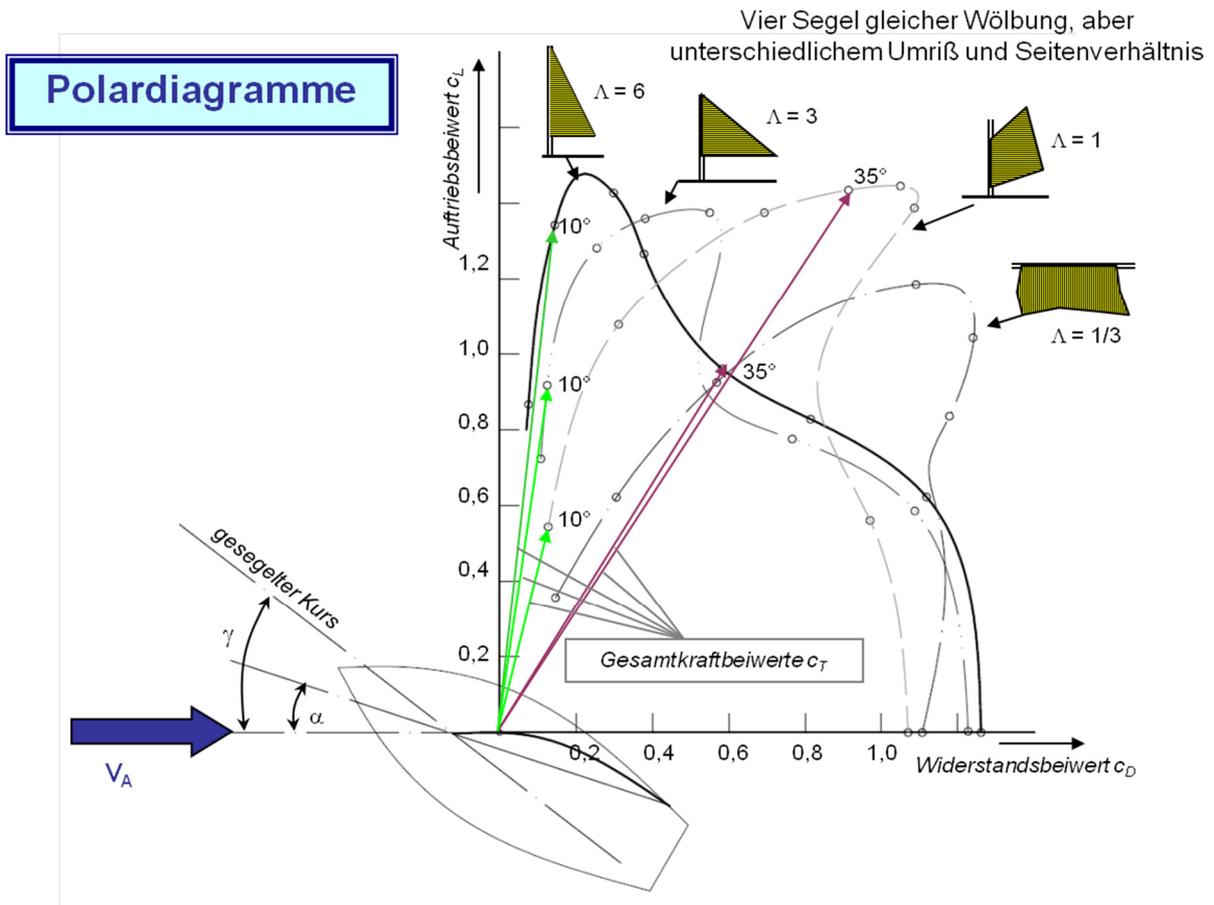
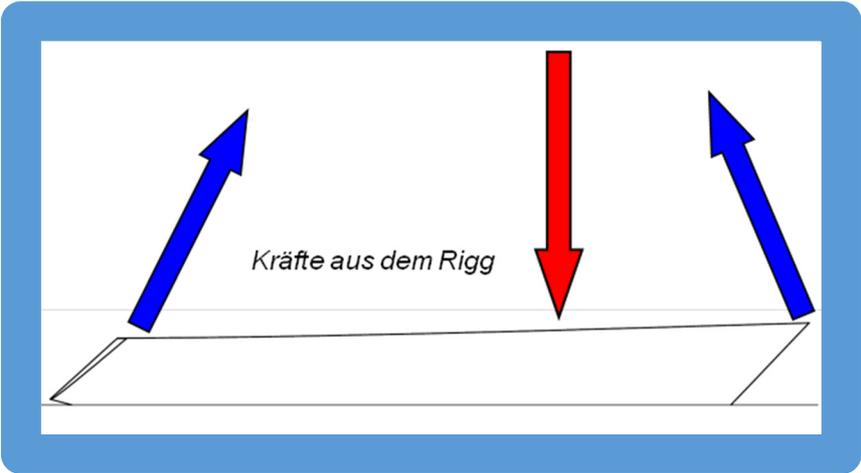


Abbildung 13: Polardiagramme

4. Festigkeit



4.1. Einführung in das Thema

Hallo, liebe Natascha, heute haben wir mal wieder ein sehr großes Thema vor uns liegen. Dabei können wir diesmal nicht so häufig auf die vorherigen Themen verweisen, die ja von ihren Grundlagen her sehr gut miteinander verkettet waren.

Aber zwei Dinge können wir doch schon mal übernehmen. Einmal ging es bislang immer um vektoriell gerichtete Kräfte, die in Bezug zu ihrer Größe und Richtung irgendwie abgefangen werden müssen. Auch bei dem Gebiet der Festigkeit gilt, die Summe aller Kräfte muss null sein. Die Begriffe Festigkeit und Stabilität hatten wir bereits im ersten Kapitel differenziert. Wie war das denn nochmal?

"Also, Stabilität ist ein Gleichgewichtszustand. Festigkeit ein Begriff aus der Mechanik."

Richtig! - An welche Kräfte, die wir bislang besprochen haben, kannst Du Dich denn noch erinnern?

"Na, da gab es die Gewichtskraft des Bootes, der eine gleich große Auftriebskraft entgegengesetzt ist."

Schon wieder richtig. Du läufst langsam zur gewohnten Hochform auf.

" Oh, danke. - Weiterhin gab es aufrichtende und krängende Momente, Auftriebs- bzw. Querkräfte am Rigg und Unterwasserschiff, den hydrodynamischen Rumpfwiderstand bzw. die Vortriebskraft."

Sehr gut! - Global betrachtet also eine stattliche Anzahl äußerer Kräfte (Abb. 14), die die Schiffsstruktur durch Kräfte gleicher Größe mit entgegengesetzter Richtung ausgleichen muss, um die Bedingung, die Summe aller Kräfte ist null, erfüllen zu können.

Wenn Du Dir nun ein Boot so ansiehst, welche festen Strukturen kannst Du da erkennen?

"Na, da ist zunächst einmal die äußere Hülle, der Rumpf mit Deck und Aufbauten. Bei Segelbooten befindet sich auf dem Rumpf ein Mast an dem die Segel gesetzt werden. Unter Wasser ist dann noch ein Kiel vorhanden und achtern befindet sich eigentlich immer ein Ruderblatt."

Ja, genau. - Schauen wir uns mal die von dir genannten Komponenten an.

Zunächst einmal das Rigg. Es besteht aus einem Mast mit Wanten und Stagen (in der Regel). In den Wanten und Stagen, die aus Draht (in der Regel) bestehen, können nur Zugkräfte übertragen werden. Also was bleibt da für den Mast übrig? - Die Druckkräfte. (Abb. 15)

Auf weitere Feinheiten wollen wir hier nicht eingehen, - außer, dass ein Mast, der mit Wanten und Stagen versehen ist, auf Knickung beansprucht wird (Abb. 16). Die Freunde des flexiblen Riggs sollten das bitte nicht vergessen. Das flexible Rigg kann konzeptionell sehr schnell die Fließgrenze des Materials erreichen und damit zum Mastbruch führen. Kenntnisse der technischen Mechanik und deren konsequente Umsetzung sind deshalb beim Umgang mit flexiblen Riggs nötig.

Grundlegend anders sieht es bei freistehenden Masten (ohne Wanten und Stage) aus. Hier liegen große Einspannkräfte im Bereich des Mastfußes vor, die entsprechend abgefangen werden müssen.

Aber sehen wir uns die nächste Schnittstelle an, - den Rumpf.

An Deck, oder vielleicht auch in der Bilge am Kielansatz, steht der Mast. Die Wanten und Stage sind an Püttingen angeschlagen. Die Stelle, an der der Mast steht muss die gesamten Druckkräfte des Mastes aufnehmen. Die Püttinge alle Zugkräfte. Unter diesen Gesichtspunkten sind diese Elemente des Rumpfes zu konstruieren. Aber ein Rumpf hat noch weiteren Beanspruchungen standzuhalten. Da ist der statische und dynamische Wasserdruck (Quer- und Längsfestigkeit), die Person, die an Deck entlang geht (Biegefestigkeit), die Gewichte von Motor und Kiel, und nicht zuletzt die Einspannung des Ruderblattes.

Für diese Belastungen sind entsprechende Konstruktionselemente vorzusehen. Das klingt jetzt leichter als ist. Denn der Mast steht oftmals mitten im Salon, die Püttinge enden auf einem Längssofa und hohe Bodenwrangen darf es bei den flachen Rümpfen nicht geben, weil sonst keine Stehhöhe mehr vorhanden ist (Abb. 17). Dann hilft nur noch konstruktives Geschick aus der Klemme.

Weiterhin wünscht der Hydrodynamiker immer schlankere Profilquerschnitte für Kiel (Abb. 18) und Ruder, so dass z.B. das Wurzelprofil des Kiels bei einer Blei oder Stahlgußlegierung die Einspannkräfte nicht mehr aufnehmen kann. Man landet dann zwangsläufig bei Materialien mit höherer Festigkeit, wie z.B. Bronze.

"Moment mal, hatten wir den Bronze-Kiel nicht aufgrund der geringen Reibung schon mal angestrebt?"

Richtig! - Du arbeitest ganz exzellent mit.

Hier sind wir jetzt aber aufgrund einer anderen Problemstellung zu dieser Lösung gekommen. Eine Problemstellung, die genauso bei Jollenschwertern vorliegt oder beim Ruderblatt z.B. zum Titanruderschaft führen kann, weil der Profilquerschnitt keinen ausreichenden Dimensionierungsspielraum für die Einspannkräfte des Ruderschaftes zulässt. Bei den modernen Ruderformen ist der Schaft nun mal als das einzige tragende Element übrig geblieben.

"Unter welchen Gesichtspunkten, nach welchen Kriterien werden denn die einzelnen Materialien ausgewählt?"

Eine schnelle und immer wieder grundsätzliche Antwort ist, nach dem Preis. Aber diese Antwort ist nicht vollständig genug, denn schließlich müssen auch die technischen Anforderungen erfüllt werden. Das im Bootsbau am häufigsten angewendete Material ist der faserverstärkte Kunststoff, mit einem bisschen Aluminium und Edelstahl für Rigg und Beschläge.

Bei einigen Einzelbauten findet man dann noch die Materialien Stahl (Edelstahl), Aluminium und Holz. (Zement lassen wir hier ganz außer Acht) für den Rumpf.

"Worin unterscheiden sich diese Materialien denn im Wesentlichen?"

Oh, das sind eine ganze Menge Punkte. In diesem Kapitel geht es um das Thema Festigkeit, also beschränken wir den Vergleich der gängigen Materialtypen auf die Festigkeitspunkte.

Hierzu ist es nötig, die für die Festigkeitsbetrachtung erforderlichen Eckdaten zu definieren. Bevor ein Material durch eine äußere Beanspruchung bricht, setzt zunächst eine Dehnung (Abb. 19) ein. Materialabhängig tritt als nächstes eine bleibende Verformung auf, wenn die Fließgrenze überschritten wurde. Eine bleibende Verformung ist das Signal einer Überbeanspruchung und damit der Vorbote zum Versagen des Bauteils. Nun hat nicht jedes Material die Fähigkeit, eine bleibende Verformung anzunehmen. Dies ist in erster Linie den Metallen vorbehalten. Bei faserverstärkten Kunststoffen und bei Holz tritt beim Erreichen der Fließgrenze auch gleich der Bruch ein.

Damit hätten wir also einen ersten Unterschied zwischen Materialien beschrieben. Ein weiterer Punkt wäre die Dauerfestigkeit. Als ein zwar nicht ganz korrektes aber recht plausibles Objekt möchte ich dir eine Büroklammer (oder ein anderes Stück Draht) ins Gedächtnis rufen. Wenn man die besagte Büroklammer aufbiegt und in ihre alte Form wieder zurückbiegt, und wenn man dies dann oft genug getan hat, dann bricht sie. Durch wechselnde Beanspruchungen findet im mechanischen Sinne eine Alterung des Materials bis hin zum Versagen statt. Darin liegt auch eine Ursache für das sogenannte Weichwerden von faserverstärkten Kunststoffen (Glas-, Aramid-, Kohlefaser). Hier führt die Wechselbeanspruchung zum Bruch einzelner Fasern innerhalb des Laminats.

"Und was sind nun zusammengefasst die markanten Unterschiede der einzelnen Materialien?"

Also für die Metalle gilt:

- hohe Festigkeitswerte
- große Dehnung (Edelstahl sehr viel, Aluminium weniger)
- mittlere Dauerfestigkeit
- nach Überschreiten der Fließgrenze, bleibende Verformung

Für faserverstärkte Kunststoffe:

- mittlere bis hohe Festigkeitswerte (je nach Faser- und Kernmaterial)
- geringe Dehnung
- geringe Dauerfestigkeit
- keine bleibende Verformung, sondern gleich Bruch

Für Holz:

- geringe Festigkeitswerte

- mittlere Dehnung
- sehr hohe Dauerfestigkeit
- keine bleibende Verformung, sondern gleich Bruch

4.2. Vertiefung der Grundlagen

Die differenzierten Kenndaten der Materialien, erfordern aufgrund ihrer Grund- und Verarbeitungseigenschaften sehr unterschiedliche konstruktive Lösungen. So wird z.B. die große Elastizität von Metallen gerade bei kleineren Yachten zum Fluch. Die hinsichtlich ihrer Festigkeit ausreichend dimensionierten Bauteile weisen hier oftmals keine ausreichende Biegesteifigkeit vor. Es tritt eine Art Cola-Büchsen Effekt ein. Wenn man draufdrückt ploppt es.

Die erforderliche Biegesteifigkeit war es auch, die schon früh zur Ausführung von Sandwichdecks bei GFK-Booten führte.

Die Bauteilabmessungen die für die globalen Rumpfkkräfte ausreichend sind, müssen nicht unbedingt auch gleichzeitig ausreichend dimensioniert sein um die Person, die an Deck entlang geht, zu tragen oder den hart anliegenden Fender an der Pier schadlos zu überstehen. (Von den Winterlagerböcken ganz zu schweigen.)

Hinzu kommen sehr unterschiedliche Verarbeitungstechniken der Materialien (Kunststoff, Metall, Holz) die bei der konstruktiven Gestaltung berücksichtigt werden müssen. Die oftmals scharfkantigen Formen bei Metallkonstruktionen müssen auf jeden Fall bei Kunststoffen vermieden werden.

"Wie gelangt man denn eigentlich zu den erforderlichen Bauteilabmessungen?"

Oh je, - eine kurze Frage, die aber so viele Erklärungen erfordert.

Die materialspezifischen (in Laborversuchen ermitteltem) Kennwerte sind bekannt. Dazu gehören die zulässige Spannung (bezogen auf den Querschnitt) und die Elastizität. Der Konstrukteur muss nun die äußeren Kräfte ermitteln. Damit dürfte er so seine Schwierigkeiten haben, denn die Lastannahmen sind keineswegs so einfach zu definieren. Ein Schiff bewegt sich halt in sehr unterschiedlichen Randbedingungen, und wie wir es schon mal bei der Stabilität feststellten, man weiß nicht genau was so alles im Leben eines Schiffes eintreten wird. Einen Ausweg aus dieser Situation bieten die Klassifikationsgesellschaften. Sie geben Lastannahmen vor, die zum Teil auf empirischen, zum Teil auf analytischem Wege ermittelt wurden. Mit diesen Daten kann der Konstrukteur seine Bauteilabmessungen bestimmen. Dazu gibt es verschiedene Berechnungsmethoden. Er kann sich den klassischen Weg aus der technischen Mechanik für statisch unbestimmte Systeme herausuchen ([Abb. 20](#)), oder den modernen Weg der Finite-Elemente Methode ([Abb. 21](#)) beschreiten. Die Finite-Elemente Methode setzt voraus, dass die gewünschte Schiffsgometrie in ein entsprechendes Gedankenmodell der Finite-Elemente übersetzt wird. Der Konstrukteur muss also ein guter Dolmetscher sein, sonst erhält er völlig falsche Werte.

"Finite-Elemente? Damit kann ich Garnichts anfangen. Was ist das?"

Ganz einfach ausgedrückt, ein Rechenmodell, das auf der Lösung von Gleichungssystemen beruht. Es sind sehr viele Gleichungen mit sehr vielen Unbekannten die zur vollständigen Beschreibung eines Bauteils gehören können. Die Finite-Elemente Methode lebt deshalb von der Leistungsfähigkeit moderner Computer. Das Ergebnis gibt dabei nicht nur Kraft- (Spannungs-) Verläufe wieder, sondern enthält auch die zu erwartenden Verformungen bei der Lastaufnahme.

4.3. Zusammenfassung

"Also, wie ich heraushören konnte, sind die Techniker bei den Lastannahmen für die Bauteildimensionierung mal wieder ziemlich unsicher."

Nein, nicht ganz. So negativ darf man das nicht ausdrücken. Die empirisch und analytisch ermittelten Lastannahmen sind schon nicht schlecht. Die Häufigkeit des "nicht Zutreffens" der Lastannahmen ist wahrscheinlich genauso groß wie ein Rechenfehler bei der Dimensionierung. Etwas anders sieht es aus, wenn man in Grenzbereichen arbeitet. Zum Beispiel bei besonders großen Schiffen, oder bei extremen Leichtbauten für den Regattaeinsatz. Da finden wir dann auch häufiger spektakuläre Havarie Schäden. Dazu gehören Ruder- und Mastbrüche oder auch schon mal der Verlust eines Kiels.

In diesem Zusammenhang möchte ich den spektakulären Havarie Fall der "Drum" des Sängers Simon le Bon von der ehemaligen Popgruppe Duran Duran erwähnen. Das Schiff, ein IOR-Maxi Racer (d. h. die größte mögliche IOR-Vermessung) startete 1985 zur Vorbereitung auf das Withbread Round the World Race beim Fastnet Race. Noch im englischen Kanal, hoch am Wind segelnd, verlor das Schiff seinen Kiel und kenterte. Es war ein eindeutiger Dimensionierungsfehler. Die üblichen Lastannahmen für die Einspannkräfte am Kiel trafen bei dieser Schiffsgröße nicht mehr zu. Der Schaden wurde repariert und im Round the World Race konnte die Drum den dritten Platz belegen.

"Na ja, dass Thema Festigkeit ist gar nicht so langweilig wie ich zuerst dachte. Allerdings stimmt mich noch eine Kleinigkeit etwas nachdenklich. Du hast mich heute pausenlos gelobt - da ist doch noch ein Haken?!"

Äh, ja - liebe Natascha, vorhin beim Einparken, also dein Auto stand da wirklich sehr unglücklich

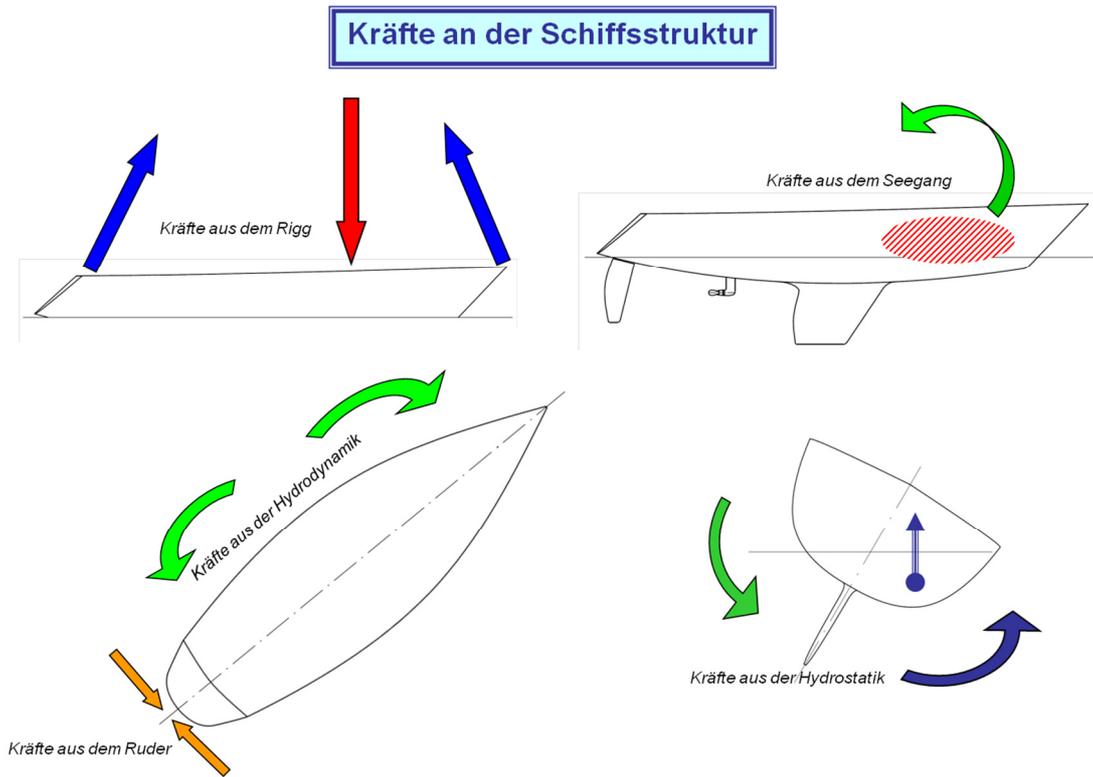


Abbildung 14: Kräfte an der Schiffsstruktur

Kräfte beim Segeln am Wind

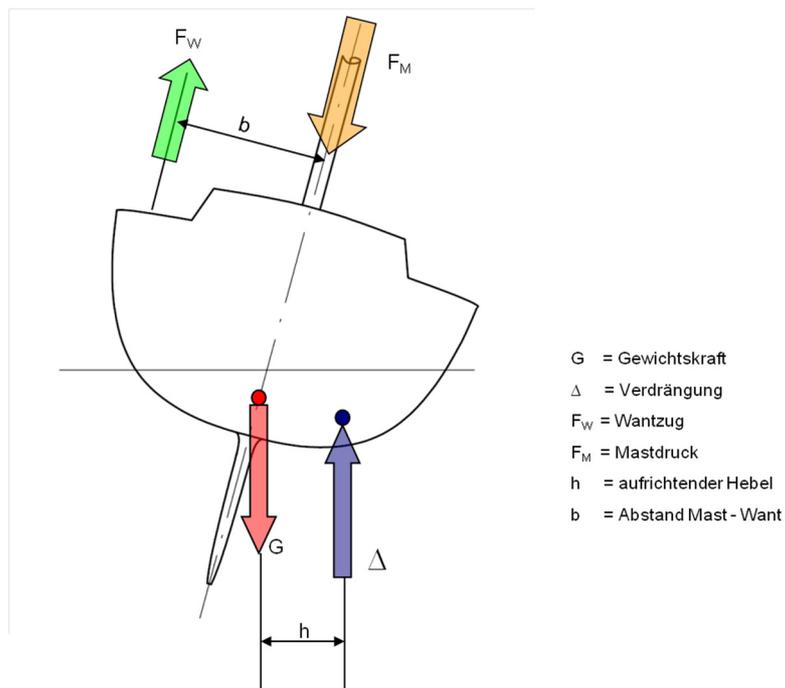


Abbildung 15: Kräfte beim Segeln am Wind

Knickgefahr bei gleichbleibendem Querschnitt

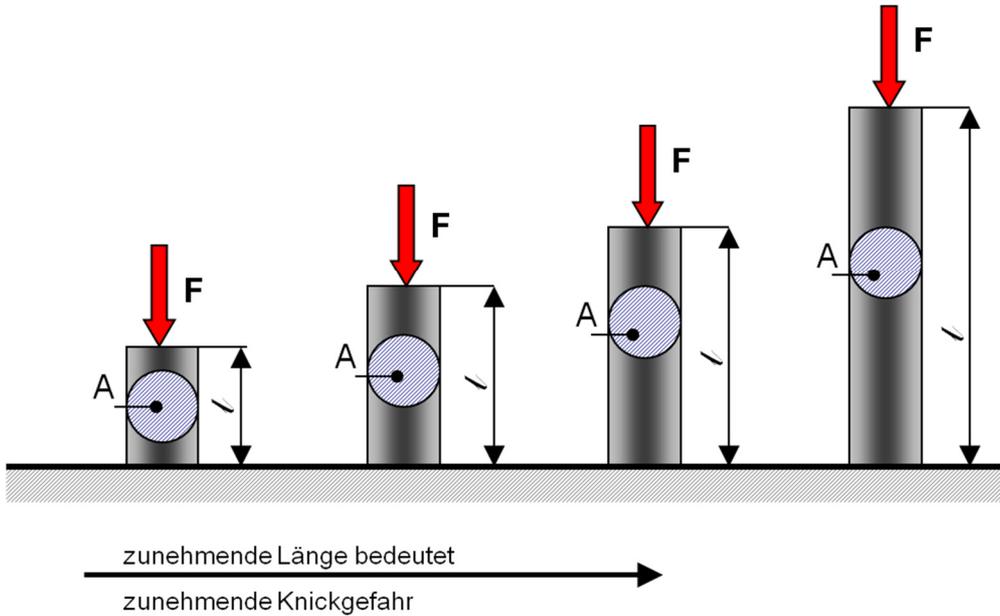


Abbildung 16: Knickgefahr

Einrichtung einer Segelyacht

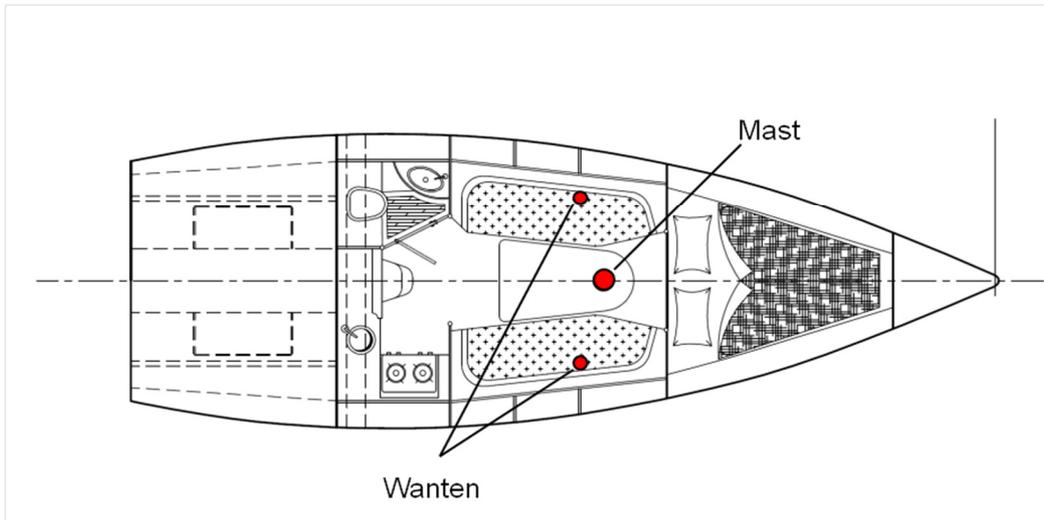
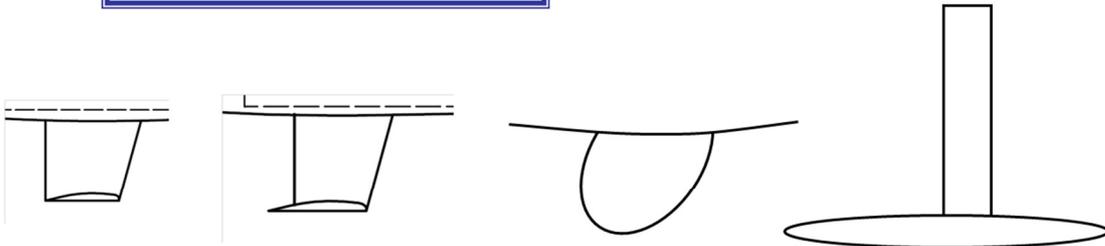


Abbildung 17: Einrichtung einer Segelyacht

Besondere Kielformen



Aus hydrodynamischen und -statischen Überlegungen entstehen Kielformen die für die Festigkeit keine optimale Geometrie haben.

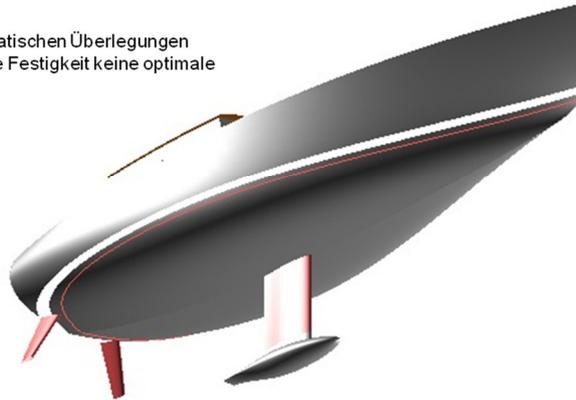


Abbildung 18: Besondere Kielformen

Spannungs-/Dehnungs-Diagramm

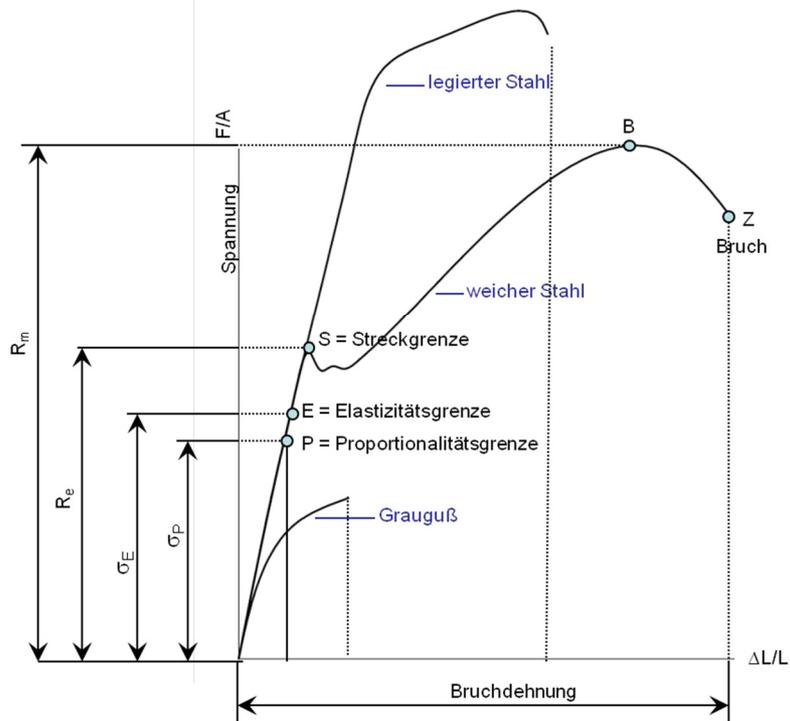


Abbildung 19: Spannungs-/Dehnungs-Diagramm

Statisch unbestimmtes System

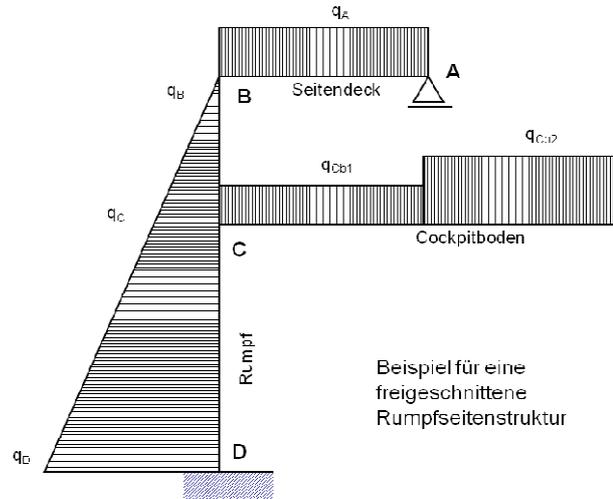


Abbildung 20: Statisch unbestimmtes System

FE Modell einer Segelyacht

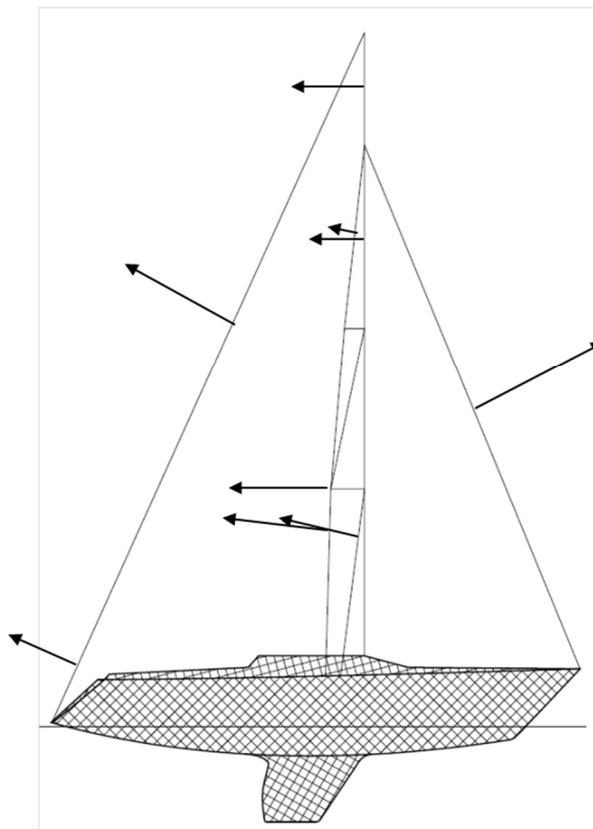
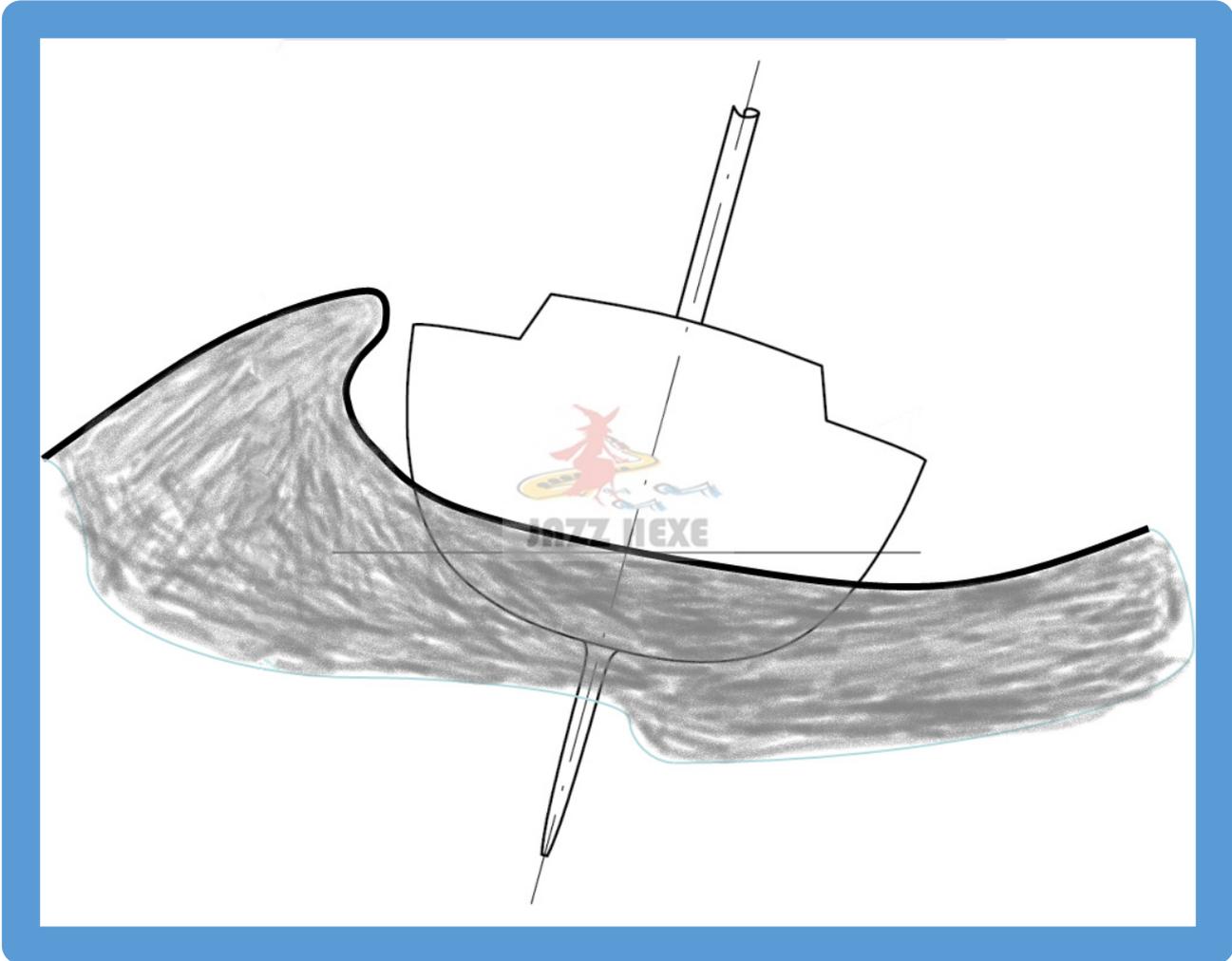


Abbildung 21: FE Modell einer Segelyacht

5. Seetüchtigkeit



5.1 Einführung in das Thema

Wie würdest Du denn den Begriff "Seetüchtigkeit" definieren?

"Nun - mit Seetüchtigkeit wird definiert, ob ein Boot geeignet ist, zur See zu fahren."

Na gut. Allerdings ist auch ein kleines Schlauchboot mit einem kleinen Außenborder in der Lage, ziemlich weit auf das Wasser hinaus zu fahren. Ist dieses Schlauchboot nun seetüchtig?

"Ich würde nein sagen. Denn die Reichweite ist durch den Kraftstoffvorrat nicht besonders groß. Ferner dürfte kaum Platz für Rettungsmittel vorhanden sein. Und bei der geringen Bootsgröße, ohne Schutz durch Aufbauten, verträgt es bestimmt keine großen Wellen. Es könnte umkippen oder vollschlagen."

Danke, liebe Natascha. Du hast mit wenigen Worten fast alle wichtigen Kriterien für die Seetüchtigkeit genannt. Es gibt allerdings viele kluge Leute, die immer alles sehr genau machen. Solche Leute treffen sich dann in Ausschüssen und Normensitzungen. So geschehen zur Definition der Forderungen für die Erteilung der CE-Zeichen für Boote, die es nun seit 1994 für alle in der europäischen Union gehandelten Boote gibt. Demnach ist unter anderem die Höhe der Seereling oder eine Bilgen Lenzpumpe ein maßgebliches Kriterium für die Seetüchtigkeitseinstufung.

Tja - für eine Landratte mag die Seereling eine wichtige Einrichtung sein. Der erfahrene Seemann weiß aber, dass er sich nicht bedingungslos auf die Seereling verlassen darf. Im Notfall hält sie wahrscheinlich nicht. Darum ja auch die goldene Regel *"eine Hand für das Schiff, eine Hand für sich"*.

Die von Dir beschriebenen Kriterien sind da viel besser. Allerdings sind sie schwerer zu beschreiben und mindestens genauso schwer zu überprüfen. - Also nichts für kluge Leute?

"Hoppla, Du bist ja so bissig?"

Ja, richtig. Das Thema "Seetüchtigkeit" liegt mir nun mal ganz besonders am Herzen. Vor langer Zeit - jetzt kommt's raus - habe ich selber einmal Boote konstruiert. Diese Boote wurden auch gebaut, und sie schwimmen sogar heute noch. Damals, in jungen Jahren, wollte ich die ganze Schiffbau- bzw. Bootsbauwelt auf den Kopf stellen. Ich habe mir sehr viele Gedanken gemacht und ständig neue Lösungsansätze gesucht. Bei einem Thema bin ich allerdings immer wieder hängengeblieben: der Seetüchtigkeit.

Die Bootsgeschwindigkeit ist oftmals das einzige und eigentlich immer wichtige Entwurfskriterium. Ganz egal, ob Motorboot oder Segelboot. Nur leider steht das Streben nach Schnelligkeit fast immer im Widerspruch zur Seetüchtigkeit. Da sich die Geschwindigkeit leichter messen und auch gut verkaufen lässt, sind alle Entwurfsgedanken zur Seetüchtigkeit lästig und scheinbar bedeutungslos.

Die Seetüchtigkeit eines Bootes liefert aber ganz wesentliche Dinge. Ein Boot mit hoher Seetüchtigkeit hat einen größeren Gebrauchswert, liefert mehr Komfort auf See und überfordert nicht so schnell seine Crew. Damit liegt ein wichtiger, allerdings schwer messbarer Sicherheitsgewinn vor. Dieser Sicherheitsgewinn ist zudem bedeutungsvoller, als die korrekte Höhe der Seereling.

"Das hört sich recht kompliziert an. Ich schätze, wir haben heute ein sehr schwieriges Thema."

Nun, das Thema ist deshalb so schwierig, weil es herbei um Dinge geht, die bei uns Menschen ein Schattendasein fristen.

"Also, wie würdest Du denn die "Seetüchtigkeit" definieren?"

Fangen wir erst einmal mit kleinen Schiffen an, so wie Du es mit dem anfangs erwähnten Schlauchboot getan hast.

Da wäre zunächst die Fähigkeit eines Bootes, Weg nach Luv gutzumachen. Das ist ein ganz besonderes Problem, das den Eignern von modernen Segelyachten nicht mehr bewusst ist. Hier blicken wir einmal zurück in das 19. Jahrhundert (Abb.22), als die gewerbliche Schifffahrt noch hauptsächlich unter Segel fuhr und die technologische Entwicklung in den Kinderschuhen steckte. Zu dieser Zeit gab es immer wieder Schiffsverluste in der Deutschen Bucht und entlang der Nordseeküste bis nach Skagen. Der Grund hierfür ist schnell erklärt. Bei den vorherrschenden Westwinden waren die Schiffe nicht in der Lage, sich aus kritischen Legerwallpositionen freizukreuzen. Unter schwierigen Bedingungen Weg nach Luv gutzumachen zu können, ist also ein wichtiges Kriterium für die Seetüchtigkeit.

Die Havariefälle durch Legerwall sind damit ein Beispiel dafür, dass die Seetüchtigkeit immer durch die Randbedingungen, die von der Natur vorgegeben werden, beeinflusst wird. Dazu gehört ganz besonders der Seegang.

Das Verhalten eines Bootes bei den verschiedenen Kursen zur Welle kann recht unterschiedlich ausfallen.

Seegang von vorn wird im Allgemeinen als der schwierigste Kurs angesehen. Dies trifft zum Teil zu, nämlich für den Festigkeitsverband und das Wohlbefinden der Crew. Für die Stabilität des Bootes ist die Welle von der Seite oder von achtern viel gefährlicher. Einige tragische Havarien von Seenotrettungskreuzern in der Deutschen Bucht passierten bei einem Kurs mit Seegang von achtern.

Meerrumpfboote stellen in diesem Zusammenhang noch einen besonderen Fall dar. Sie verfügen, wie es die Namensgebung schon beschreibt über mehrere Rümpfe, wo jeder für sich in einem eigenen Wellensystem fährt. Durch die kraftschlüssige Verbindung der Rümpfe untereinander werden die Bewegungen des Rumpfes zwangsläufig auf den anderen Rumpf übertragen, der eigentlich das Verlangen hat, sich ganz anders zu bewegen. Wie im Leben, so setzt sich auch hier der Stärkere von beiden durch. Man kann sich nun auch leicht vorstellen, dass dieses unglückliche Zusammenwirken der Rümpfe im Seegang zu unangenehmen Situationen führen kann. Von der unglücklichen Stabilität und den schlechten Kreuzeigenschaften eines Mehrumpfbootes will ich hier ganz schweigen,

"Seetüchtigkeit hat also immer etwas mit dem Bewegungsverhalten zu tun?"

Ja, richtig. Es geht bei der Seetüchtigkeit um das dynamische Verhalten eines Bootes bezogen auf die schiffsfesten Achsen mit den zugehörigen Freiheitsgraden (Abb.23)

5.2 Vertiefung

Nanu, Natascha, so nachdenklich?

"Ich überlege gerade, was mich mehr interessiert, die Entstehung des Seegangs oder die Definition der schiffsfesten Achsen."

Da brauchst Du nicht länger darüber nachdenken. Ich werde beides erzählen. Die Schiffsbewegungen sind in bezug zu den Achsen wie folgt definiert:

	x-Achse	y-Achse	z-Achse
Translation	<i>surfen, längsschwojen</i>	<i>schwojen, driften</i>	<i>tauchen</i>
Drehbewegung	<i>rollen</i>	<i>stampfen</i>	<i>gieren</i>

Hinzu kommt bei den Schiffsbewegungen das sogenannten "Slaming", eine besondere Form des Stampfens, für die es keine deutschsprachige Übersetzung gibt.

"Aha, und was ist "Slaming"?"

Darunter versteht man das Austausch des Vorschiffes mit dem anschließenden, harten Wiedereinsetzen ins Wasser. In der Regel "scheppert es dabei ganz gewaltig im Gebälk". Es ist also eine extreme Art der Festigkeitsbeanspruchung, verbunden mit für den menschlichen Organismus unangenehm hohen Beschleunigungen. Der eine oder andere kennt vielleicht das Gefühl, wenn man auf dem Vorschiff steht und unter einem das Deck plötzlich wegsackt, so dass die Füße fast frei in der Luft hängen.

Die Beschleunigungen, die ein Schiff im Seegang erfährt, sind eine sehr gute Vergleichsgröße für die Seetüchtigkeit.

Wohlgemerkt, es sind die Beschleunigungen in Bezug zu den Schiffssachsen mit rasch wechselnden Vorzeichen.

"Die Beschleunigungen des Bootes, sind die an jeder Stelle des Bootes gleich groß?"

Nein. Zu den Schiffsenden (Bug oder Heck) werden sie größer, wobei die größten Beschleunigungen im Vorschiff vorliegen. Es handelt sich bei den Seegangsbewegungen hauptsächlich um Drehbewegungen mit den dazugehörigen Winkelbeschleunigungen. (Abb.24)

"Ach ja. Nun verstehe ich auch den Vorteil eines Mittelcockpits. Und die obligatorischen Vorschiffskojen sind keine besonders guten See Kojen. Aber haben die Beschleunigungen nicht auch etwas mit den Gewichtsmassen zu tun?"

Na klar! Die Masse allein bewirkt schon eine größere Trägheit bei den Beschleunigungen (Translation). Bei den Drehbewegungen mit den zugehörigen Winkelbeschleunigungen ist das Massenträgheitsmoment das bestimmende Kriterium. Dieses Moment ergibt sich aus dem Abstand der Teilmasse zur jeweiligen Drehachse. Der Abstand der Masse (quadratische Funktion) hat dabei einen größeren Einfluss, als die Masse selbst. Das Boot mit dem größeren Massenträgheitsmoment erfährt im Seegang die kleineren

Beschleunigungen. Doch auch hier gilt: kein Vorteil ohne Nachteil. Eine große Massenträgheit kostet Geschwindigkeit, und das Boot nimmt mehr Wasser über.

"Beschleunigungen mit wechselnden Vorzeichen - das sind doch Schwingungen. Wie werden denn bei einem Boot diese Beschleunigungen erzeugt?"

Die Schwingungen des Bootes werden durch den Seegang angeregt (Abb.25). Seegang, das ist nun wieder etwas schwieriger zu beschreiben, zumal er auch noch in jedem Seegebiet anders ist.

Eine Sinuswelle ist mathematisch klar definiert. Der Seegang verhält sich aber leider nicht wie eine Sinusfunktion, sondern ist eine unregelmäßige Schwingung. Man kann den Seegang eher beschreiben, wenn man mehrere Sinuswellen verschiedener Amplitudenhöhe und Periodenlänge überlagert. Wie sich der Seegang dann aber tatsächlich darstellt, ist auf analytischem Wege nicht mehr zu erfassen. Hier sind dann statistische Meßmethoden nötig.

Etwas einfacher wird es, wenn man nur die einzelne Welle betrachtet. Eine Welle hat demnach ihr eigenes Strömungsbild. Bei starkem Seegang gegen die Welle Fahrt über Grund gutzumachen, ist eine Fahrt gegen die Rotationsströmung der Welle. Bei Welle von vorn bewegt sich das Boot damit relativ sehr schnell durch das Wasser. Die Fahrt mit der Welle von achtern ist das genaue Gegenteil. Hier bewegt sich das Boot dann relativ sehr langsam im Wasser.

Insgesamt ist der Seegang mit seinen Amplituden der hauptsächliche Auslöser für die wechselnden Beschleunigungen (Winkelbeschleunigungen) am Bootskörper.

In Abhängigkeit zu diesen Beschleunigungen kann man ganz klar das menschliche Wohlbefinden definieren.

Kurzgefasst lautet es: je kleiner, desto wohler.

"Bei dem Seegang, den Schwingungen, also, was passiert da mit der Stabilität des Bootes?"

Alle Betrachtungen zur Stabilität bezogen sich bisher immer auf die statische Stabilität, dem Zustand des Gleichgewichtes. Verändern sich jedoch rasch die krängenden Momente, so muß die Stabilität ebenfalls reagieren. Es handelt sich dann um die "dynamische Stabilität". (Abb.26, Abb.27)

"Welche Kriterien, Eckdaten muss denn, in wenigen Worten, ein Boot erfüllen, um seetüchtig zu sein?"

Es darf kein Extrembau sein. Es sollte ein schmales, tiefreichendes Einrumpfboot sein, das auch noch ein bisschen Masse mitbringt.

5.3 Zusammenfassung

"Also, wir haben heute wieder einmal Begriffe kennengelernt, die im Widerspruch zueinander stehen: Seetüchtigkeit und Schnelligkeit. Wenn ich mir die Bilder von den letzten Langstreckenregatten, mit den gekenterten Booten so ansehe, gibt es für diesen Widerspruch hochaktuelle Beispiele."

Das ist richtig. Blicken wir doch einmal zurück zum Whitbread-Round the World-Race, dem heutigen Volvo Ocean Race.

Ein Schiff namens "Flyer" gewann dieses Rennen zweimal in Folge. Die erste Flyer war konsequent für das Langstreckensegeln gebaut worden. Ketsch getakelt, schwer und komfortable. Der Eigner vertrat die Ansicht, dass nur eine gut ausgeruhte Crew auch auf langen Strecken gute Leistungen bringen konnte. Er hatte recht damit und gewann.

Die zweite Flyer sah anders aus, sie war konsequent auf Geschwindigkeit gebaut. Der Eigner gewann noch eindrucksvoller und stellte etliche Rekorde auf. Er nahm allerdings kein weiteres Mal an diesem Rennen teil.

Heute segeln nur noch extrem schnelle Schiffe dieses Rennen mit. Komfort und Seetüchtigkeit haben hier keinen besonders hohen Stellenwert mehr.

Aber ich möchte noch ein weiteres Beispiel aus unserer Region nennen: die Skagen-Rund-Regatta von Helgoland nach Kiel,

Eine Wettfahrt, die immer wieder durch permanenten Starkwind geprägt wird. Es gewann einmal zur Überraschung aller ein kleines Folkeboot. Die meisten anderen Teilnehmer hatten nämlich aufgegeben. Das Folkeboot besaß also offensichtlich mehr Seetüchtigkeit, als die meisten anderen Dickschiffe.

"Hat das Folkeboot eigentlich eine Seereling?"

Nein, üblicherweise wird das Folkeboot ohne Seereling gesegelt.

"Dann ist es nach der CE-Zeichen-Definition ja gar nicht seetüchtig und darf die Regatta nicht mitsegeln!"

Ja richtig. - Und es kommt noch schlimmer. Das nordische Folkeboot hat noch nicht einmal ein selbstlenzendes Cockpit. Trotzdem ist der Boots Typ zumindest in unserem Revier wohl doch als seetüchtig zu bewerten. Man fühlt sich im Allgemeinen auch als nicht athletischer Segler auf dem Folkeboot bei schlechtem Wetter eher gut aufgehoben als auf einer modernen, schnellen Leichtbaukonstruktion.

Allerdings reden wir beim Empfinden eher von einer subjektiven Größe, so dass es bei einer Definition der Seetüchtigkeit über das bloße Empfinden zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen kommt. Die physische Verfassung des "Empfinders" wird dann zur bestimmenden Größe. Das CE Zeichen sollte daher ähnlich wie die Altersangaben bei Spielzeug für die Bootstypen eine Empfehlung in - hmm, sagen wir mal mindest Bizepgröße, oder mindest Crewzahl, - oder noch besser, es sollte einen medizinischen Fitnessstest für Boote geben in dem der persönliche Bootslevel definiert wird. Der Bootshersteller hat diesen bei der Zertifizierung des Bootstyps dann ebenfalls zu ermitteln und auf der Typenplakette einzutragen. Die Wasserschutzpolizei kann dann ganz leicht kontrollieren ob man mit dem Boot, dass man sich gerade gekauft hat, den Hafen bei Windstärke x noch verlassen darf oder nicht.

Den letzten Absatz hast du doch jetzt sicherlich nicht ernst gemeint, - oder?

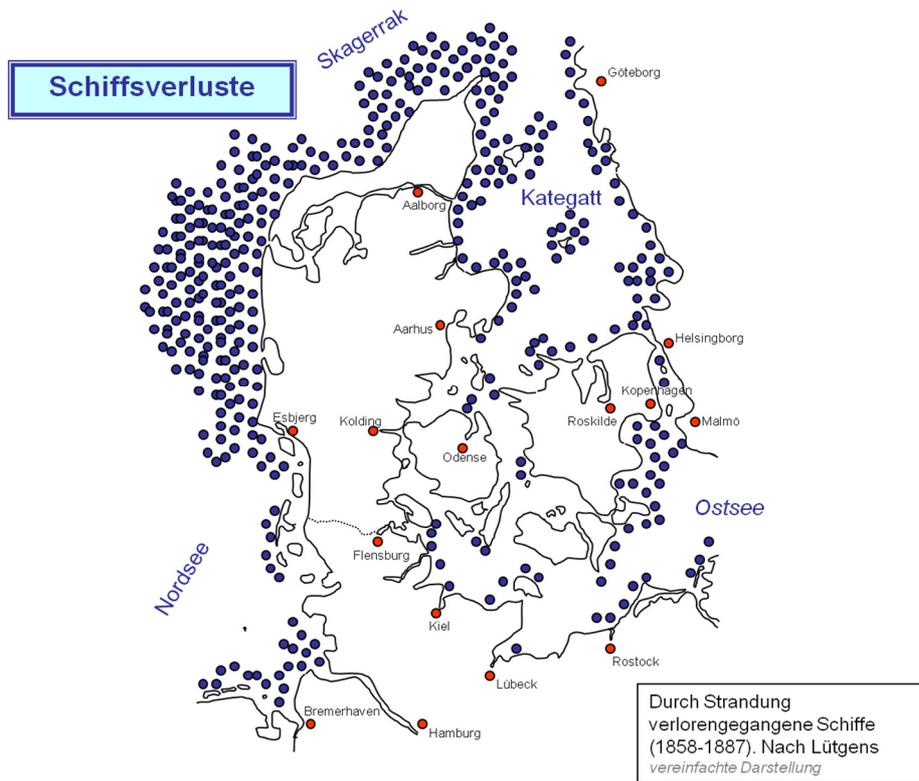


Abbildung 22: Schiffsverluste

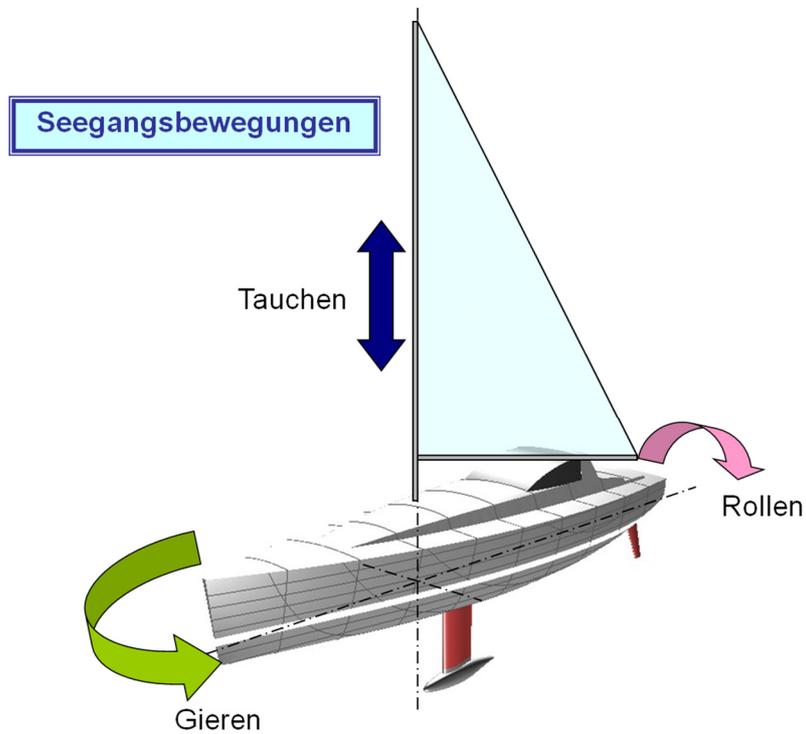


Abbildung 23: Seegangsbewegungen

Seegangswirkungen

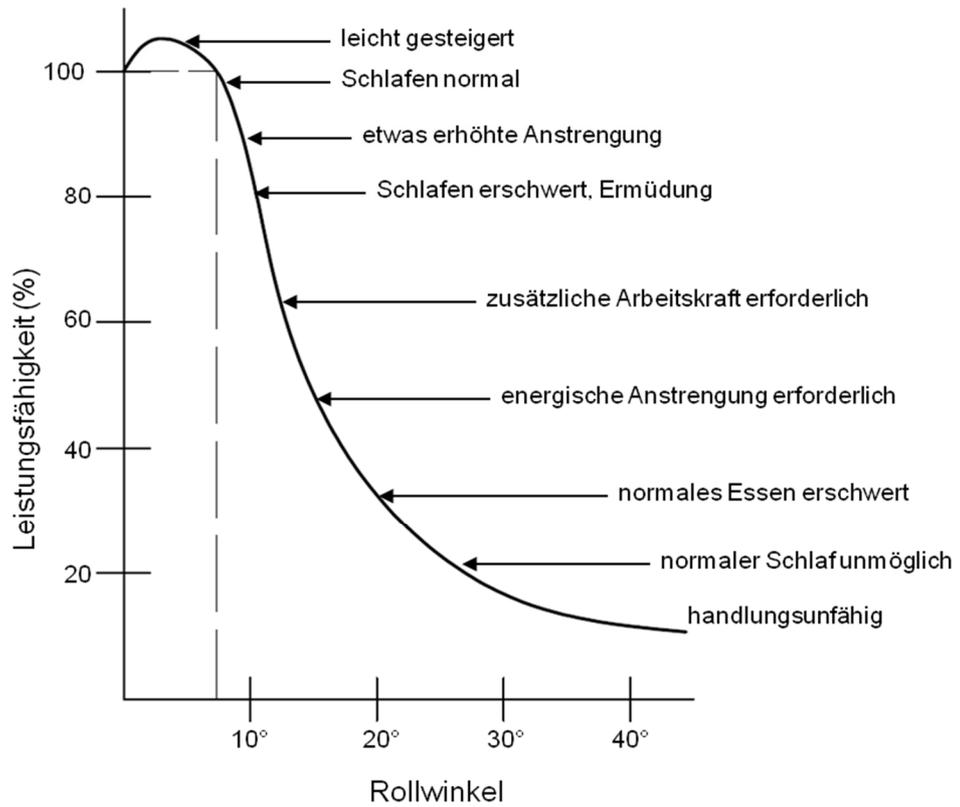
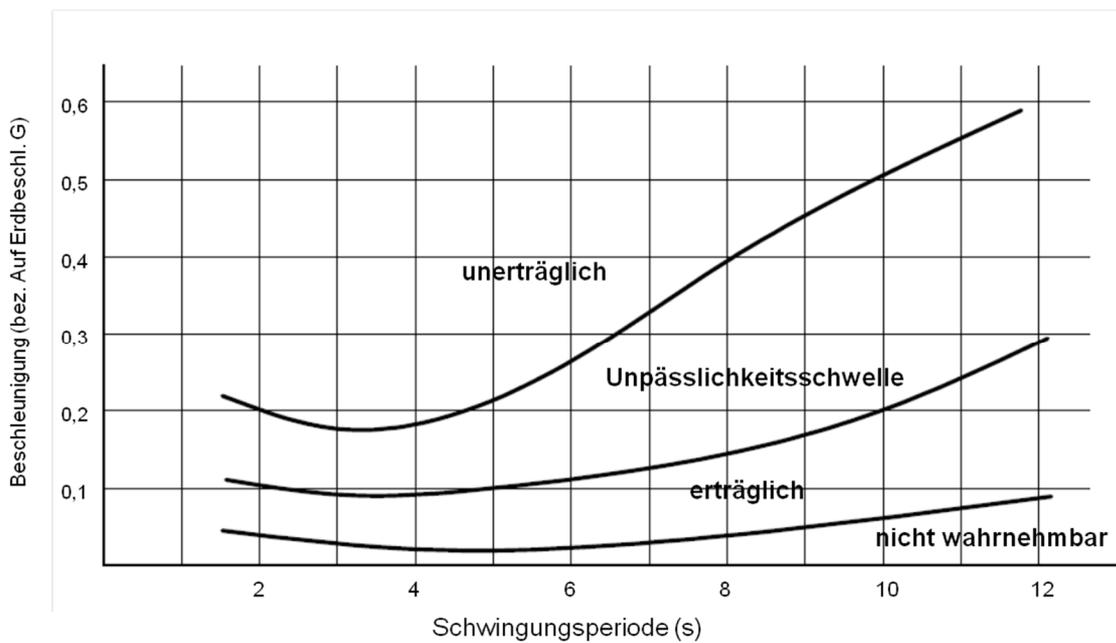


Abbildung 24: Seegangswirkung



Darstellung von Wellen

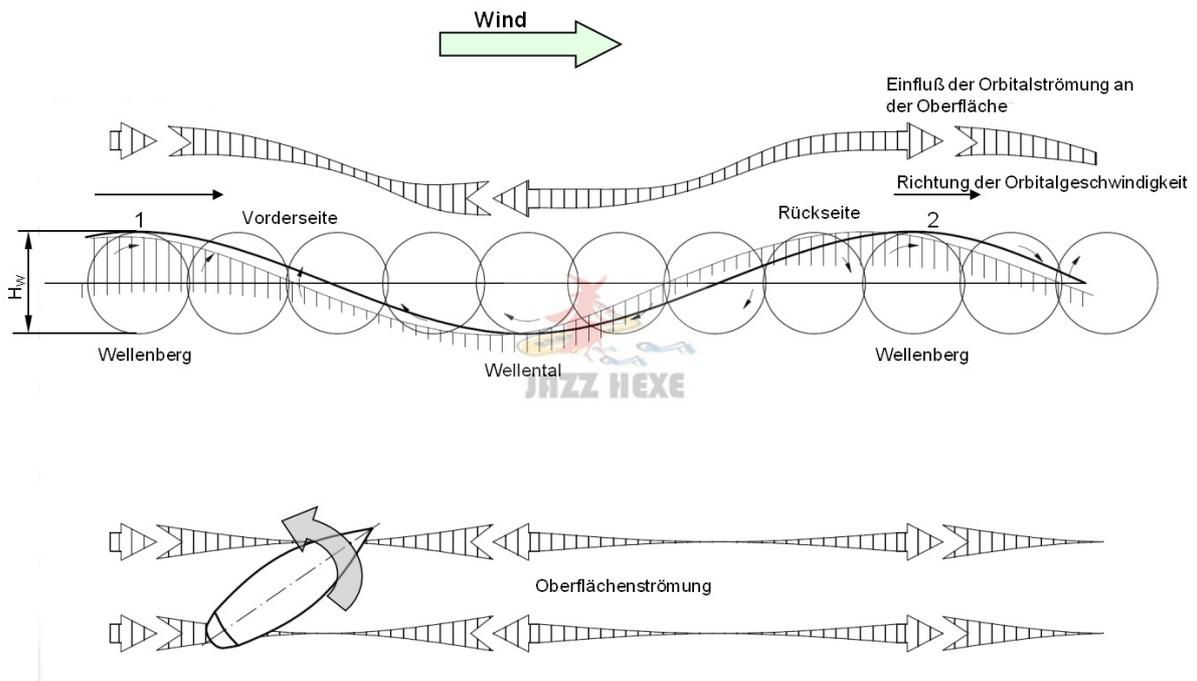
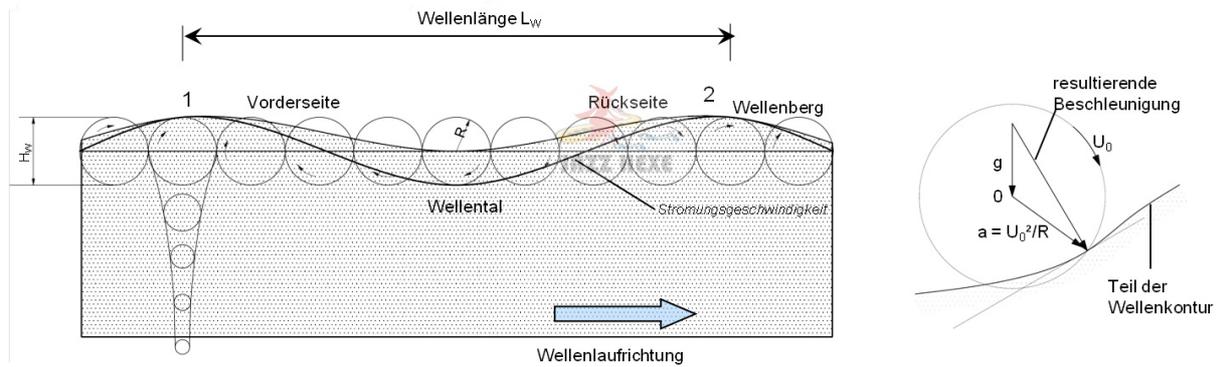


Abbildung 25: Wellen

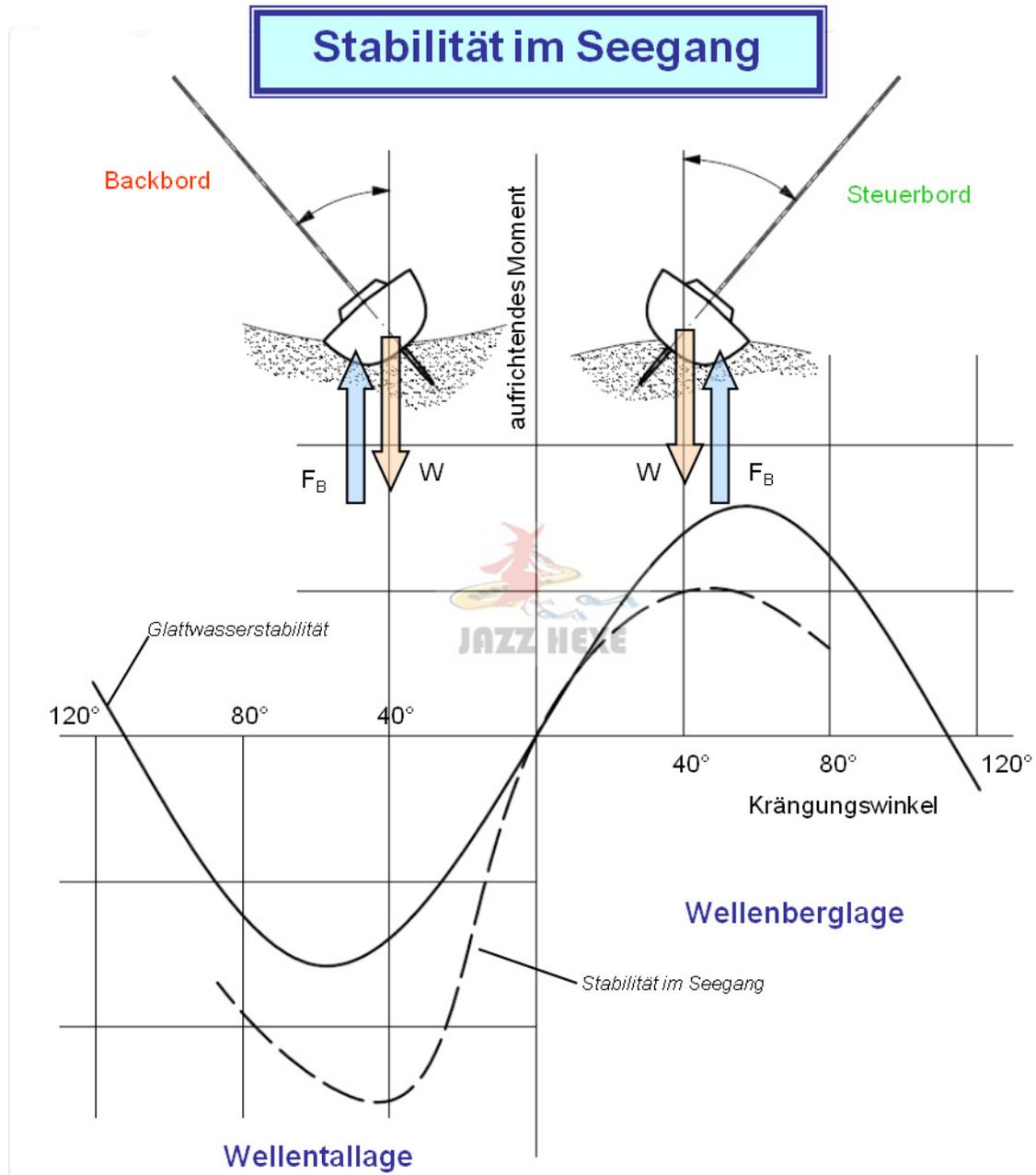


Abbildung 26: Stabilität im Seegang

Wellenstoß

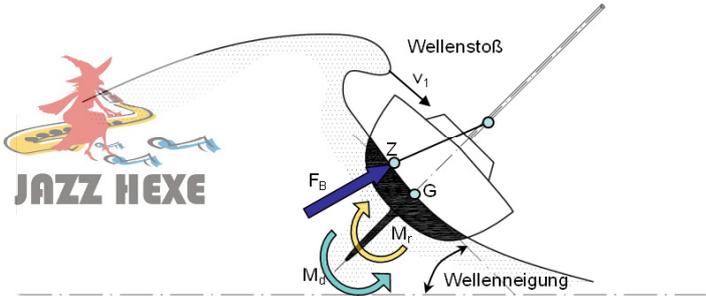
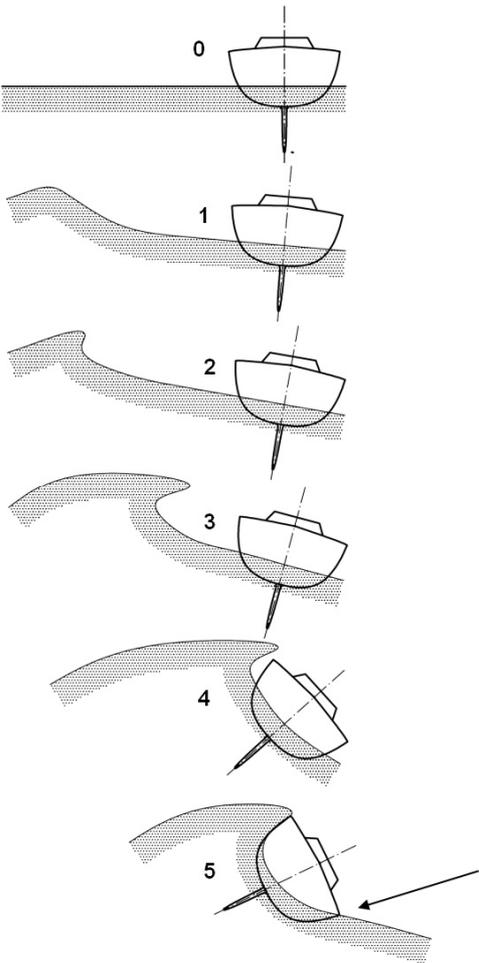
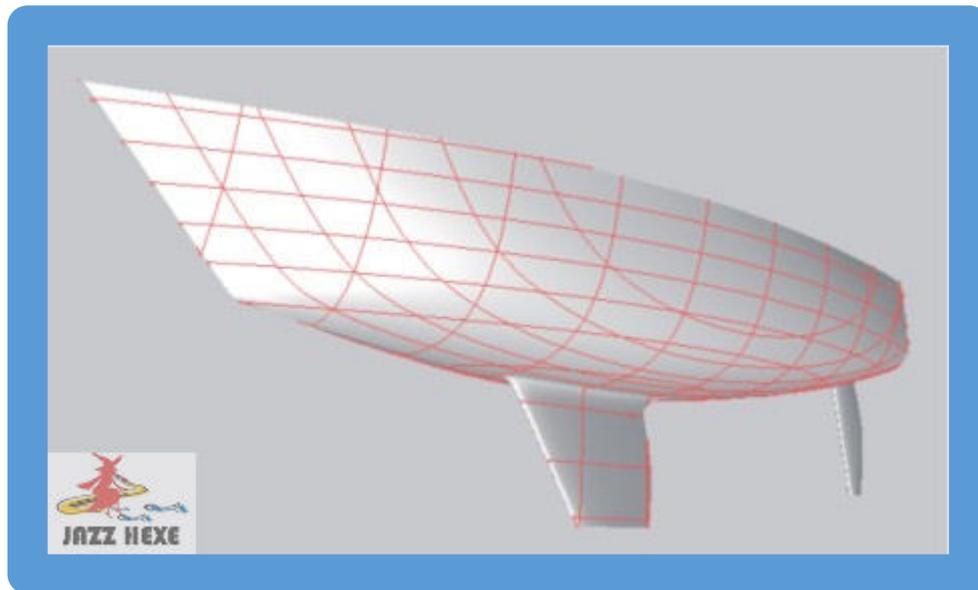


Abbildung 27: Wellenstoß

6. Entwurfskriterien am Beispiel einer Segelyacht



6.1 Einführung in das Thema

"Wir entwerfen heute also ein Segelboot. Wird es denn ein ganz kompliziertes, ausgefallenes, extravagantes oder ein ganz normales, langweiliges Boot sein?"

Wohl eher ein langweiliges Boot. Mir geht es ja auch gar nicht darum, ein besonders reizvolles Ergebnis zu präsentieren, sondern ich möchte den Weg zu diesem Ergebnis beschreiben.

"Wie fängt man denn nun an?"

Nicht so ungeduldig, liebe Natascha. Zunächst analysieren wir einmal die Dinge, die wir von dem neuen Boot wissen und die wir nicht wissen. Der gesamte Entwurfsprozess ist dann eine Iterationsschleife, die mit den ersten Annahmen beginnt.

"Was für ein Boot wollen wir denn heute entwerfen?"

Das ist schon einmal eine Kernfrage. Die Antwort darauf wird niemals kurz ausfallen. Am besten, man formuliert so etwas in einer Art "Lastenheft" oder "Anforderungsprofil". Das ist übrigens auch ein guter Schritt, bevor man sich ein fertiges (neu oder gebraucht) Boot kauft. Bei unserem heutigen Entwurf wollen wir das Thema etwas abkürzen. Es gab nämlich einmal eine Werft, die bereits zwei Segelboot-Typen, eine 26 Fuß- und eine 36 Fuß-Yacht im Angebot hatte (Abb.28). Die Lücke zwischen den beiden Booten sollte durch einen neuen Entwurf von 31 Fuß Länge geschlossen werden. Durch die bestehende Produktfamilie war damit bereits das Lastenheft weitestgehend festgelegt. Das kleinere und das größere Schwesterschiff konnten als Vergleichsschiffe herangezogen werden. Zusätzlich sollte man sich aber auch sonst noch ein bisschen auf dem Markt umsehen und Vergleichsdaten sammeln.

"Wie kann man denn unterschiedlich große Schiffe miteinander vergleichen?"

Für diesen Zweck hat man im Schiffbau schon sehr früh eine ganze Reihe von Verhältniswerten (möglichst dimensionslos) definiert. Die bedeutungsvollsten für das Unterwasserschiff sind der

VÖLLIGKEITSGRAD (Blockkoeffizient **CB**)

und die

HAUPTSPANTVÖLLIGKEIT **CM**.

Diese Daten berechnen sich wie folgt:

$$CB = \frac{\text{Verdrängung}}{L_{WL} \times B_{WL} \times T}$$

$$CM = \frac{\text{Hauptspantfläche}}{B_{WL} \times T}$$

L_{WL} : Länge in der Wasserlinie

B_{WL} : Breite in der Wasserlinie

T: Tiefgang

Je nach Fahrzeugart gibt es nun weitere, spezifische Vergleichsdaten. Für unseren Fall, den Entwurf einer 31 Fuß Segelyacht, sind die folgenden, gängigen Verhältniswerte interessant:

$$\text{Gewichtskoeffizient} = \frac{L_{WL}}{\text{Verdrängung}}$$

$$\text{Längen-/Breitenverhältnis} = L/B$$

$$\text{Spezifische Segelfläche} = A_{\text{Segel}}/\text{Verdrängung}$$

$$\text{Segelflächen-/Verdrängungsverhältnis} = A_{\text{segel}} / \text{Verdrängung}$$

"Wenn ich also die Verhältniswerte habe, kann ich daraus jedes beliebige Schiff entwickeln?"

Nein, ganz so einfach ist es nicht. Die Verhältniswerte liefern zwar Vergleichsparameter für unterschiedliche Schiffe, und mit Hilfe der Verhältniswerte lassen sich auch die ersten Annahmen (Hauptabmessungen) konkretisieren, d.h. die Eckdaten für den neuen Entwurf festlegen. Der Umgang mit Verhältniswerten muß aber erst erlernt werden. Die Verhältniswerte eines Tankers entsprechen z.B. kaum den Werten eines kleineren Motorbootes.

6.2 Vertiefung der Grundlagen

"Wir haben nun mühsam die Hauptabmessungen zusammengesucht. Wie geht es denn jetzt weiter?"

Bevor der neue Entwurf fertig ist, müssen logischerweise alle veränderlichen Parameter festgelegt werden.

Dazu gehört die Festigkeitsstruktur mit den entsprechend nötigen, konstruktiven Elementen, die wiederum bedeutend für die Gewichtsrechnung sind.

"Ach ja, und was heißt das auf Deutsch?"

Na, aus welchem Material und in welchen Materialstärken gebaut werden soll. Dies alles, möglichst umfassend zusammengetragen, fließt dann in die Gewichtsrechnung mit ein. Und wenn das Gewicht (inkl. Schwerpunkt) annähernd bekannt ist, liegt auch die Verdrängung fest, mit der der Liniенriß gezeichnet wird (Abb. 29).

"Aber was ist nun, wenn mit den gewählten Hauptabmessungen kein Liniенriß ausreichender Verdrängung gezeichnet werden kann?"

Dann fängt man mit neuen Daten wieder von vorne an. Der gesamte Entwurf ist halt ein Iterationsprozeß.

Aber davon gehen wir jetzt erst einmal nicht aus.

Vielmehr können wir mit dem erstellten Liniенriß auch gleich die Formparameter für die Stabilitätsrechnung bestimmen. Liniенriß und Gewichtsrechnung (inklusive Schwerpunktlagen) ergeben also die Daten für die vorhandene Stabilität des neuen Entwurfs.

Für ein Segelboot und ein Motorboot sind bis hierher die Entwurfsschritte gleich. Bei einem Motorboot würden wir uns jetzt Gedanken über die Antriebsanlagen mit der zugehörigen Leistungsprognose machen.

"Aber wir entwerfen ja gerade eine 31 Fuß-Segelyacht. Was kommt denn da als nächstes?"

Natürlich auch die Antriebsanlage. Nur sieht sie bei einem Segelboot etwas anders aus. Es sind die Segelflächen (Abb. 30) mit den entsprechenden Gegenstücken, Kiel und Ruder, am

Unterwasserschiff. Auch hier lassen sich anhand der Verhältniszahlen zunächst schnell die Eckdaten festlegen.

Ein gut entworfenes Segelboot ist aber nicht nur schnell, sondern fährt unter möglichst allen Bedingungen geradeaus.

"Na, das sollte doch wohl nicht so schwierig sein."

Leider doch. Die Kräfte am Segel und am Unterwasserschiff sind nicht konstant. Es verändern sich deren Größe und Richtung. Hinzu kommt, dass das segelnde Boot ein dreidimensionales System ist. Nur, wenn ein Kräftegleichgewicht vorliegt, fährt das Boot geradeaus.

"Aber, warum habe ich denn ein Ruderblatt?!"

Das Ruderblatt ist in diese Überlegungen schon einbezogen. Bei Krängung des Bootes wird das Ruderblatt immer einen kleinen Anstellwinkel haben müssen, damit das Boot geradeaus fährt.

"Das hört sich bislang sehr technisch an. Eine 31 Fuß-Segelyacht hat doch auch eine Einrichtung, ein äußeres Erscheinungsbild und ein paar Versorgungseinrichtungen?!"

Richtig, und es ist gut, diese möglichst früh zu berücksichtigen (Abb. 31). Aber es sind auch die Dinge, über die am längsten geredet wird. Hinsichtlich der Einrichtung und des Deckslayout gibt es zunächst die eindeutigen Rahmenbedingungen der Ergonomie. Wie groß die Stehhöhe, Sitzbreite und ähnliches sein sollte, ist für den Durchschnittsmenschen definiert. Nur die Art des Polsterstoffes oder die Farbe der Gardinen sind eine Geschmacksfrage.

Der Umfang der Schiffsbetriebsanlagen ist ebenfalls möglichst früh zu berücksichtigen. Für eine Heizung, Antriebsmaschine, Warmwassergerät, Sanitäranlagen, Tanks, Elektronik etc. sind entsprechende Räume vorzusehen.

6.3 Zusammenfassung

"Wenn man sich hinsetzt und eine Segelyacht entwirft, dann hat man also alle theoretischen Grundlagen zu vereinen und muss daraus einen, für das jeweilige Lastenheft optimalen Kompromiss erzielen."

Natascha, mit Deiner schnellen Auffassungsgabe überraschst Du mich immer wieder! Neben den hier beschriebenen Gedanken möchte ich nur schnell auf ein paar zusätzliche Überlegungen hinweisen.

Es könnte sich bei dem Entwurf ja auch um eine schnelle Regattayacht handeln, die nach einer bestimmten Rennformel innovativ optimiert werden muss. Dann sind auch Geschwindigkeitsprognosen für diesen Entwurf interessant. Diese können rein theoretisch angestellt werden (Computer machen es möglich) oder auf der Basis von Modellversuchen ermittelt werden. Die Ergebnisse werden dann in Segelpolaren dargestellt. Ich appelliere hingegen dafür die Leistungsfähigkeit von Segelschiffen in einem dimensionslosem Segelgütegrad darzustellen.

Meistenteils sind die Wünsche des Konstrukteurs jedoch viel kleiner. Es wäre nicht schlecht, wenn zur Abwechslung die Püttinge nicht direkt über einem Längssofa enden.

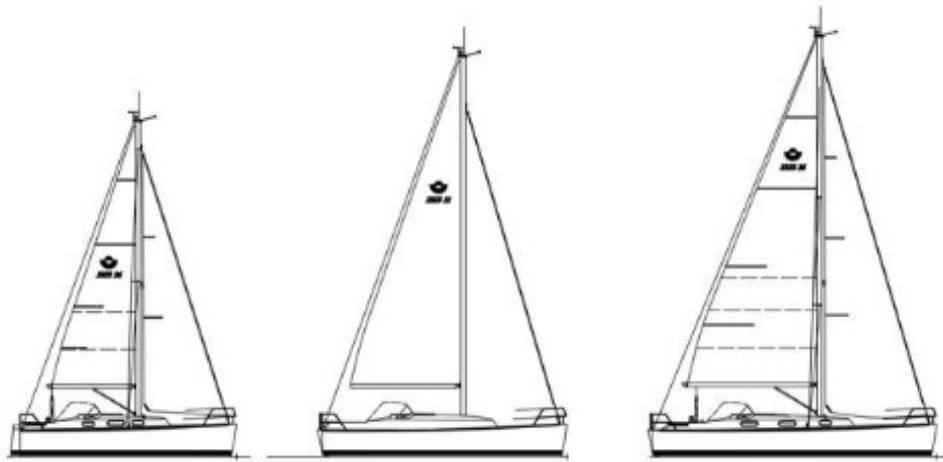


Abbildung 28: Entwurfsreihe

Der Liniendiagramm

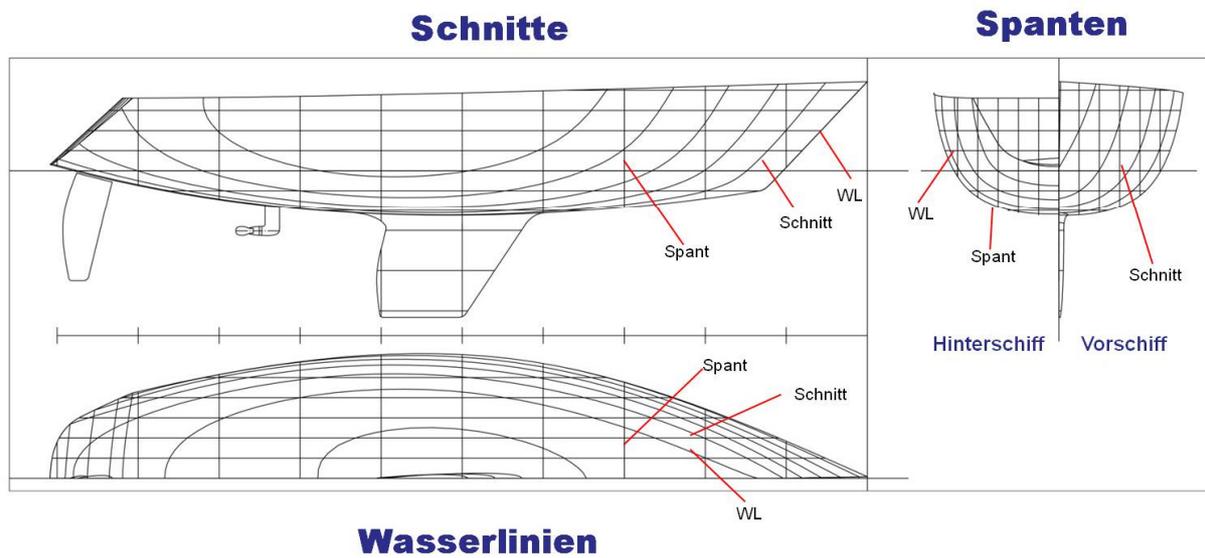


Abbildung 29: Liniendiagramm

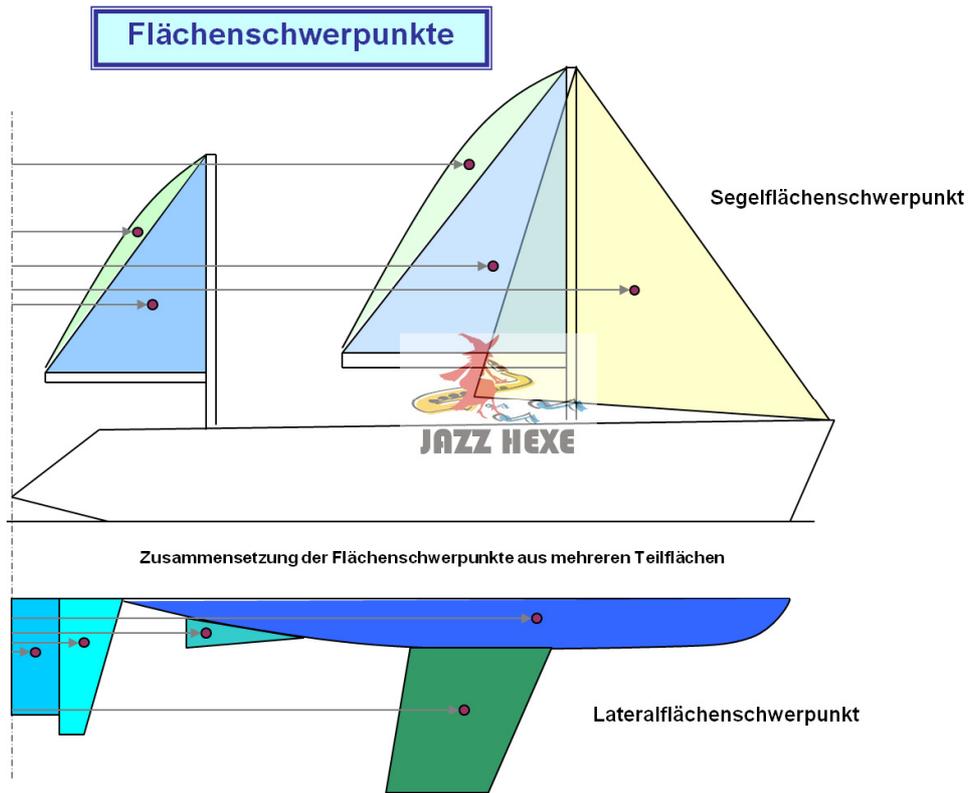
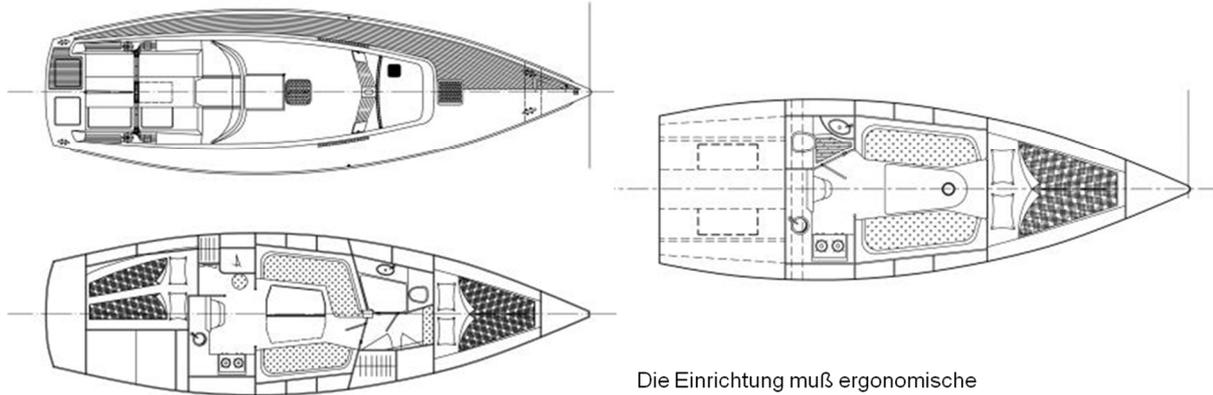


Abbildung 30: Flächenschwerpunkte

Einrichtung

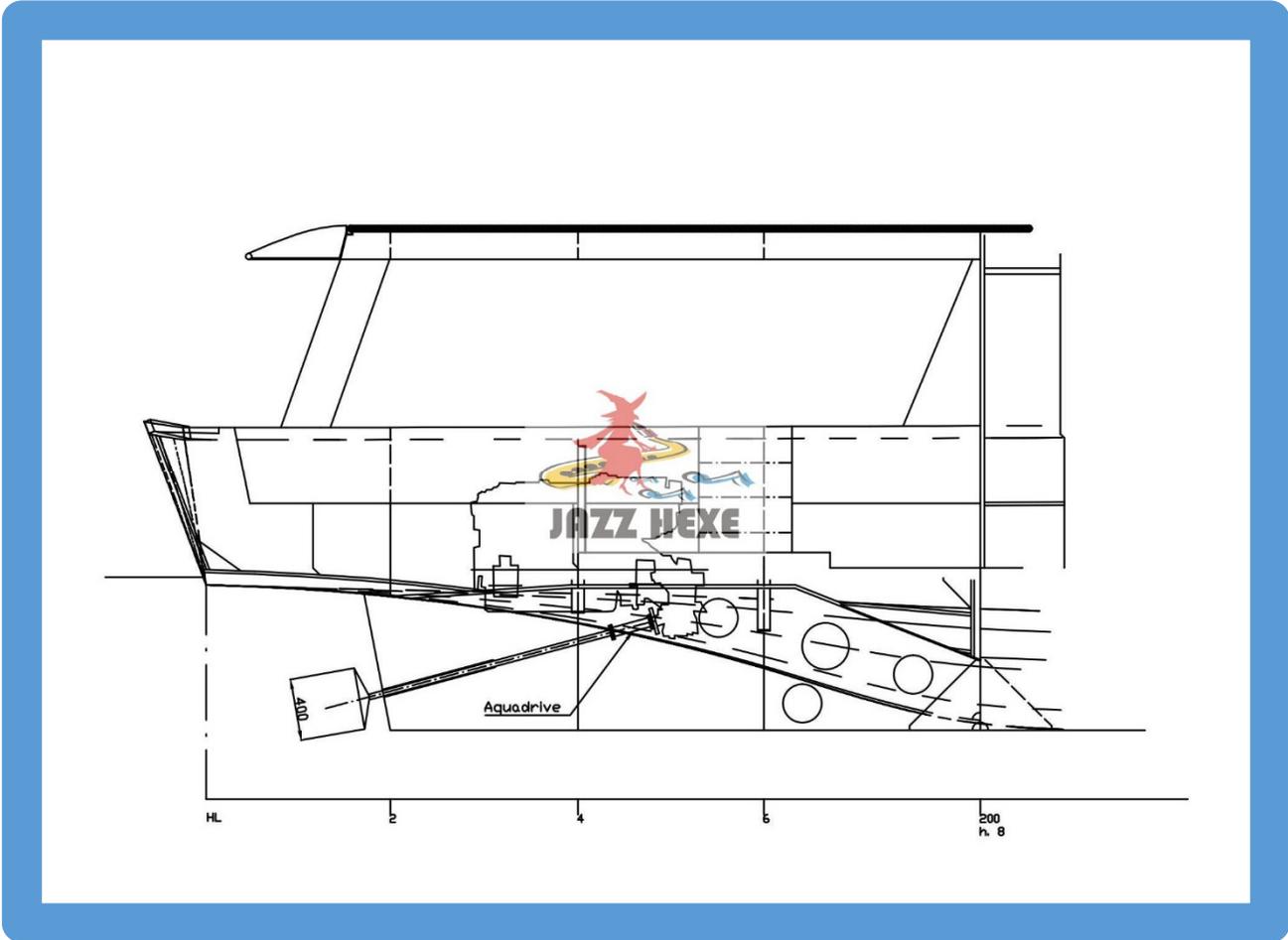
Beispiele



Die Einrichtung muß ergonomische Mindestforderungen erfüllen und hat einen direkten Einfluß auf die Decksgestaltung.

Abbildung 31: Einrichtung

7. Fertigungsmethoden



7.1. Einführung in das Thema

Hallo Natascha, hast du schon mal dabei zugesehen, wenn ein Boot gebaut wurde?

„Nein. So etwas habe ich noch nie gesehen. Was aber jetzt nicht heißen soll, dass ich mir das nicht vorstellen kann.“

Und wie stellst du dir den Bau eines Bootes vor?

„Nachdem man sich sehr gründlich damit beschäftigt hat, wie das Boot aussehen soll, d.h. also die grundlegenden Überlegungen, die ja Bestandteil von unseren bisherigen Kapiteln waren, abgeschlossen sind, fängt man einfach damit an.“

Sehr schön gesagt. Damit hast du ja auch Recht. Ich musste nur gerade daran denken, wie ich in meinen Kindertagen den Bootsbau langsam kennengelernt habe. Während der sommerlichen Törns mit dem Schiff meiner Eltern kam man zwangsläufig an etlichen Bootsbaubetrieben vorbei. Meistenteils war in jedem Hafen in irgendeiner Ecke eine Slip Anlage, und an Land stand ein Kutter, an dem herumgewerkelt wurde. Für mich waren solche Ecken ein Objekt der Begierde. Es gab dort immer etwas interessantes, Aufregendes oder neues zu entdecken.

Hinsichtlich des Neubaus von Booten hat sich seit meinen Kindertagen aber so einiges geändert. Die reinen Handwerksbetriebe sterben im Neubaubereich langsam aus. Für sie bleiben meistens die Reparatur- und Instandhaltungsarbeiten. Der Neubau von Booten ist heute in erster Linie eine Serienfertigung geworden. Mit all seinen Vor- und Nachteilen. Sicher ist jedenfalls, dass die Serienfertigung die Boote für eine breitere Masse erschwinglich macht und der Wassersport damit eine Breitensportart geworden ist.

Was glaubst du, aus welchen Materialien werden Boote gebaut?

„Natürlich nur aus den besten. - Scherz beiseite, so unvorbereitet trifft mich diese Frage nicht. Aus dem Teil 4 (Festigkeit) weiß ich noch, dass wir die Materialien in die Gruppen Holz, Metalle und faserverstärkte Kunststoffe eingeteilt haben.“

Das ist richtig. An dieser Stelle könnte man noch Ferrocement als sehr beliebtes Baumaterial für Selbstbauer erwähnen. Ferrocement ist aber fast vollständig vom Markt verschwunden.

Des Weiteren werden auch immer wieder verschiedene Materialsorten kombiniert. Die sogenannten Kompositbauweisen können z.B. aus Stahlspanten und Holzplanken bestehen.

„Je nach Baumaterial fällt die Fertigungsmethode doch sicherlich anders aus?!“

Genauso ist es. Die Wahl des Baumaterials ist schon mal vorbestimmend. Holz- und Metallboote werden meistens über Kopf gebaut ([Abb. 32](#)). Allerdings sind wiederum für das gewählte Baumaterial weitere Variationen der Fertigungsmethoden möglich.

Fangen wir mal mit dem Holz an:

Holz

Holz ist ein traditionelles Bootsbaumaterial, das schon seit einigen Jahrhunderten verwendet wird. Demzufolge haben sich auch die Fertigungsmethoden über die Jahrhunderte geändert.

Dabei hat die Holzart nur einen geringen Einfluss auf die Fertigungsmethode. Sie bestimmt vielmehr die Eigenschaften, d.h. in erster Linie die Lebensdauer des fertigen Bootes.

Die Holzarten Mahagoni, Teak und Eiche sind sicherlich die edelsten, aber auch die teuersten. So wurde für den Bootsbau auch schon mal eine andere Holzart, Kiefer, Lärche, Oregon Pine etc. verwendet.

Insgesamt handelte es sich bei den Holzbooten um handwerkliche Einzelstücke. Nur wenige Werften fertigten aus dem Material größere Stückzahlen. Dazu gehörte in Deutschland ganz sicher Abeking & Rasmussen. In Schweden kam es zu einer ganz beachtlichen Stückzahl von Holzjachten eines Typs bei der Storebro Werft („Adler“ Yachten). Dort ist die außergewöhnliche Serienfertigung von Holzmotoryachten noch bis Mitte der 70er Jahre aufrecht gehalten worden (Abb. 33).

Neben den Massivholzbaumethoden sind in der jüngeren Vergangenheit die Sperrholz- und die Furnierholzbaumethoden als preiswertere Alternativen hinzugekommen.

Allgemein besteht jedes Holzboot aus einem Trägergerüst, dem Spantwerk und der zugehörigen Beplankung.

Metalle

Die Metalle sind erst sehr spät als Bootsbaumaterial entdeckt worden. Der Stahl hielt zunächst im Großschiffbau Einzug, wo er ausreichende Festigkeit für größere Schiffsabmessungen ermöglichte. Die Verwendung als Bootsbaumaterial ging einher mit der Fortentwicklung der Schweißtechnik (Abb. 34). Für kurze Zeit (in den 70er bis Mitte der 80er Jahre), wohl auch dank des Engagements unserer niederländischen Nachbarn, erlebte das Material Stahl für den Serienbootsbau eine recht beachtliche Stellung. Inzwischen ist der Metallwerkstoff aber eher dem Einzelbau vorbehalten.

Bei der Auswahl der Metalle scheiden sich nach wie vor die Geister. Stahl ist hochfest, billig und einfach zu verarbeiten. Allerdings kann Stahl rosten, ist recht schwer und sieht ohne Spachtelmasse etwas beulig aus. Wer Gewicht sparen will, wählt daher das schwieriger zu verarbeitende Aluminium. Wer Korrosion vermeiden möchte, zieht eine beständige Edelstahllegierung vor. Allerdings ist Edelstahl nicht so korrosionsbeständig, wie vielfach angenommen wird.

Welche Materialwahl auch erfolgt, es werden keine grundsätzlich anderen Fertigungsmethoden eingesetzt. Das Metall muss zugeschnitten (Brennschneidtechnik), verformt und zusammengefügt (Schweißtechnik) werden.

Faserverstärkte Kunststoffe

Das jüngste und zurzeit dominierende Bootsbaumaterial sind die faserverstärkten Kunststoffe. Sehr häufig spricht man bei diesem Material von GFK. Die Bezeichnung GFK (Glasfaserverstärkter Kunststoff) wird jedoch der inzwischen vorhandenen Vielfalt des Materials nicht mehr gerecht. Neben Glasfasern können auch Aramid- (Kunst-) oder Kohlefasern (jeweils als gewebte Matte mit unterschiedlichen Webdichten) eingesetzt

werden. Weiterhin werden zur Verbesserung der Biegesteifigkeit Sandwichkerne (Zwischenlagen) aus PVC-Hartschaum oder Balsa-Hirnholz verwendet.

Grundsätzlich werden die Gewebematten zugeschnitten, auf eine vorbereitete Fläche gelegt (kann eine Form sein) und mit Kunstharz verklebt. Das Harz ist übrigens ein weiteres Grundmaterial, daß variiert werden kann. In erster Linie werden Polyesterharze verwendet. Es können aber auch Epoxidharze eingesetzt werden.

Zur Vielfalt des Grundmaterials gesellt sich eine ebenso große Vielfalt bei der Verarbeitung. Grob eingeteilt, unterscheidet man folgende Fertigungsmethoden:

Handauflegeverfahren; das Harz wird gerollt

Handauflegeverfahren; das Harz wird gespritzt

Handauflegeverfahren; mit vorgetränkter Matte (konventionell)

Handauflegeverfahren; mit vorgetränkter Matte (Verklebung durch erwärmen)

Handauflegeverfahren; mit Harz durch Vakuumverfahren

Spritzverfahren; Harz und Faser (klein gehechelt) werden gemeinsam gespritzt

„Wenn ich das jetzt richtig verstanden habe, dann geht es beim Bau eines Kunststoffbootes so ähnlich zu, wie beim Tapezieren.“

Richtig!

7.2. Vertiefung der Grundlagen

„Wie ich sehe, gibt es eine ganze Menge Methoden ein Boot zu bauen. Wie groß ist denn der Einfluss auf die Gestaltung, bzw. wie früh muss denn die Baumethode bei der Konzeption eines Bootes berücksichtigt werden?“

Die handwerkliche Ausführung eines Bootes hat einen sehr großen Einfluss auf die konstruktive Gestaltung. Die Fertigungsmethode muss bereits beim Linienschnitt berücksichtigt werden und setzt sich natürlich in einem besonderen Maße bei den Detailkonstruktionen fort. So sind vernünftige Leim- und Dichtflächen beim Holz, die Schneid- und Schweißtechnik beim Metall, und nicht zu vergessen, der allgegenwärtige Eckenradius bei faserverstärkten Kunststoffen die bestimmenden Kriterien.

„Aha, deswegen sieht ein Kunststoffboot immer so schön rund aus. - Wie kommt es denn nun zu den gängigen Begriffen im Bootsbau - wie z.B. Kielschwein oder Schanddeck?“

Nanu - woher kennst du denn diese Begriffe?

„Ich habe sie mal gehört und, weil sie so außergewöhnlich sind, auch gleich behalten.“

Nun diese Begriffe wurden durch den klassischen Holzbootsbau geprägt (Abb. 35). Man findet diese Bezeichnungen oftmals bei modernen Booten wieder, obwohl sie dort nichts mehr mit der ursprünglichen Bezeichnung gemein haben. Das Bootsbauhandwerk ist nun mal ein sehr altes und damit traditionsbehaftetes Handwerk.

„Wie unterscheidet sich denn nun der traditionelle Bootsbau von unserer heutigen Zeit?“

Auf diese kurze Frage kann es wieder einmal nur eine umfangreiche Antwort geben. Ich schlage vor, daß wir auch hier beim Holz anfangen:

Holz

Holz ist das älteste noch heute angewandte Baumaterial für Boote. Allerdings hat sich, wie schon gesagt, die Verarbeitung des Materials ganz gewaltig verändert (Abb. 36). Das traditionelle Abdichten (Kalfatern) der einzelnen Holzplanken findet nicht mehr statt. Vielmehr wird das Holz, möglichst in mehreren versetzten Schichten, miteinander verleimt.

Um den strakenden Formen eines Bootskörpers gerecht zu werden, wurde das Material bei der klassischen Holzbaumethode vorher sorgfältig ausgesucht und mittels heißem Dampf in die gewünschte Form gebogen. Diese Art der Formgebung ist bei den modernen Baumethoden nicht mehr erforderlich. Für stark gekrümmte Formen werden dünne Holzplanken (bis hin zu Furnierholz), die sich ohne Hilfsmittel in die gewünschte Form biegen lassen, miteinander verleimt.

Der Leim ist damit die Hauptkomponente des modernen Holzbootsbaus geworden. Was sich jedoch nicht geändert hat, ist die Tatsache, dass Holz ein sehr teures, sehr arbeitsintensives und ein sehr schönes Bootsbaumaterial ist.

Metalle

Auch die Metalle als Bootsbaumaterial weisen schon eine etwas länger anhaltende Entwicklung auf (Abb. 37; Abb. 38). So wandelte sich die Verbindungstechnik vom Nieten zum Schweißen. Die Verformung fand anfangs noch durch Muskelkraft statt, indem man z.B. mit dem Hammer eine Stahlplatte bearbeitete, die in einem Sandkasten lag. Heute obliegen die etwas aufwendigeren, dreidimensionalen Verformungen den hydraulischen Pressen.

Insgesamt sind die Metalle ein sehr interessantes (weil klar definiertes) Material, das bereits sehr preiswert zu einem Rumpf führen kann. Die Metallbauweise wird aber sehr schnell sehr arbeitsintensiv, wenn man versucht, ein besonders gutes Finish zu erzielen. Metalle fangen nämlich unter Einwirkung von Hitze an, sich in ein recht lebendiges Material zu verwandeln. Beim Erwärmen (schneiden, schweißen, richten) dehnt sich das Metall zunächst aus, um hinterher mehr zu schrumpfen als es sich vorher ausgedehnt hat. Die unübersehbaren Folgen sind dann Beulen die aufgrund von Schrumpfung entstanden sind.

Faserverstärkte Kunststoffe

Kunststoff ist das Bootsbaumaterial Nr.1. Dieses Material ermöglicht eine große Vielfalt in der konstruktiven Gestaltung (Abb. 39) durch die variantenreiche Kombination von Fasern, Sandwichkernen und Harzen.

Für den Serienbau wird zunächst mit großem Aufwand und viel Know-how der Formenbau betrieben. Die Raffinesse des Formenbaus ist letztendlich mitbestimmend für die Gesamtqualität des fertigen Bootes. Für das komplette Boot werden schließlich immer mehrere Formteile benötigt. Diese Formteile müssen aneinander gefügt werden, so dass Stöße und Verbindungsstellen entstehen. Eine klassische und oft diskutierte Verbindungsstelle ist die Rumpf/Deck-Verbindung (Abb. 40). Hier findet man Verbindungsarten von der Blindniete bis hin zum vollständigen, nachträglich aufgebrachtem Laminat.

Der Einzelbau aus faserverstärktem Kunststoff unterscheidet sich in der Herstellung des Laminats nicht vom Serienbau. Durch die fehlende Negativform verfügt der Einzelbau zunächst nicht über das Finish des Serienbaus. Hier sind zur Erzielung des gleichen Ergebnisses wesentlich mehr Arbeitsstunden durch schleifen, spachteln und lackieren erforderlich.

Das Boot aus dem Material Kunststoff unterscheidet sich von den anderen Bootsbaumaterialien im Wesentlichen dadurch, dass das endgültige Kunststoffprodukt erst bei der Herstellung des gesamten Bootes entsteht. Darin liegt wohl der größte Unterschied zum Holz oder Metall, bei denen das Material als fertiges Halbzeug vorhanden ist und nur noch die Verbindungstechnik beim Bau des Bootes benötigt wird. Dieser Unterschied verdeutlicht auch, dass bei der Herstellung eines Kunststoffbootes mehr Fehlerquellen in den Händen des Bootsbauers liegen.

7.3. Schlussbemerkungen

„Deine Erklärungen zu den Abläufen beim Bau eines Bootes haben mich neugierig gemacht. Wo kann man denn beim Bau eines Bootes einmal zusehen?“

Och - da brauch man gar nicht so weit zu gehen. Auf der Webseite www.jazz-hexe.de gibt es einige Filme dazu. Sieh dir doch mal den Film über die STAACKWERFT an.

Aber ein kleines Beispiel möchte ich zum Schluss noch erwähnen. Als der faserverstärkte Kunststoff als Bootsbaumaterial entdeckt wurde, fing man auch in einer kleinen Holzbootswerft an, sich mit diesem Material zu beschäftigen. Man tat dies sehr gründlich und ließ sich von vielen Seiten beraten. Für Rumpf und Deck baute man dann sehr sorgfältig die Negativformen, in die man gleichzeitig Heißdrähte einlegte. Vor dem Beginn der kleinen Serie bastelte man noch eine Matten-Tränk-Anlage.

„Was ist das denn?“

Das war nichts weiter als eine große Wanne, die mit Harz gefüllt wurde. In diese Wanne legte man die zu verarbeitenden Glasmatten, um sicherzustellen, dass sie vollständig durchtränkt waren. Danach wurden diese Matten durch ein Rollensystem (ähnlich einer

Wäschemangel) gezogen, um das überflüssige Harz abzustreifen. Erst eine so präparierte Matte wurde dann in die Form gebracht. Nach Abschluss der Laminier Arbeiten wurden dann die Heißdrähte eingeschaltet, und das Laminat konnte vollständig durchtrocknen.

„Das hört sich genial an.“

Ja, das war gut durchdacht. Nur leider auch sehr teuer. So wurden von dieser Serie nur ca. 25 Boote gebaut. Unter Kennern stellen diese Boote aber auch heute noch einen sehr hohen Wert da.

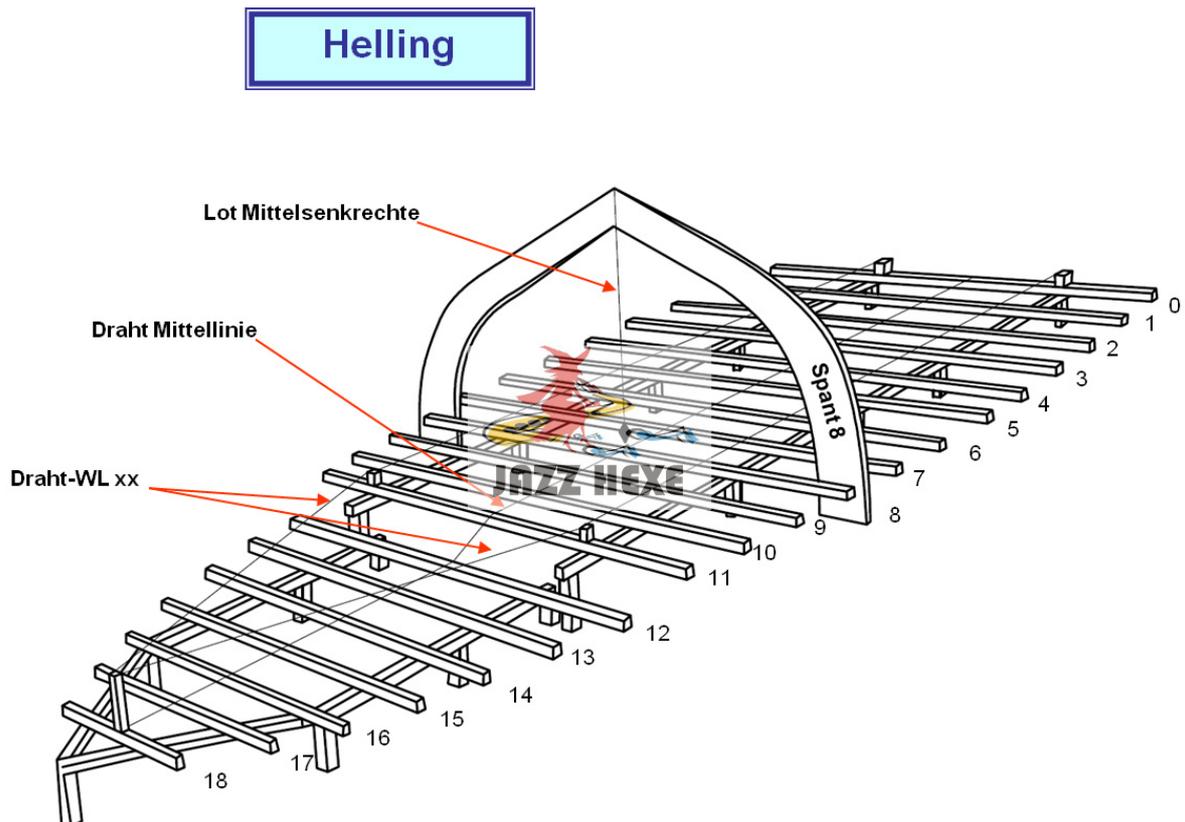


Abbildung 32: Helling

Querspantbauweise (Holz)

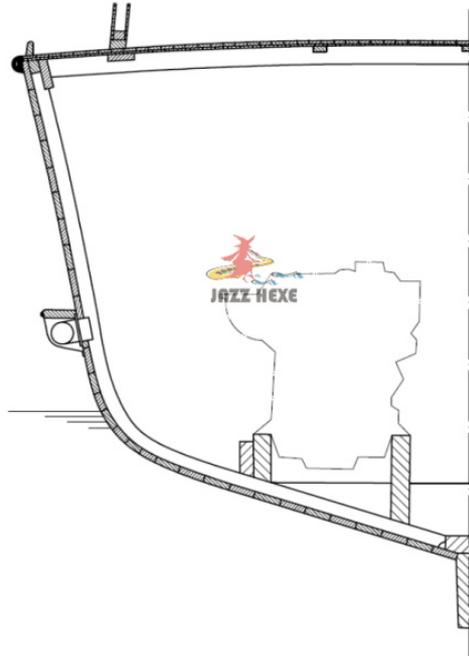


Abbildung 33: Querspantbauweise (Holz)

Spantverbindungen (Metall)

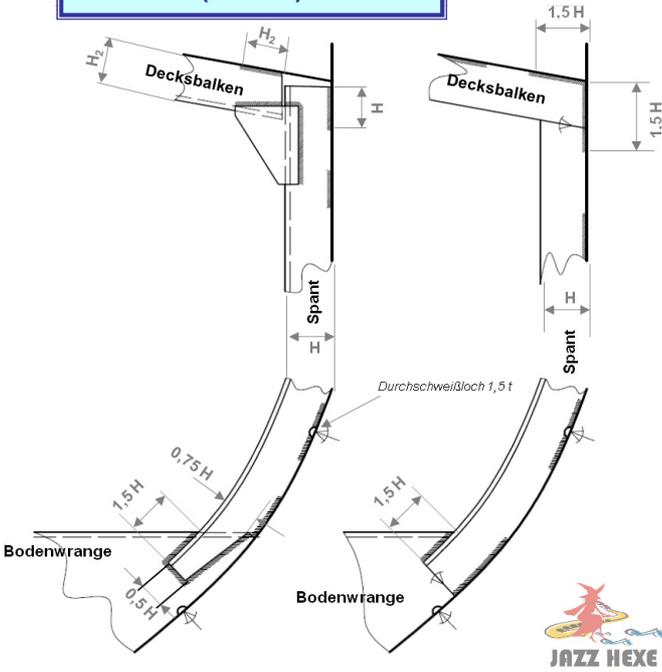


Abbildung 34: Spantverbindung Metall

Bootsbauelemente

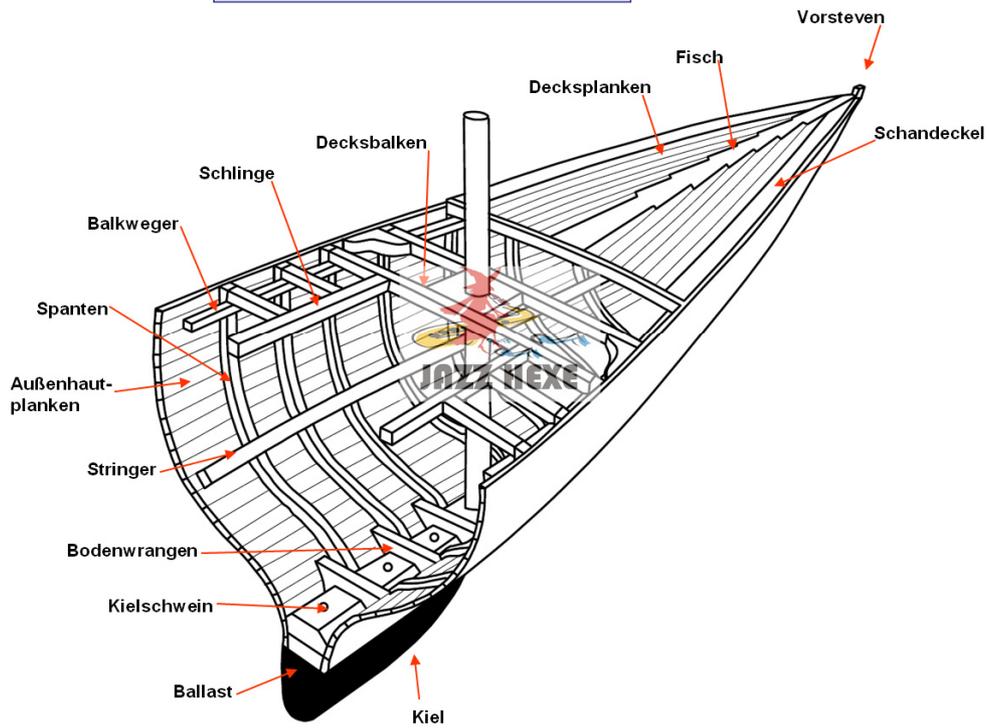


Abbildung 35: Bootsbauelemente

Holzbauweise

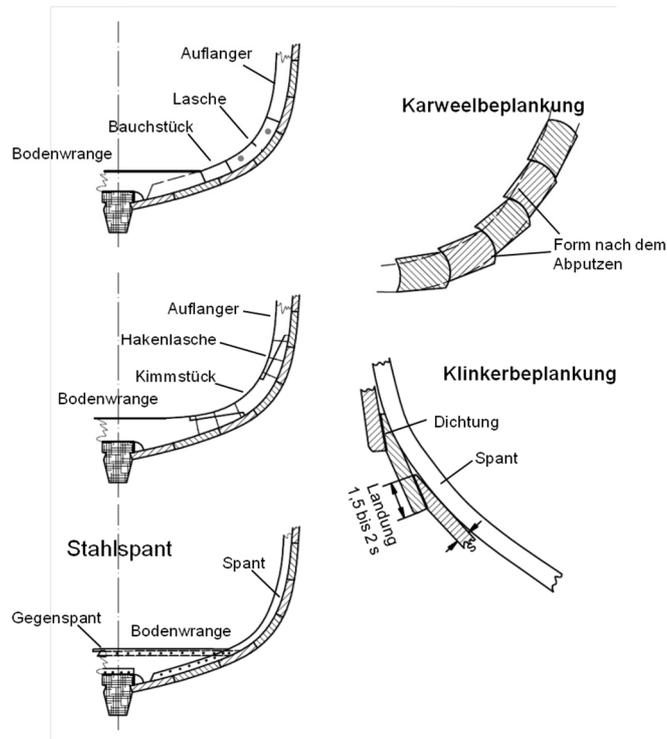


Abbildung 36: Holzbauweise

Schweißnahtverbindungen

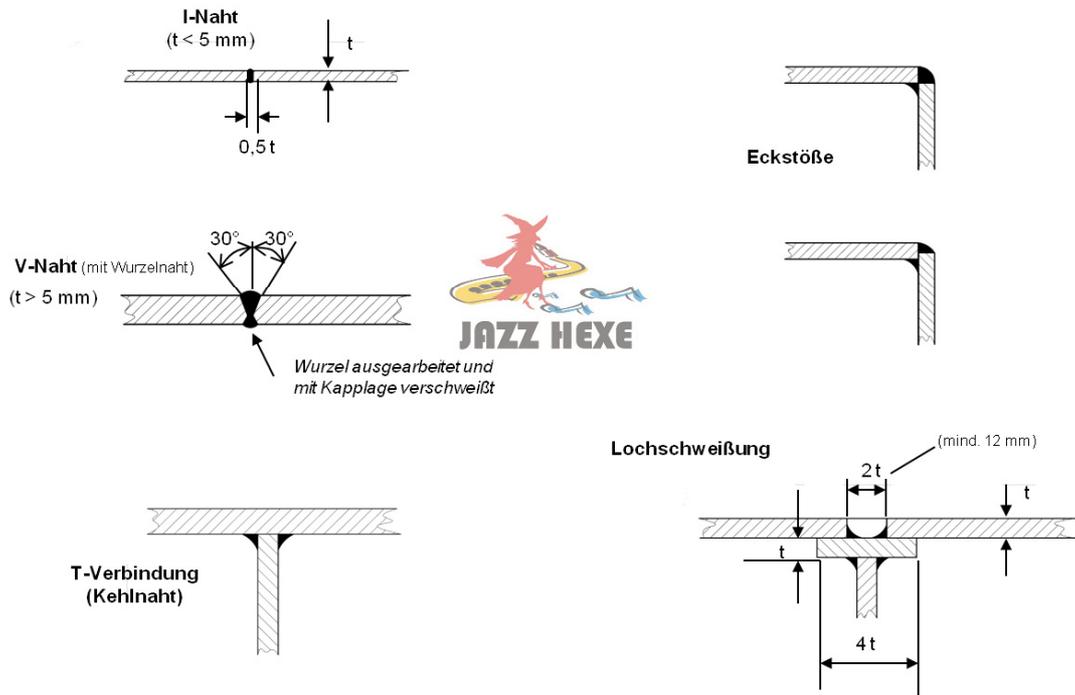


Abbildung 37: Schweißnahtverbindungen

Querspantbauweise (Metall)

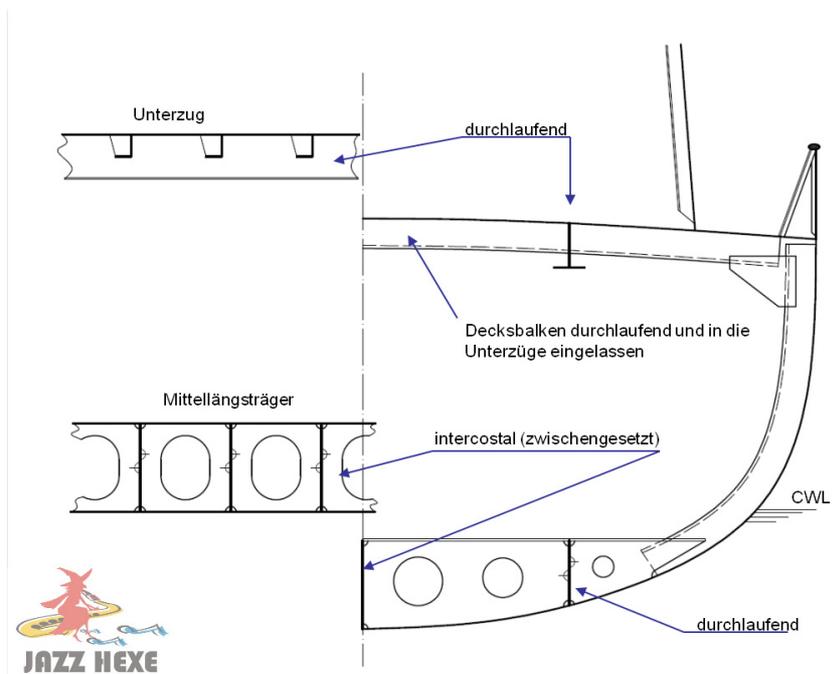


Abbildung 38: Querspantbauweise

Verbindungsstellen beim Kunststoffboot

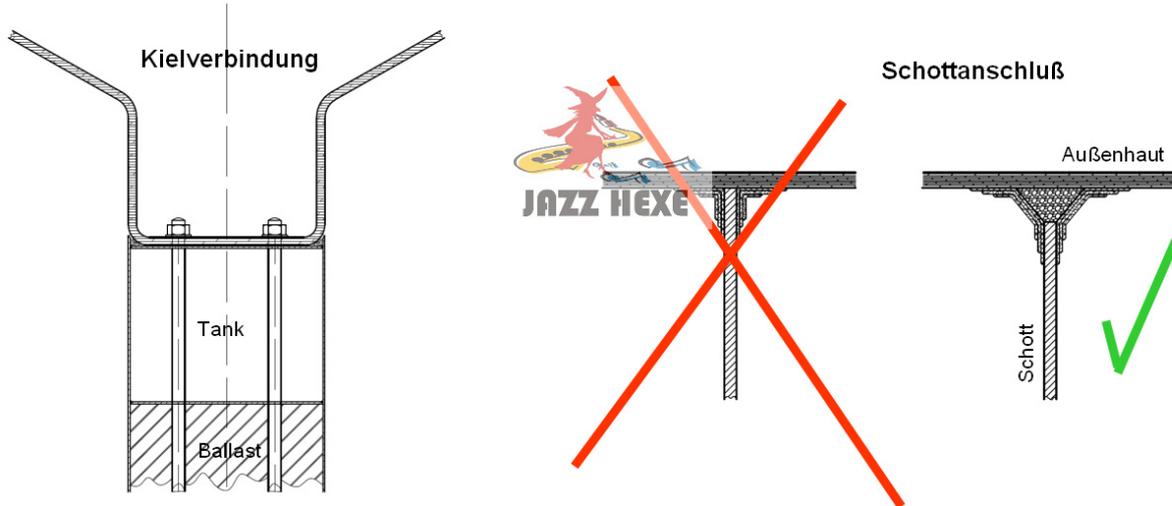


Abbildung 39: Kunststoff Verbindungen

Rumpf-Deck Verbindungen (Kunststoff)

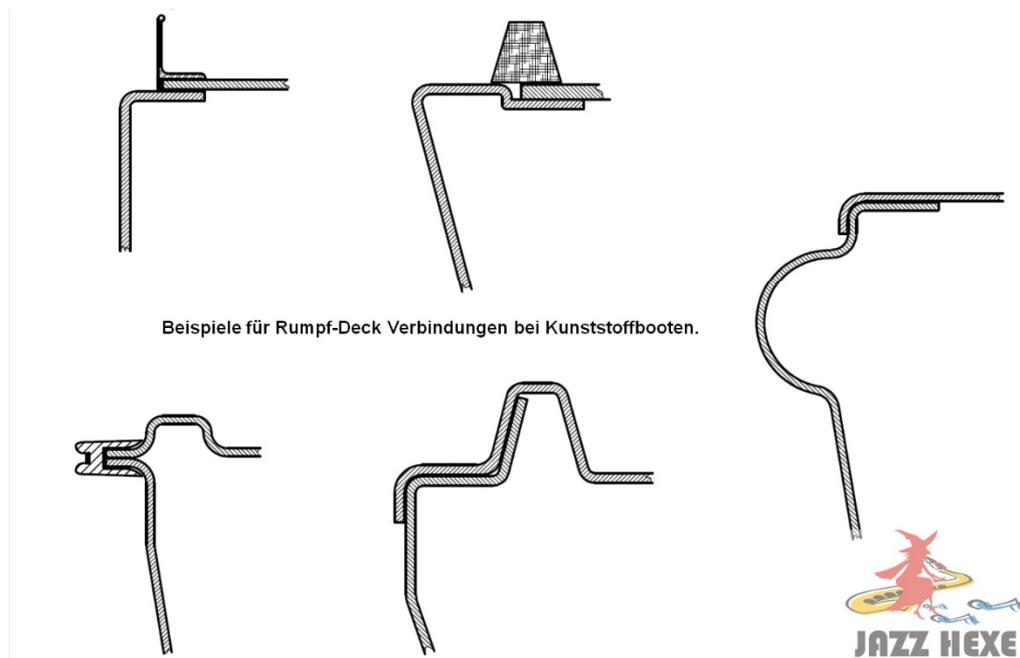
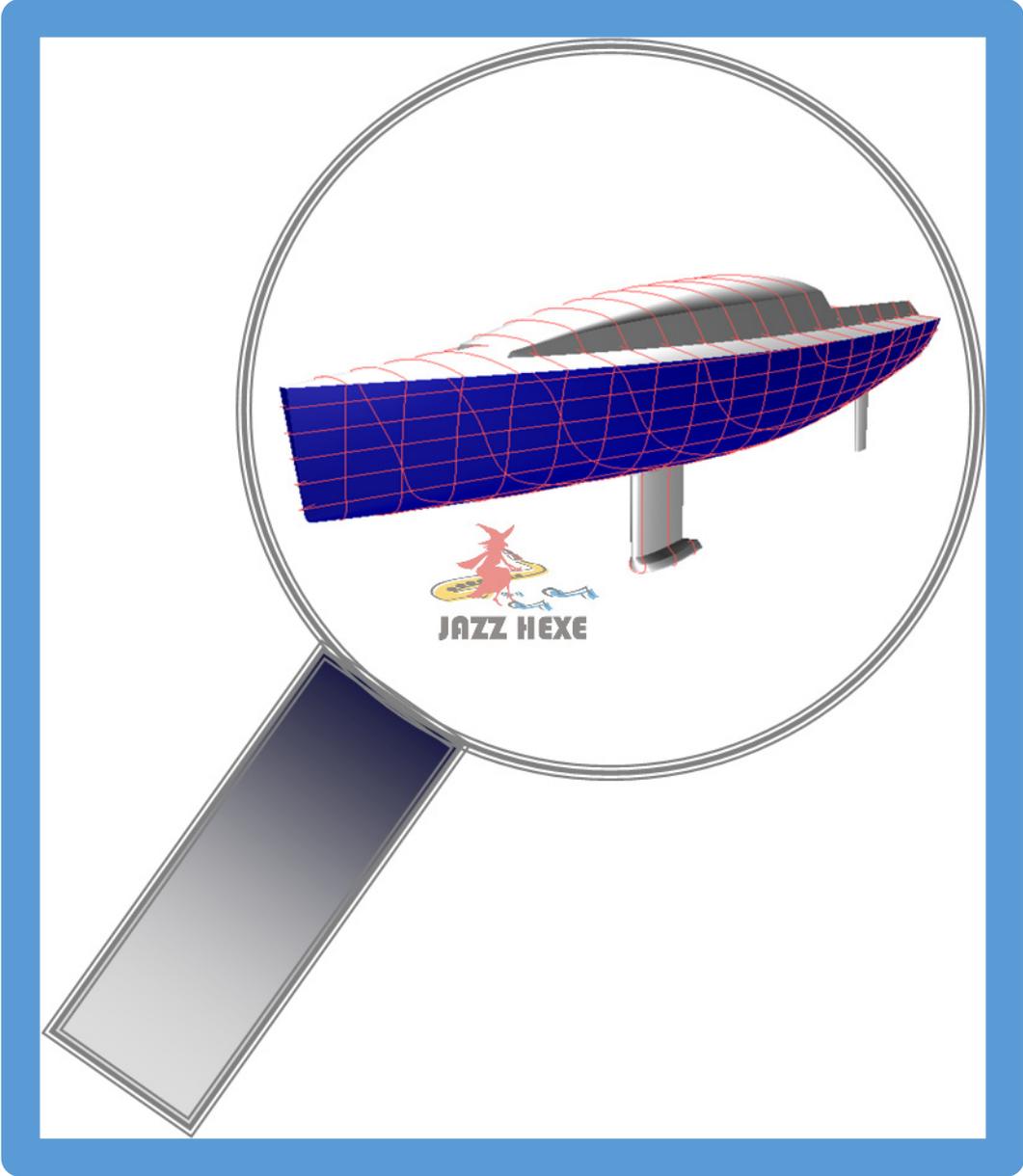


Abbildung 40: Rumpf-Deck Verbindungen

8. Klassifikation



8.1. Einführung in das Thema

Hallo Natascha, wie sehen denn deine ersten praktischen Erfahrungen im Yachtsport aus.

„Naja - etwas nass, kalt und jeden Moment passiert etwas. Ich komme kaum dazu, mich mal faul in die Sonne zu legen. Die Arbeit fängt schon vor dem Auslaufen an. Bis es endlich losgeht, muss das Boot aufgeklart werden. Wenn man auf dem Wasser dann unterwegs ist, ist man ja ganz auf sich allein gestellt. Bei einer Panne kann man nicht mal eben aussteigen und den Pannendienst holen. - Und ein bisschen mulmig ist mir ganz ehrlich gesagt bei schlechtem Wetter, bei stürmischem Wind und starkem Seegang. Dann hoffe ich immer, dass möglichst kein Schaden auftritt.“

Wie versuchst du die Pannen zu vermeiden?

„Indem ich möglichst aufmerksam bin.“

Damit kommen wir langsam zu unserem heutigen Thema.

Es wäre doch gut, wenn diese erhöhte Aufmerksamkeit bereits bei der Konstruktion und dem Bau des Bootes vorhanden ist. - Und noch besser wäre es, wenn das Boot von Zeit zu Zeit aufmerksam überprüft werden würde.

„Das klingt gut. - Aber mit deiner Argumentation bezweckst du doch etwas?“

Ja - also wir hätten dann schnell mit wenigen Worten die Aufgaben einer Klassifikationsgesellschaft umrissen, die in erster Linie darin bestehen, Mindestforderungen für einen gesicherten Betrieb des Bootes aufzustellen und diese zu überwachen.

„Aha, also eine Art TÜV für Boote.“

Ja genau, nur dass die unabhängige Überprüfung bei Booten, mit Ausnahme vom süddeutschen Raum, auf rein freiwilliger Basis stattfindet. In der gewerblichen Schifffahrt sieht das anders aus. Ohne Klassifizierung fährt da kein Schiff zur See. Es liegt aber auch daran, dass in der Vergangenheit ein gewerblich genutztes Schiff ohne Klassifizierung nicht versichert wurde. Heute reichen die internationalen Vorschriften noch weiter.

„Die Versicherungen sind also die Initiatoren für mehr Sicherheit auf dem Wasser?“

Ja, in diesem Fall macht sich der Einfluss der Versicherungen positiv bemerkbar.

Insgesamt wird die Überprüfung von Schiffen seit wesentlich längerer Zeit vorgenommen, als es die Hauptuntersuchung bei Autos gibt.

Der historische Ursprung liegt in einer kleinen englischen Hafenkneipe. Dort wurden erstmalig Frachtsegler mit ihren Ladekapazitäten und üblichen Reiserouten registriert. Die Kaufleute konnten somit leichter den passenden Transporteur für ihre Waren finden. Zwangsläufig ergab sich dann die Frage nach der Sicherheit des Schiffes und dem damit verbundenem Transportrisiko. Der Bedarf nach einer Versicherung der Waren entstand. Gleichzeitig musste eine Klassifizierung und Überprüfung der Frachtsegler erfolgen. Die Geburtsstunde der Klassifikationsgesellschaften war damit gekommen.

Der Aufgabenbereich der Klassifikationsgesellschaften ist seither stetig gewachsen. Neben der Herausgabe von Vorschriften zum Bau von Schiffen (auch Yachten), der Überwachung

während der Bauphase und der regelmäßigen Überprüfung von in Fahrt befindlichen Schiffen, sind weitere technische Dienstleistungen hinzugekommen (Abb. 41). Dazu gehören u.a. technische Dienstleistungen während der Konstruktionsphase (z.B. Festigkeitsanalysen), sowie Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

„Du sprichst von Klassifikationsgesellschaften, also im Plural, gibt es denn mehrere?“

Oh ja. Lloyds Register (das Original aus der Hafenkneipe), Germanischer Lloyd mit det Norske Veritas, Registro Italiano Navale, American Bureau of Shipping um nur einmal die bekanntesten zu nennen.

Die Klassifikationsgesellschaften sind weltweit tätig und konkurrieren miteinander. Sie erkennen sich aber auch gegenseitig an und arbeiten bei der Herausgabe von Vorschriften zum Bau von Schiffen gelegentlich zusammen.

Hinzu kommt, dass sich der ursprüngliche Zuständigkeitsbereich für Seeschiffe längst auch auf Binnenschiffe, Offshore-Anlagen und Sportboote ausgeweitet hat.

8.2. Vertiefung der Grundlagen

„Wie läuft denn nun so eine Klassifizierung ab?“

Es gibt zunächst einmal eine sehr unterschiedliche Anzahl von Klassifikationsstufen und damit verbundene Zusatzforderungen. Der Betreiber des Schiffes sucht die Stufe (Klassifikationszeichen) für sein Schiff heraus die der Nutzung des Schiffes am besten entspricht. Damit ist dann der Vorschriftenkatalog für das Schiff festgelegt (Abb. 42, Klassifikationszeichen).

Die weitere Klassifizierung beginnt dann bei der Konstruktion des Schiffes (Ablauf siehe Abb. 43). Die wichtigsten Bauzeichnungen sind zu einer Prüfung der Klassifikationsgesellschaft vorzulegen.

Während der Bauphase werden dann zahlreiche Einzelabnahmen durch einen Besichtiger der Klassifikationsgesellschaften vorgenommen. Es findet dadurch eine lückenlose, unabhängige Überwachung statt.

Hinzu kommen beim gewerblich genutzten Schiff noch Abnahmen durch weitere, in erster Linie staatliche Organisationen wie z.B. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, BG-Verkehr (Früher: See-Berufs-Genossenschaft), Schiffs-Untersuchungs-Kommission, Coast Guard etc.)

„Aha - und warum brauche ich das alles bei einer Yacht nicht?“

Bei einer Yacht ist, solange keine bezahlte Crew (hauptberuflich) an Bord ist, die Klassifikation rein freiwillig.

Aber durch die Einführung der CE-Zeichen-Regelung findet nun auch bei Yachten eine Art Klassifikation statt. Es hat jetzt hier nur einen anderen Namen erhalten.

Das CE-Zeichen ist vom Gesetzgeber vorgeschrieben worden. Im Unterschied dazu ist die Klassifikation von Seeschiffen aus dem Markt heraus entstanden.

Für ältere Yachten (älter als 15 Jahre) kann die Klassifikation eine Erleichterung bei der Versicherung bedeuten. Schon heute ist es so, dass zur Festlegung des Versicherungswertes bei älteren Yachten zumindest ein Wertgutachten erstellt werden muss. Eine nachträgliche Klassifikation ist genauso wenig möglich, wie die nachträgliche CE-Zeichen Erteilung.

Die Klassifikation beginnt nun mal bereits mit einigen Nachweisen während der Konstruktions- und Bauphase. Diese Nachweise lassen sich später, wenn das Schiff fertig ist, nur noch schwer erbringen.

8.3. Schlussbemerkungen

Das Thema „Klassifikation von Yachten“ ist sehr formalistisch. Ich hoffe, es war trotzdem nicht zu langweilig für dich?

„Nein - vielen Dank für deine Erklärungen. Der Begriff der Klassifikation ist nun kein Buch mit sieben Siegeln mehr für mich. Es ist mir anhand deiner Ausführungen zu diesem Thema sehr deutlich bewusst geworden, welche ursprünglichen Bedürfnisse die Klassifikationsgesellschaften erfüllen. Die Art deiner Argumentation ist immer sehr einleuchtend. Ich bin glücklich darüber, mit dir bekannt zu sein.“

Nanu - ??? - Vielen Dank.

„Hast du morgen Abend mal Zeit? Ich habe in meiner kleinen Dachwohnung einen defekten Kühlschrank der hinunter zur Straße transportiert"

Übersicht zur Klassifizierung

Klassifikation

Die Klassifikationsgesellschaften stellen technische Standards in der Schifffahrt auf und prüfen diese. Die „Klasse“ wird für fünf Jahre erteilt, wenn die umfassenden Sicherheits- und Qualitätsstandards erfüllt sind. Innerhalb dieser Zeitspanne finden rund 30 verschiedene Besichtigungsverfahren statt. Die Klassifikation bestätigt, dass alle Vorgaben eingehalten werden: die Klasse-Bauvorschriften und Richtlinien, internationale Konventionen, MARPOL und SOLAS und nationale Anforderungen von Flaggen- und Hafenstaaten.

Der Klassifikations-Service der Klassifikationsgesellschaften beinhaltet:

- Durchsicht aller klassenrelevanten Design-Dokumentationen, Berechnungen und Zeichnungen und die Genehmigung des Designs
- Prüfung und Zertifizierung von Materialien und Ausrüstungen
- Überwachung der Schiffbautätigkeiten
- regelmäßige Besichtigung der Fahrenden Flotte

Abbildung 41: Klassifikation

Klassifikationszeichen

Wassersportfahrzeuge erhalten kennzeichnende Angaben als Zusatz zum Klassenzeichen, aus denen der Typ und die vorgesehene Verwendung hervorgehen, wie in den folgenden Beispielen angegeben:

Wassersportfahrzeuge

SAILING YACHT (Segelyacht)
MOTOR SAILER (Motorsegelyacht)
MOTOR YACHT (Motoryacht)
HIGH SPEED MOTOR YACHT (Schnelle Motoryacht)
SPECIAL SAILING YACHT (Spezial-Segelyacht)
SPECIAL MOTOR YACHT (Spezial-Motoryacht)
RACING YACHT (Renn-Segelyacht)

Hinweis: Die Kennzeichnung "Spezial" gilt für Yachten ungewöhnlicher Formgebung/Abmessungen und ggf. mit besonderer technischer Ausrüstung. Bei diesen Yachten behält der GL sich die Anwendbarkeit und Auslegung seiner Vorschriften vor

Kommerziell oder behördlich genutzte Wasserfahrzeuge

Fahrzeuge mit Schiffskörpern aus faserverstärkten Kunststoffen, die entsprechend den Bauvorschriften für Wassersportfahrzeuge bemessen sind, können (z. B.) folgende Typkennzeichnungen als Zusatz zum Klassenzeichen erhalten:

FISHING VESSEL (Fischereifahrzeug)
PATROL BOAT (Patrouillenboot)
WORK BOAT (Arbeitsboot)

Kommerziell genutzte Yachten

TRAINING SAILING/MOTOR YACHT (Ausbildungs-Segel-/Motoryacht)
CHARTER SAILING/MOTOR YACHT (Charter-Segel-/Motoryacht)

Das folgende Beispiel zeigt eine Klassenangabe für Schiffskörper und Maschinenanlage:

	Klassenzeichen	Zusatz
Schiff	☒ 100 A5	E1 CONTAINER SHIP
Maschine	☒ MC	E1 AUT

Abbildung 42: Klassifikationszeichen

Ablauf der Klassifizierung

CE-Zertifizierung von Sportbooten

Sportboote und Freizeitschiffe dürfen in der Europäischen Union nur betrieben und verkauft werden, wenn sie CE-zertifiziert sind. Die Klassifikationsgesellschaften führen als akkreditierte Test- und Zertifizierungsstellen Prüfungen durch und vergeben CE-Zeichen. Die Zertifizierung bestätigt, dass ein Boot den geforderten Sicherheitsanforderungen entspricht. Angewandt wird die Sportbootrichtlinie (Directive for Recreational Craft / 94/25/EC) für Boote von 2,5 bis 24 m Rumpflänge. Schiffswerften, Importeure und Privatbesitzer sind gleichermaßen dafür verantwortlich, dass jedes Boot, das sie auf den Markt bringen, den Vorgaben entspricht.

CE-Yacht Plus – besonders sicher

Die Zertifizierung mit „CE-Yacht Plus“ sorgt für mehr Sicherheit an Bord: denn die Vorgaben gehen über die EU-Sportbootdirektive und die ISO-Sicherheitsnormen hinaus. Mit CE-Yacht Plus wird sichergestellt, dass nicht nur die Yacht-Prototypen alle Standards erfüllen, sondern jedes folgende serienmäßig produzierte Boot. Die technischen Sachverständigen überprüfen, ob trotz Anpassungen, die für Serienproduktion nötig sind, die Richtlinien eingehalten werden. Zusätzliche Qualitätskontrollen umfassen Materialprüfungen und Werkstatttests. CE-Yacht-Plus ist eine freiwillige Zusatzqualifikation der Bootswerft die über die gesetzliche CE Zertifizierung hinaus geht.

Ablauf der Klassifizierung

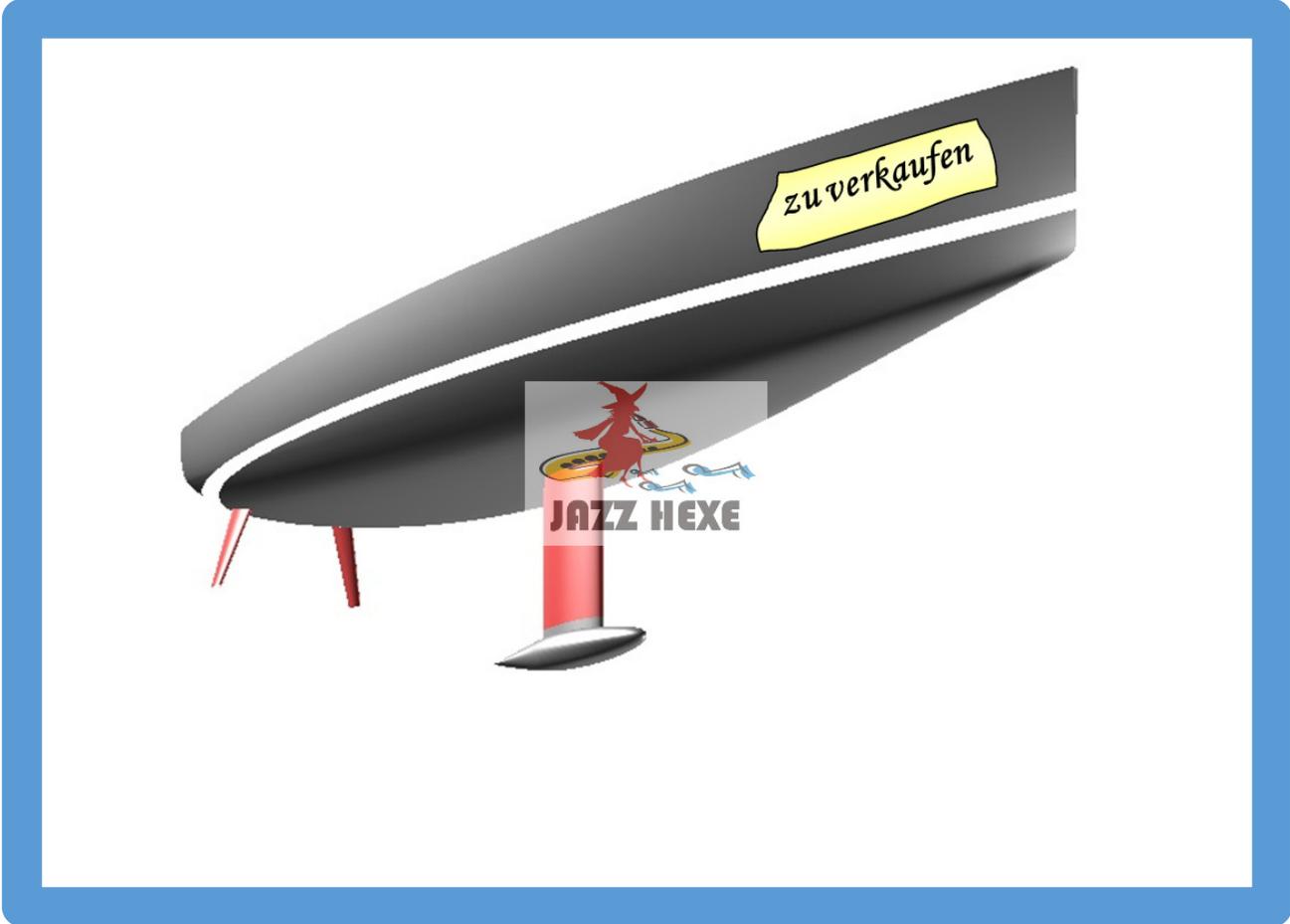
Zeichnungs- und Unterlagenprüfung

Baubegleitung mit:

- Material- und Komponentenprüfung
- Fertigungsüberwachung
- Einzelabnahmen und Funktionsprüfungen
- Endabnahme mit Klassezertifikat

Abbildung 43: Klassifizierung

9. Gebrauchtboote



9.1. Einführung in das Thema

„Deine Erzählungen und meine ersten erfolgreichen Ausflüge auf dem Wasser haben mir Spaß gemacht. In der nächsten Saison würde ich gern mit meinem eigenen, kleinen, schnuckligen Boot auf dem Wasser unterwegs sein. Welches Boot könntest du mir da empfehlen?“

Eine Luftmatratze mit Stechpaddelantrieb.

„Wie bitte !?“

Nein - Scherz beiseite. Deine Frage ist gar nicht so einfach zu beantworten. Wenn das Bedürfnis nach einem ersten eigenen Boot entstanden ist, orientiert man sich üblicherweise zunächst am Gebrauchtmarkt. Ein Gebrauchboot ist doch wesentlich günstiger zu bekommen, und das reicht dann auch für den Anfang. - So denkt man.

„Ist das denn falsch?“

Nein, im Großen und Ganzen stimmt es. Aber ein Gebrauchboot muss auch mit großem, ja eigentlich einem noch viel größeren Sachverstand gekauft werden, als ein Neu Boot. Weiterhin werden beim Gebrauchboot die oftmals höheren Unterhaltskosten bzw. Ausgaben für Reparaturen und Neuanschaffungen unterschätzt.

Neben diesen ersten Klippen der Anschaffungsphase gesellt sich noch eine viel größere hinzu. Welcher Boots Typ bzw. welche Bootsgröße ist richtig????

Bei diesem Kriterium fließt neben den rein sachbezogenen Entscheidungsmerkmalen die jeweils individuelle Philosophie des zukünftigen Yachtheigners mit ein.

„Aha, ein Bootskauf ist eine schwierige Sache.“

Nein, vom formalistischen Ablauf her ist ein Boot schnell und einfach gekauft. Stellt sich aber heraus, dass es ein Fehler war, ist es sehr schwierig, den Fehler zu korrigieren.

„Wenn das so ist, dann laß ich doch lieber die Finger von einem Gebrauchboot.“

Oh nein, so schnell solltest du nicht resignieren. Beim Gebrauchboot ist zunächst einmal der Kapitaleinsatz geringer. Zudem ist ein Gebrauchboot in der Regel vollständig ausgerüstet, was noch mal ganz erheblich den Geldaufwand reduzieren kann und dem Anfänger viel Nachdenken über die erforderliche Ausrüstung erspart. Wenn du dann als Anfänger feststellst, dass du etwas falsch gemacht hast, dann hat dich das zunächst einmal weniger Geld gekostet.

Ein weiterer Aspekt ist, dass ein eigenes Boot in der Regel einen großen zusätzlichen Loch in der Haushaltskasse bedeutet. Fängt man also klein an, so kann man sich auch langsam an das neue, zusätzliche Loch im Portemonnaie gewöhnen. Wenn dann die Fähigkeiten des Neueigners steigen, wird das Boot größer und moderner werden, und der zusätzliche Kapitalaufwand fällt dann auch nicht mehr so schwer.

Grundsätzlich, das wird jeder neue Bootsbesitzer feststellen, ist das Boot, das man gerade fährt zu klein, und die Sehnsucht nach dem nächst größerem Boot wächst.

9.2. Vertiefung der Grundlagen

„Wenn ich mir ein chices Boot ausgesucht habe, wie stelle ich fest, ob der Preis angemessen ist?“

Oh, das ist gar nicht so einfach, wie z.B. bei einem Auto. Ein Boot kann 50 oder 60 Jahre alt sein und trotzdem einen sehr hohen Verkaufswert haben, wenn es liebevoll restauriert und gepflegt wurde. Etwas leichter wird die Einschätzung bei einem Schiff aus einer Großserienproduktion, das 5, 6 oder auch 10 Jahre alt ist. Hier kann man auch recht zuverlässige Werte aus einer Schwacke-Liste entnehmen. Die Bewertung eines Bootes bleibt aber dennoch eine recht individuelle Sache. Aus diesem Grund habe ich 1998 ein eigenes Bewertungsverfahren aufgestellt, das ich den aktuellen Entwicklungen gelegentlich anpasse (zuletzt 2005). Dieses Bewertungsverfahren findest du auch auf dieser Webseite unter der Rubrik Pinnwand.

Anhalts- und Vergleichswerte entnimmt der interessierte Käufer am besten aus den Anzeigen in den Gebrauchbootmärkten der Fachzeitschriften.

Oder halt aus den Listen der Webseite www.jazz-hexe.de (Gebrauchbootbewertung). Hier sind ca. 1000 Bootstypen gelistet.

„Wie beurteile ich denn den Zustand des Bootes?“

Als Beurteilungshilfe gibt es in einigen Veröffentlichungen Checklisten, die man einfach durchgeht. Für den Anfänger ist es aber dennoch recht schwierig, den Zustand möglichst zuverlässig zu beurteilen. Hier kann ein etwas erfahrener Vereinskamarad helfen. Oder, man holt sich zur Unterstützung einen Sachverständigen, der neben einer Beurteilung des Zustandes auch gleich eine Wertermittlung vornimmt. Unter Umständen kann man für ein paar Euro, die der Sachverständige kostet, sehr viel Geld sparen.

„Wie komme ich an Informationen zu dem See- und Fahrverhalten des von mir ausgewählten Bootstyps?“

Da helfen die Test- und Fahrberichte der Fachzeitschriften weiter. Allerdings beschränkt sich die Auswahl dabei auf die gängigen Serienschiffe. Individuelle Einzelbauten oder Schiffe aus kleinen Serien sind dort seltener zu finden. Hinzu kommt, dass man über viele Jahre die Fachzeitschriften bereits gesammelt haben muss, um an die gewünschten Informationen heranzukommen. Eine Beratung durch eine kompetente Stelle (Vereinskamarad oder Sachverständiger) kann auch hier helfen.

„Kann man die Ausrüstung und das Zubehör überhaupt bewerten und übernehmen?“

Aber ja, die Ausrüstung stellt gerade den besonderen Anreiz des Gebrauchbootes da. Der Verkäufer weiß das in der Regel und wird damit bei der Preisfindung handeln. Insgesamt ist es bei Booten genauso wie im übrigen Leben. Die Kleinigkeiten, wie z.B. Anker, Fender, Leinen und Schwimmwesten sind für den Anfänger wichtig. Die Elektronik ist zwar teuer, veraltet aber schnell. Hinzu kommen die erschwerten klimatischen Bedingungen, d.h. der Einfluss von Seewasser, Sonne und hohe Luftfeuchtigkeit, die so manch ein anspruchsvolles Ausrüstungsteil sehr schnell altern lassen. Elektronik ist in dieser Hinsicht besonders störanfällig.

„Das sind schon eine ganze Menge Informationen. Gibt es denn sonst noch etwas zu beachten?“

Sicherlich gibt es noch eine ganze Menge mehr zu beachten. Das setzt aber voraus, dass wir uns jetzt mal gemeinsam ein Boot ansehen. Global betrachtet fällt mir im Moment nichts mehr dazu ein.

9.3. Schlussbemerkungen

„Beim Kauf meines ersten Bootes habe ich also zunächst einmal Ausschau nach dem richtigen Bootstypen zu halten. Wenn dann eine kleine Auswahl von möglichen Booten näher betrachtet wird, muss ich das einzelne Angebot und den zugehörigen Zustand etwas genauer beurteilen.“

Du hast wie immer das Thema sehr schnell erfasst. Bei deinen Bemühungen ein Gebrauchboot zu kaufen, hast du noch die Möglichkeit einen Gutachter zu beauftragen. Der Kauf bei einem Händler oder Makler ist nur dann von Vorteil, wenn damit auch eine technische Überprüfung verbunden ist. Die Gewährung einer Gebrauchbootgarantie entwickelt sich allerdings erst noch.

In der Regel findet der Handel von Privat an Privat statt. Hier muss die Beurteilung selbst vorgenommen werden. Aber dabei, wie schon beschrieben, kann der erfahrene Vereinskamerad oder der unabhängige Gutachter helfen.

Bei einer erfolgreichen Verhandlung wird dann sicherlich ein Kaufvertrag abgeschlossen. Dieser Vertrag sollte gewisse Formalien enthalten. Hierfür gibt es von den Verbänden, Versicherungen und Fachzeitschriften aktuelle Vorlagen.

„Ich habe für das nächste Wochenende einen Besichtigungstermin vereinbart. Hast Du vielleicht Zeit, mich zu begleiten?“

Oh, hast du schon eine Komfortluftmatratze gefunden? Bevor du von mir eine Aussage bekommst musst du erstmal meinen Fragebogen ausfüllen. Wenn du darüber hinaus bereit bist, mir noch ein kleines Honorar zu zahlen - ja dann können wir weitersehen.

10. Bootspflege



10.1. Einführung in das Thema

Also, Natascha - nachdem wir nun gemeinsam ein Boot gekauft haben - wie wirst du denn den Glanz deines neuen Schmuckstückes erhalten?

„Da habe ich keine großen Sorgen. Das wirst du mir sicherlich gleich erzählen.“

Erzählen werde ich gerne - aber arbeiten musst du schon allein.

„Wieso? - Hat es denn etwas mit Arbeit zu tun?“

Oh ja! Sehr viel sogar. Ein Boot muss stets und ständig betreut werden. Ein alter Skipper hat mal gesagt, um ein Boot müsse man sich mehr kümmern, als um eine Frau.

„Aha, nach so einem chauvinistischen Ausspruch bin ich aber doch mal gespannt, was da auf mich zukommt.“

Gut, dann fang ich mal an zu erzählen.

Grundsätzlich besteht das Unterwasserschiff bei Booten, die ständig im Wasser liegen, aus einem Antifouling Anstrich.

Dazu kann man jetzt eine ganze Menge sagen. Denn es gibt sehr unterschiedliche Sorten dieser Anstriche, die sich auch in ihrer Wirkungsweise sehr unterscheiden. Es gilt dabei zwei grundsätzliche Probleme zu bekämpfen. Einmal soll er Schutz gegen Bewuchs (Algen) bieten und zum anderen das Anlagern von Muscheln verhindern. Je nach Revier kann daher auch eine andere Antifoulingsorte eine bessere Wirkung zeigen. Hinzu kommen viele Überlegungen den Bewuchsschutz besonders umweltfreundlich zu gestalten und die Oberflächenreibung am Unterwasserschiff zugunsten einer guten Endgeschwindigkeit des Bootes möglichst gering zu halten. Welche Antifoulingsorte für den heimischen Liegeplatz gut geeignet ist findet man heraus, wenn man sich die Nachbarboote im Winterlager einmal anschaut. Aber Vorsicht beim Wechsel der Antifoulingsorte. Nicht jede Antifoulingart lässt sich mit einer anderen Sorte im nächsten Winter überstreichen.

(Anmerkung: Die meisten Hersteller bieten verschiedene Antifoulingarten an, so dass die Antifouling Auswahl nicht unbedingt Herstellerabhängig gewählt werden muss. Es empfiehlt sich bei einem Produktwechsel aber immer vorher eine Verträglichkeitsprüfung zu machen oder den Farbaufbau komplett zu erneuern.)

Zwei wichtige Grundsätze hätte ich fast noch vergessen.

1. Antifouling ist vom Prinzip her wasserdurchlässig und damit kein Osmoseschutz bei GFK Rümpfen.
2. Kupferhaltige Antifoulings dürfen auf Aluminiumrümpfen nicht verwendet werden.

Ansonsten wird die Art und Weise der Bootspflege natürlich vom Bootsbaumaterial bestimmt. Auch hier können wir das Thema, wie unter Kapitel 4, in die drei großen Gruppen „Holz“, „Kunststoff“ und „Metall“ aufteilen.

Um die entsprechenden Pflegemaßnahmen einleiten zu können, ist es zunächst wichtig, die grundsätzlichen Eigenschaften der Materialien zu kennen. Im Einzelnen verhalten sich die Gruppen wie folgt:

Holz

Holz kann durch zwei gegensätzliche Einflüsse in seinen Eigenschaften beeinträchtigt werden. Ist es zu trocken, dann reißt es. Ist es zu feucht, dann fault es.

Mit diesen einfachen, vollkommen gegensätzlichen Verhaltensweisen ist schon gesagt, worauf beim Holz zu achten ist. Es ist im gleichen Maße gegen Feuchtigkeit und Austrocknen zu schützen.

Kunststoff (GFK)

Bei Kunststoffen können die UV-Strahlen des Sonnenlichtes das Material beeinflussen. Die Gelcoatschicht verkreidet dann. Dieser Einfluss verändert die materialspezifischen Kenndaten jedoch nur wenig. Es ist in erster Linie ein optischer Makel.

Wesentlich gravierender ist der Einfluss auf die materialspezifischen Kenndaten bei der Aufnahme von Feuchtigkeit. Die Feuchtigkeitsaufnahme kann durch ein intaktes GFK-Laminat über die Gelcoatschicht erfolgen. Dieses, im Unterwasserschiffbereich vorkommendes Ereignis führt zur Osmose. Aber auch an Deck, im Bereich von Durchbrüchen und Bohrlöchern, kann es zur Feuchtigkeitsaufnahme kommen. Besonders großer Schaden kann dabei auftreten, wenn der Sandwichkern eines Decks in Mitleidenschaft gezogen wird.

Insgesamt bewirkt die Feuchtigkeit im Laminat eine erhebliche Festigkeitseinbuße des Bauteils.

Metall

Im Zusammenhang mit Stahl dürfte wohl jedem das Problem „Rost“ bekannt sein. Aber auch bei den anderen, im Bootsbaubereich eingesetzten Metallen tritt Korrosion auf. So kann Edelstahl auch rosten und Aluminium fängt an aufzublühen. Voraussetzung dafür ist, dass diese Metalle nicht ihre schützende Oxidationsschicht aufbauen können.

Damit wären die prinzipiellen Unterschiede schon einmal beschrieben. Darüber hinaus gibt es noch zahllose Detailfälle, wie sich jeder leicht vorstellen kann, wenn er mal den Blick über ein Boot schweifen lässt. So sind für Fenster, Beschläge, Ausrüstung, Tanks, Bilgen, Kielaufhängung, Püttinge, Ruderanlagen, Elektrik und Maschinenanlagen spezielle Pflege- und Instandsetzungsarbeiten nötig.

10.2. Vertiefung der Grundlagen

„Deine Ausführungen waren bislang ja ganz nett. Nur habe ich noch nicht verstanden, welcher Arbeitsumfang bei der Bootspflege auf mich zukommt. Könntest du dich da mal etwas präziser ausdrücken?“

Aber selbstverständlich, dein Wunsch ist mir Befehl.

Die Art der Arbeiten können wir analog zum vorherigen Abschnitt wie folgt aufschlüsseln.

Holz

Holz ist also gegen Trockenheit und Fäulnis gleichermaßen zu schützen. Dies wird man in der Regel durch Farb-/Lackanstriche bewerkstelligen. Ausnahmen von dieser Art der Pflege sind bei dem Material Holz schon wieder fast die Regel.

So ist Teakholz, z.B. als Stabdeck verlegt, im Überwasserbereich auch ohne Lackanstrich, entweder durch Ölen, oder sogar ganz ohne Behandlung gut geschützt. Allerdings wird das unbehandelte Holz mit der Zeit auswaschen und muss dann geschliffen werden. Dadurch reduziert sich die Beplankungsstärke und eines Tages steht eine Erneuerung des Decks an. Das Teakholzdeck ist also ein Verschleißbelag.

Da Holz ein fast lebendiges Material ist ([Abb.44](#)), bilden sich in Farb-/Lackschichten immer wieder Risse, durch die Wasser eindringt und was zur Fäulnis führt. Die Anstriche auf dem Holz sind somit ständig, mindestens einmal pro Jahr, zu erneuern. Moderne Furnierholzbauweisen sind in dieser Hinsicht nicht ganz so empfindlich.

Eine Alternative zum Lackanstrich stellt das Ölen dar. Der Vorteil ist, dass es beim geölten Holz nicht zu einem reißen der Schutzschicht kommen kann. Das Ölen ist aber insgesamt gegen Feuchtigkeit nicht so beständig wie ein Farbanstrich.

Ein starkes Austrocknen des Holzes kann entweder durch die kräftige Sonneneinstrahlung in den Sommermonaten erfolgen, oder im Winterlager, wenn das konventionelle Holzboot an Land steht. Gegen die Sonneneinstrahlung schützt am besten ein Sonnensegel. Hinsichtlich der Trockenheit im Winterlager sollen feuchte Woldecken, die im Frühjahr vor dem Zuwasserlassen in die Bilge gelegt wurden, schon Wunder bewirkt haben.

Kunststoff (GFK)

Im Prinzip gibt es hier Parallelen, wenn es darum geht, das Material vor Feuchtigkeit zu schützen. Eine intakte Gelcoat- (Fein-) Schicht sollte bereits einen ausreichenden Schutz gegen die Feuchtigkeitsaufnahme bieten. Trotzdem kann es im Bereich von Durchbrüchen und Verschraubungen zu einer Wasseraufnahme des Laminats kommen. Die Erfahrung hat auch gezeigt, dass nicht alle Harzqualitäten, aus denen die Feinschichten hergestellt werden, ausreichend resistent gegen die Wasseraufnahme sind. Das Laminat nimmt dann nach dem Prinzip der Osmose ([Abb.45](#)) Wasser auf. Als sichtbares Zeichen dafür bilden sich in der Feinschicht wassergefüllte Bläschen.

Der Bootseigner hat die Möglichkeit, mit intakten Farbanstrichen das Laminat vor Osmose zusätzlich zu schützen. Verschraubungen und

Durchbrüche dichtet er am besten mit einer dauerelastischen Dichtmasse ab.

Das Verkreiden der Feinschicht, sowie kleine mechanische Beschädigungen behebt man mit Politur oder, bei hartnäckigen Fällen, mit etwas Schleifpaste. Dabei ist aber zu bedenken, dass Polieren auch immer zu einem geringfügigen Abtrag der Feinschicht führt.

Kunststoff verträgt keine scharfen Reinigungsmittel und darf auf keinen Fall mit Heißdampf gewaschen werden.

Metalle

Beim Material „Stahl“ dürfte jedem, wie schon gesagt, die Korrosionserscheinung „Rost“ bekannt sein. Der Rost tritt gerade in Verbindung mit Seewasser sehr schnell auf, so dass er für Eigner von Stahlbooten schon fast als Schreckgespenst erscheint.

Rost hinterlässt zudem auch auf geschützten Stahlteilen hässliche Spuren. Aber Rost wirkt von seiner Optik her schlimmer, als er ist. Immerhin entsteht aus 1 mm Stahl 7 mm Rost. Bevor der Rost also gravierende Strukturschwächungen bewirkt, überwiegt die optische Auffälligkeit.

Den Rost vermeidet man am besten durch ein geeignetes Anstrichsystem, das auf einer gesandstrahlten Oberfläche aufbaut. Dieser Farbaufbau ist regelmäßig, mindestens einmal im Jahr, auszubessern und zu erneuern.

Aus Angst vor dem Rost beim Stahl, wird im Bootsbaubereich Aluminium oder Edelstahl bevorzugt. Aber auch diese Materialien können korrodieren.

Aluminium in reiner Form würde sich in Seewasser wie eine Brausetablette auflösen. Erst durch den Legierungszusatz Magnesium wird das Aluminium seewasserbeständig. Der Schutz des Aluminiums besteht dann darin, dass sich sehr schnell eine Oxidschicht bildet und damit keine weiteren Reaktionen stattfinden. Wird diese Oxidschicht gestört oder beschädigt, korrodiert das Aluminium weiter, und zwar sehr viel schneller als Stahl. Es ist daher ratsam, Aluminium ebenfalls mit einem Anstrichsystem zu schützen. Aluminiumprofile (z.B. Fensterrahmen) werden üblicherweise durch Eloxieren dauerhaft und optisch ansprechend geschützt. Eloxierete Oberflächen benötigen, neben einer einfachen Reinigung, keine besondere Pflege mehr.

Die rostfreien Edelstähle sind ebenfalls nicht bedingungslos korrosionsbeständig. Der Korrosionsschutz bei diesen Stählen basiert ebenfalls auf einer schützenden Oxidschicht. Nur, dass hier, im Gegensatz zu Aluminium, die Reaktionen sehr langsam ablaufen. Damit sich die Schutzschicht lückenlos ausbilden kann, muss die Oberfläche des Edelstahls vorbehandelt werden. Edelstahl wird zu

diesem Zweck gebeizt, passiviert und am besten noch poliert. Und dennoch tritt Korrosion auf, wenn Verschraubungen vorgenommen werden oder Schellen an der Reling befestigt sind. In solchen Fällen ist für eine Isolationsschicht zu sorgen.

Übrigens, nicht jede Edelstahllegierung ist auch Seewasserbeständig.

Bei Segelyachten werden Befestigungsbolzen für den Kiel oftmals in Edelstahl ausgeführt. Im Laufe von Jahrzehnten korrodieren diese Kielbolzen im Bereich zwischen Kiel und Rumpf ([Abb. 46](#)), da es dort zur Berührung mit dem Seewasser kommt kann ([Abb. 47](#)). In diesem Fall haben sich feuerverzinkte Stahlbolzen als beständiger erwiesen, als Edelstahlbolzen.

Ein weiterer Punkt bei Metallen ist der Lochfraß (elektrolytische Korrosion), der aufgrund von verschiedenen Metallen (Materialpaarungen) zustande kommt ([Abb. 48](#)). Ein Aluminiumrumpf darf z.B. auf keinen Fall mit einem kupferhaltigen Antifouling gestrichen werden. Selbst wenn ein kupferhaltiges Pfennigstück in die ungeschützte, nicht ganz trockene Aluminiumbilge fällt, würde dies nach kurzer Zeit ein Loch in der Außenhaut ergeben. Mit besonderer Aufmerksamkeit sind in dieser Hinsicht die Rohrleitungen, Seeventile und Rumpfdurchbrüche zu betrachten.

Zum Schutz gegen elektrolytische Korrosion werden Opferanoden im Unterwasserschiffsbereich eingesetzt. Üblicherweise sind diese Anoden aus Zink. Bei Aluminiumrümpfen können Anoden aus Magnesium einen besseren Schutz bieten, sind aber nicht zwingend notwendig.

„Da hast du mir wieder einmal eine ganze Menge Grundlagenwissen heruntergebetet. Wie sieht es denn nun mit der praktischen Umsetzung aus? - Wo finde ich denn die richtigen Farben und Pflegemittel?“

Sei mir nicht böse, liebe Natascha. Dieses Grundlagenwissen halte ich schon mal für wichtig. Welchen Anstrichaufbau oder welches Pflegesystem du einsetzt, hängt sehr stark von dem Hersteller der Produkte ab, für den du dich entscheidest. In diesen Punkten erreichen die Entscheidungskriterien oftmals philosophischen Charakter.

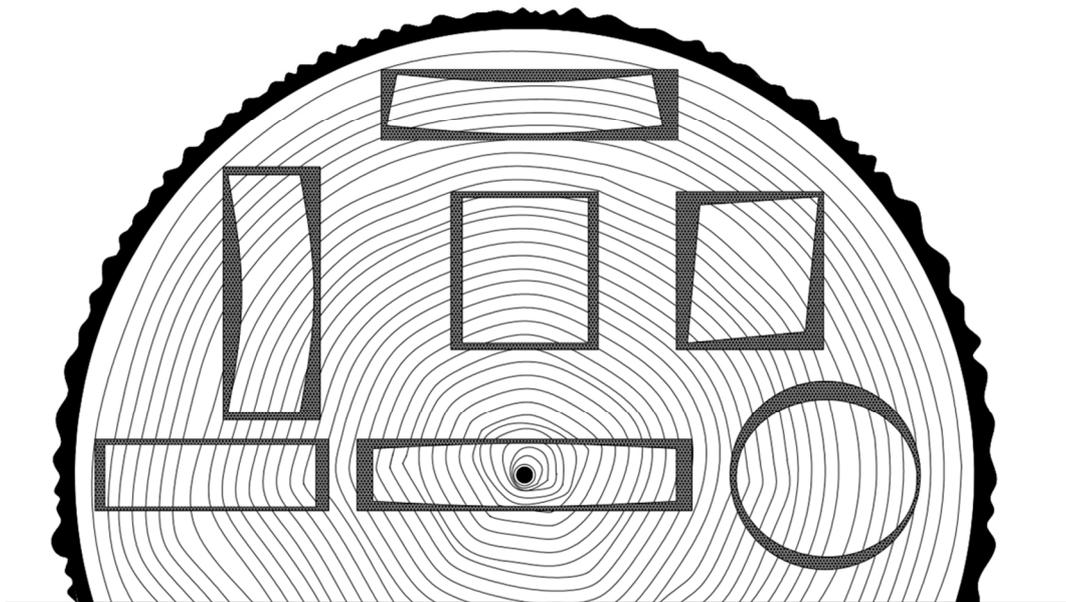
10.3. Schlussbemerkungen

„Ich fasse dann mal deine ausführlichen Erzählungen kurz zusammen. Also - jedes Material benötigt Pflege. Um Holz muss man sich stets und ständig kümmern. Ähnlich sieht es bei Metallen aus. Und bei Kunststoffen ist der Pflegeaufwand noch am geringsten.“

Ja, darin liegt auch einer der Gründe, warum Kunststoff das Bootsbaumaterial Nr. 1 ist. Allerdings sollte man als Besitzer eines Kunststoffbootes auch Kenntnisse von den anderen Materialien haben. So kann das Kunststoffboot mit einem Teakdeck, Holzhandläufe, Edelstahlbeschläge, einem Stahlgußkiel und einem Saildrive aus Aluminium ausgerüstet sein. Dabei sind ganz besonders die Materialpaarungen zu beachten. Ein Aluminiumruderschaft mit einer Bronzelagerung verträgt sich nicht!

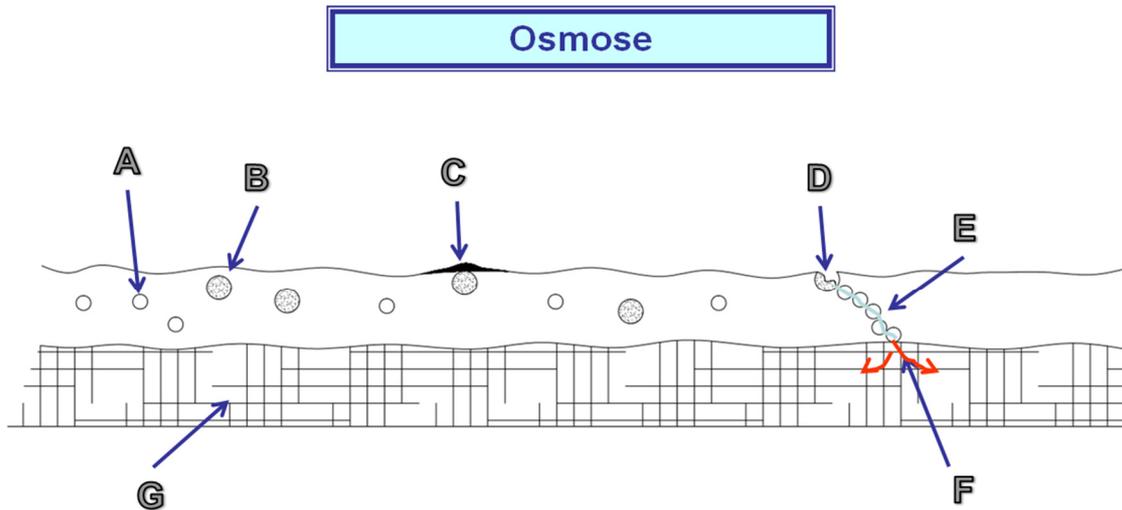
„Deine Schilderungen sind wie immer sehr schlüssig und einleuchtend. Aber ich kann mir die erforderlichen Pflegearbeiten noch nicht so richtig vorstellen. Hast du nächstes Wochenende vielleicht mal etwas Zeit, dann"

Verformung von Holz



Schrumpfung und Verformung des Holzes aus verschiedenen Bereichen des Stammquerschnitts.

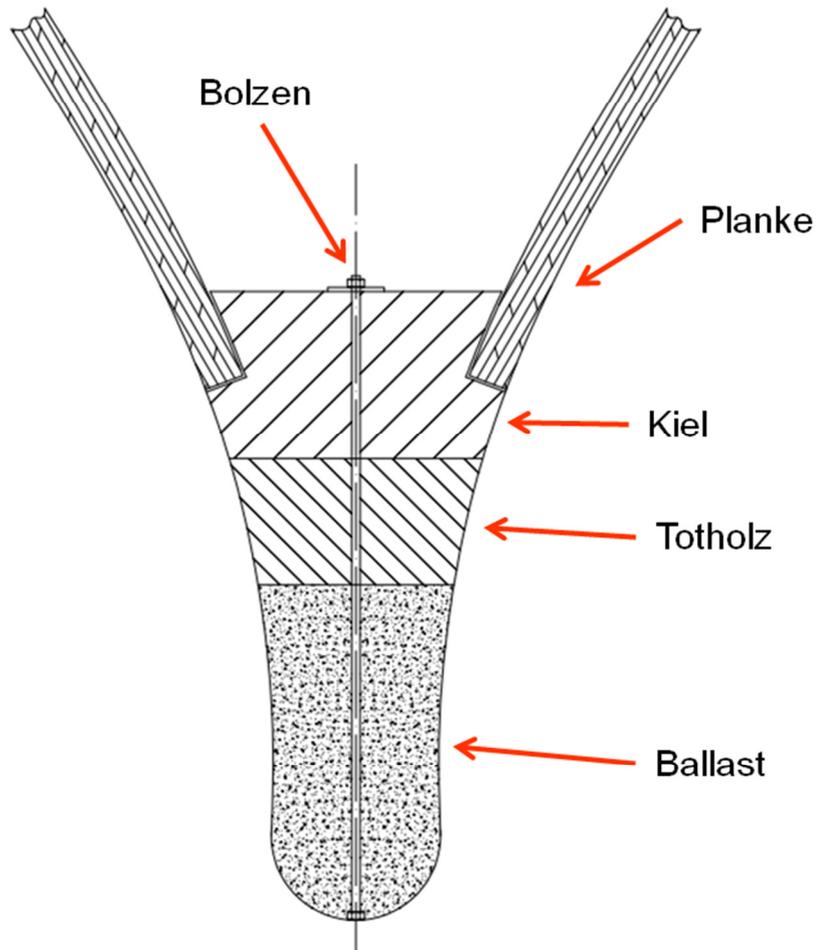
Abbildung 44: Holzmaserung



- A:** Luftblasen oder Einschlüsse im Gelcoat
- B:** Mit Flüssigkeit gefüllte Blase, Druckausgleich vorhanden
- C:** Bei osmotischem Druck wird die Deckschicht nach Außen gedrückt
- D:** Deckschicht bricht auf
- E:** Blasen in der Nähe werden von der neuen Feuchtigkeit angegriffen
- F:** Feuchtigkeit dringt ins Laminat
- G:** Laminat

Abbildung 45: Osmose

Kielbolzen - Anordnung



Anordnung der Kielbolzen am Beispiel eines Holzbootes.

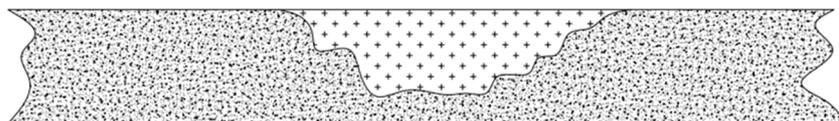
Abbildung 46: Kielbolzen Anordnung

Kielbolzen - Korrosion



Abbildung 47: Kielbolzen Korrosion

Lochfraß



Lochfraß in der Bilge durch einen heruntergefallenen
Schraubenschlüssel.

Abbildung 48: Lochfraß

Quellenverzeichnis

Titel	Autoren	Verlag	Jahr
<i>Yachtbau</i>	<i>Reinke/Lütjen/Muhs</i>	<i>Delius Klasing</i>	<i>1981</i>
<i>Aerodynamik und Hydrodynamik des Segelns</i>	<i>Marchaj</i>	<i>Delius Klasing</i>	<i>1979</i>
<i>Seetüchtigkeit der vergessene Faktor</i>	<i>Marchaj</i>	<i>Delius Klasing</i>	<i>1986</i>
<i>Die Aerodynamik der Segel</i>	<i>Marchaj</i>	<i>Delius Klasing</i>	<i>1997</i>
<i>Moderner Holzbootsbau</i>	<i>Gougeon Brothers</i>	<i>West System</i>	<i>1986</i>
<i>Kunststoffe im Boots- und Schiffbau</i>	<i>div.</i>	<i>VDI Verlag</i>	<i>1988</i>
<i>Boote und Yachten mit CE-Zeichen</i>	<i>F. Hartz</i>	<i>Verlag für Bootswirtschaft</i>	<i>1996</i>
<i>Holzbootsbau</i>	<i>Curt W. Eichler</i>	<i>Heel Verlag</i>	<i>1999</i>
<i>Kunststoffyachten</i>	<i>Hugo du Plessis</i>	<i>Delius Klasing</i>	<i>1996</i>
<i>Vom Riß zum Schiff</i>	<i>Hans-Günter Portmann</i>	<i>Delius Klasing</i>	<i>1995</i>
<i>Handbuch des Wassersports</i>	<i>Artur Tiller</i>	<i>Delius Klasing</i>	<i>1955</i>
<i>Bootsbau</i>	<i>A. Brix</i>	<i>Edition Maritim</i>	<i>1929</i>
<i>Hochleistungssegeln</i>	<i>Frank Bethwaite</i>	<i>Delius Klasing</i>	<i>1995</i>
<i>Das Rigg</i>	<i>Matthew Sheahan</i>	<i>Delius Klasing</i>	<i>1992</i>
<i>Das Segel</i>	<i>Tom Whidden</i>	<i>Delius Klasing</i>	<i>1992</i>
<i>Yacht Design und Konstruktion</i>	<i>Larsson/Eliasson</i>	<i>Delius Klasing</i>	<i>1998</i>
<i>Aluminium Boatbuilding</i>	<i>Ernest H. Sims</i>	<i>Adlard Coles Nautical</i>	<i>1993</i>
<i>Konstruktion und Bau von Yachten</i>	<i>Scharping</i>	<i>Delius Klasing</i>	<i>1987</i>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gleichgewichtsbedingungen	9
Abbildung 2: Hebelarme am krängenden Schiff.....	10
Abbildung 3: Charakteristische Hebelarmkurve.....	10
Abbildung 4: Ausbildung der Grenzschicht	17
Abbildung 5: Ablösung	17
Abbildung 6: Induzierter Widerstand.....	18
Abbildung 7: Wellenbildung	18
Abbildung 8: Querkrafterzeugung.....	19
Abbildung 9: Kräftegleichgewicht am Segelboot	24
Abbildung 10: Segelpolare	25
Abbildung 11: Strömung auf der Leeseite.....	25
Abbildung 12: Zirkulation von Fock und Groß.....	26
Abbildung 13: Polardiagramme.....	26
Abbildung 14: Kräfte an der Schiffsstruktur.....	33
Abbildung 15: Kräfte beim Segeln am Wind	33
Abbildung 16: Knickgefahr	34
Abbildung 17: Einrichtung einer Segelyacht	34
Abbildung 18: Besondere Kielformen	35
Abbildung 19: Spannungs-/Dehnungs-Diagramm.....	35
Abbildung 20: Statisch unbestimmtes System	36
Abbildung 21: FE Modell einer Segelyacht.....	36
Abbildung 22: Schiffsverluste	43
Abbildung 23: Seegangsbewegungen	43
Abbildung 24: Seegangswirkung	44
Abbildung 25: Wellen	45
Abbildung 26: Stabilität im Seegang.....	46
Abbildung 27: Wellenstoß.....	47
Abbildung 28: Entwurfsreihe.....	52
Abbildung 29: Linienriß	52
Abbildung 30: Flächenschwerpunkte	53
Abbildung 31: Einrichtung	53
Abbildung 32: Helling	60
Abbildung 33: Querspantbauweise (Holz).....	61
Abbildung 34: Spantverbindung Metall	61
Abbildung 35: Bootsbauelemente.....	62
Abbildung 36: Holzbauweise	62
Abbildung 37: Schweißnahtverbindungen	63
Abbildung 38: Querspantbauweise	63
Abbildung 39: Kunststoff Verbindungen	64
Abbildung 40: Rumpf-Deck Verbindungen.....	64
Abbildung 41: Klassifikation	69
Abbildung 42: Klassifikationszeichen	70
Abbildung 43: Klassifizierung.....	71
Abbildung 44: Holzmaserung	82

Abbildung 45: Osmose	83
Abbildung 46: Kielbolzen Anordnung.....	84
Abbildung 47: Kielbolzen Korrosion	85
Abbildung 48: Lochfraß	85

Der Autor

Der Wassersport wurde mir durch meine Eltern in die Wiege gelegt. Bereits als Kleinkind war ich auf Booten unterwegs. Später wurden die Boote größer und die Reisen länger.

Meinen ersten Segelschein machte ich 1978. Seitdem habe ich auf eigenem Kiel viele Seemeilen zurückgelegt. Es befanden sich darunter ausgiebige Reisen in den skandinavischen Raum mit vielen unterschiedlichen Häfen.

Mein beruflicher Werdegang war ebenfalls weitestgehend mit dem Wasser verbunden. So begann ich 1979 eine Ausbildung zum Schiffbauer, verbrachte meine Bundeswehrzeit bei der Marine, studierte das Fach Schiffbau und arbeitete seit 1988 bei verschiedenen kleineren und größeren Werften.

Dabei wandelte sich mein persönliches Berufsbild von dem anfänglichen Schwerpunkt in der Konstruktion hin zu Managementaufgaben mit technisch-kaufmännischen Schnittstellen. Sowohl die Konstruktion als auch die Managementtätigkeit erfuhren dabei außergewöhnliche Höhepunkte. Im Bereich der Konstruktion ist es die Erteilung eines Patents für ein Gleitboot mit Ventilationsstufen der ganz besonderen Art. Im Bereich Management wurden von mir hauptverantwortlich viele größere Aufträge erfolgreich abgewickelt.

Die Idee für dieses Buch entstand 1995, als ich einen Beitrag zur Vereinszeitung des Segelverein Schwentinemündung leisten wollte. So war es zunächst eine Fortsetzungsgeschichte die auf zehn Ausgaben der Vereinszeitung verteilt wurden. Später fasste ich es auf der Webseite www.jazz-hexe.de zu einem einheitlichen Schriftstück zusammen.

Mit diesem Buch möchte ich verdeutlichen, dass Boots- und Schiffbau eine große ganzheitliche Aufgabe ist. Antworten auf technische Fragen können oftmals nicht auf ein Teilgebiet beschränkt bleiben, sondern müssen die anderen Teilgebiete mit einbeziehen.

Grund genug also um es für den interessierten Wassersportler einmal in einer etwas lockeren Form aufzuschreiben, damit die trockene Theorie mit ein bisschen Humor versüßt wird.

Ein wenig mehr zu meiner Person gibt es auch unter www.naval-consult.de zu erfahren.

November 2014
Knut-Michael Buchalle