

Zweite Ausgabe, 1. Apr. 2004

Corsaire Pendeltest

Roland Frigo
Technische Kommission National
Schweiz

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	2
Aufhängevorrichtung	2
Vertikaler Schwerpunkt.....	4
Horizontaler Schwerpunkt.....	4
Trägheitsradius	5
Systemprüfung	6
Messvorgang	7
Toleranzbestimmung.....	8
Schlussfolgerungen	10
Danksagung.....	10

Einleitung

Die Zielsetzung, ausgelöst durch neue Konstruktionsverfahren und -materialien, war die Sicherstellung einer einheitlichen Performance aller Corsaire auf dem Wasser. Dies sollte durch die Einführung des Pendeltests zur Überprüfung der Massenverteilung erreicht werden. Durch diesen Test kann das dynamische Verhalten des Bootes beurteilt werden. Viele Detailmessungen werden damit überflüssig. Der Pendeltest ermöglicht die Einhaltung der Klassenvorschrift gemäss Kapitel II.1.1 (Bau / Massenverteilung) zu überprüfen. Auf Empfehlung von Oskar Weber wurde der Pendeltest der Nationalen Einheits-Klasse Lacustre (Ausgabe 1996) für den Corsaire adaptiert. Dieses Dossier protokolliert die Arbeiten und Erkenntnisse aus diesem Projekt.

Aufhängevorrichtung

Die Erste Aufgabe war die Entwicklung einer geeigneten Aufhängevorrichtung. Diese sollte sowohl für Alt- und Neubauten als auch bei Booten mit oder ohne Schiebeluk verwendet werden können.



Abbildung 1

Aufhängevorrichtung 37 kg schwer. Der Aufhängepunkt kann horizontal verschoben werden.



Abbildung 2

Befestigung der Aufhängevorrichtung an den vorderen Kielbolzen.



Abbildung 3

Aufhängevorrichtung eingebaut.



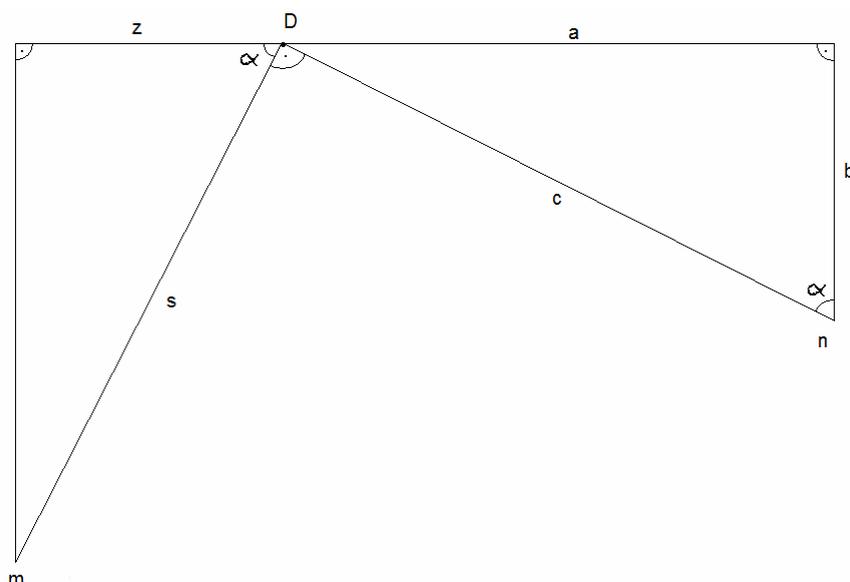
Abbildung 4

Montierte Aufhängevorrichtung mit Stabilisatorseil.

Vertikaler Schwerpunkt

Die zweite Aufgabe bestand darin, die mathematischen Berechnungsformeln zu verstehen. Leider wurden bei den Lacustre die Formeln so vereinfacht, dass die zugrunde liegenden Formeln nicht sofort ersichtlich waren.

Berechnung des vertikalen Schwerpunkts:



- D = Aufhängepunkt (m)
- m = Masse des Boots (kg)
- n = Zusatzgewicht an Spiegelkante (kg)
- c = Distanz Schwerpunktvertikale – Zusatzgewicht an Spiegelkante (m)
- b = Höhendifferenz Spiegelkante ohne und mit Zusatzgewicht (m)
- s = Distanz Schwerpunkt unter Aufhängepunkt (m)

Pythagoras $a = \sqrt{c^2 - b^2}$

Trigonometrie $\cos \alpha = \frac{b}{c}$

Hebelgesetz $z = a \cdot \frac{n}{m}$

Trigonometrie $s = \frac{z}{\cos \alpha}$

Zusammengefasst $s = \frac{\sqrt{c^2 - b^2} \cdot \frac{n}{m} \cdot c}{b}$

Horizontaler Schwerpunkt

Die Position des Schwerpunkts in der Längsachse des Boots ergibt sich durch verschieben der Aufhängeposition bis das Boot waagrecht hängt.

Trägheitsradius

Als Trägheitsradius r eines Körpers bezeichnet man den Abstand von der Drehachse, den seine gesamte Masse bei gleichem Massenträgheitsmoment haben müsste. Folgende Formel stammt aus dem Bereich Dynamik (Kinetik) Kräfte bei Rotation.

- r = Trägheitsradius (m)
 J = Massenträgheitsmoment des Körpers (kg m^2)
 m = Masse des Körpers (kg)

$$\text{M 117} \quad r = \sqrt{\frac{J}{m}}$$

Das Massenträgheitsmoment kann durch Messung von s , m und T experimentell bestimmt und mit folgender Formel berechnet werden. Diese stammt aus dem Bereich Dynamik (Kinetik) physisches Pendel.

- J = Massenträgheitsmoment des Körpers (kg m^2)
 m = Masse des Körpers (kg)
 s = Distanz Schwerpunkt unter Aufhängepunkt (m)
 g = Fallbeschleunigung $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$
 T = Periodendauer des Pendels (s)

$$\text{M 147} \quad J = m \cdot s \cdot \left(\frac{g \cdot T^2}{4 \cdot \pi^2} - s \right)$$

Aus M 117 und M 147 folgt
$$r = \sqrt{s \cdot \left(\frac{g \cdot T^2}{4 \cdot \pi^2} - s \right)}$$

Für die Fallbeschleunigung wird bis auf weiteres fix 9,810 eingesetzt. Die Positionsabhängige Verfälschung ($\frac{1}{2} \text{‰}$) wird als vernachlässigbar betrachtet.

Beispiele effektive Fallbeschleunigung:

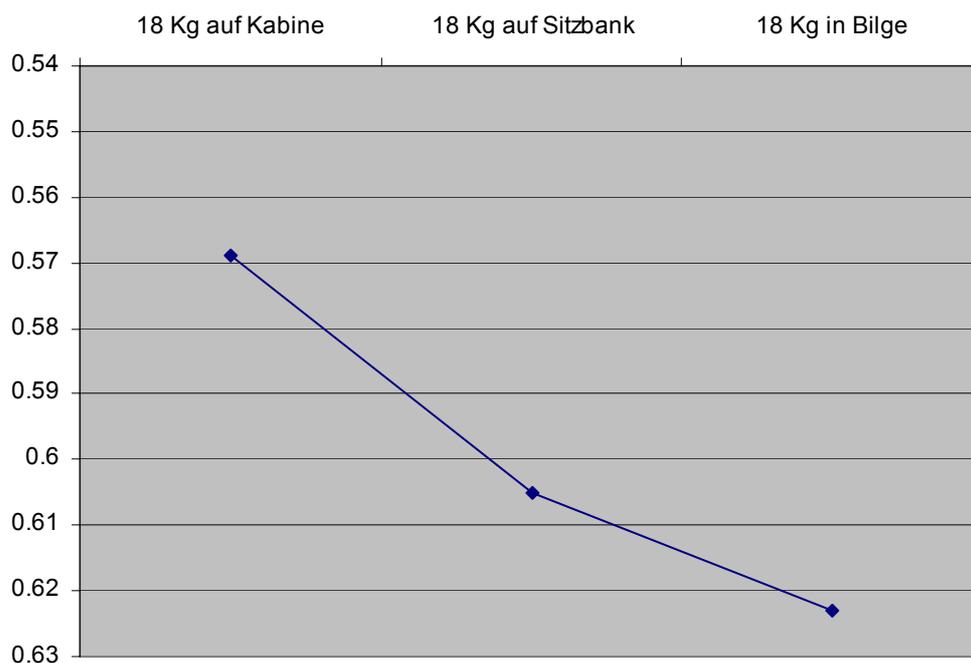
- Zürich: 9,80665
 Luzern: 9,80616
 Genf: 9,80582

Systemprüfung

Von grosser Wichtigkeit ist die Reproduzierbarkeit der Messungen. Mit dem Boot SUI 226 wurden Messungen am 13.8.2003 und am 22.9.2004 gemacht mit nahezu identischem Resultat (Differenz Trägheitsradius 2mm).

Versuche mit Gewichtsverlagerungen haben gezeigt, dass der Pendeltest in der Praxis funktioniert.

Vertikaler Schwerpunkt:



Trägheitsradius mit Zusatzgewichten:

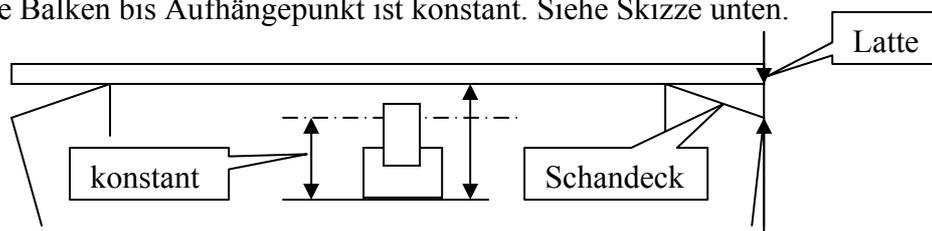


1 Kg Zusatzgewicht verändert den Trägheitsradius um ca. 8 mm

Messvorgang

Alle folgenden Messungen werden in einem windgeschützten Raum durchgeführt. Die Messungen werden gemäss Checkliste Pendeltest ausgeführt und im Ergänzungsblatt Pendeltest protokolliert. Das Vorgehen gemäss Checkliste wird nachfolgend detaillierter beschrieben:

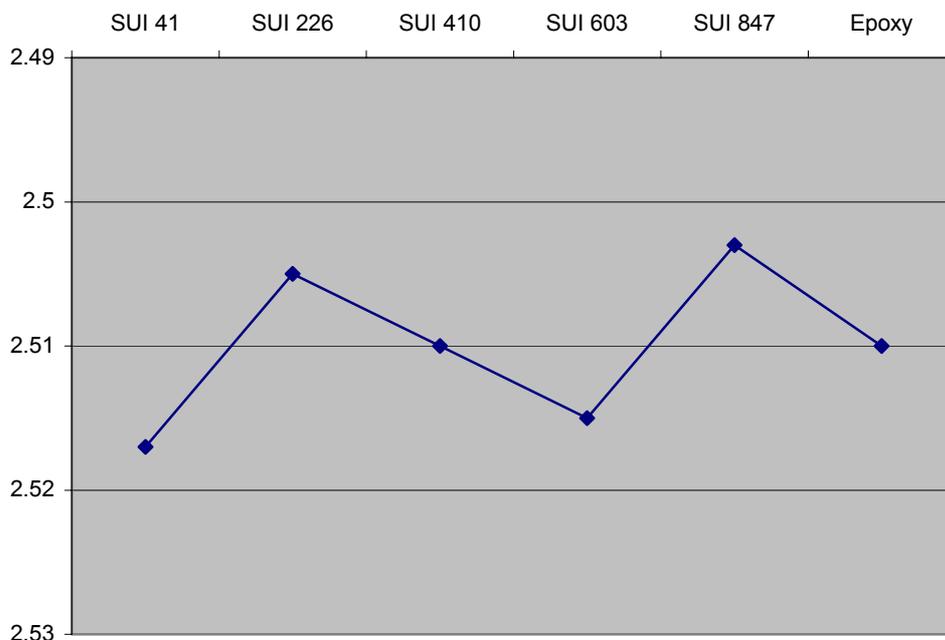
1. Das Boot wird gemäss Klassenvorschrift gewogen. Das heisst ohne Segel, Ausrüstung, Ankergeschirr, Matratzen und Bodenbretter. Es geht darum, fehlendes Gewicht festzustellen um dieses zur Erreichung der Toleranzen im Pendeltest richtig zu positionieren. Hat das Boot sein Minimalgewicht schon erreicht, muss ev. weiteres Gewicht zur Erreichung der Toleranzen eingebaut werden.
2. Nun wird das Boot für den Pendeltest vorbereitet. Mast, Baum, Spinnakerbaum, Ruder, Türe und Steckschott wird zur Seite gelegt und für den Pendeltest nicht benötigt. Wenn vorhanden wird das Schiebeluk geschlossen.
3. Zwei Kielschrauben werden frei gemacht.
4. Die Aufhängevorrichtung wird mit Waage montiert.
5. Das Boot wird gewogen inklusive provisorisch positioniertes Zusatzgewicht. Die Aufhängevorrichtung wird abgerechnet.
6. Die Waage wird entfernt.
7. Das Boot wird in die Waage gebracht durch justieren des Aufhängepunkts. Das heisst, dass die Wasserlinie horizontal liegt. Dies ist der Fall wenn der Bug 85cm höher als die Spiegelunterkante liegt. Das Justieren ist relativ schwer zu realisieren, eine Genauigkeit von +/- 5cm ist genügend.
8. Das Stabilisatorseil wird gespannt.
9. Nun wird die Distanz von der Spiegelunterkante zum Boden gemessen. Die ohne Zusatzgewicht für Mass b.
10. Danach werden 4 Kg Zusatzgewicht am Ruderbeschlag angehängt und die Distanz von der Spiegelkante zum Boden erneut gemessen.
11. Das Zusatzgewicht wird wieder entfernt und der Pendeltest wird 3 Mal durchgeführt. Das Boot wird am Bug 30cm nach unten gedrückt. Die Dauer für 10 Schwingungen wird mit der Stopuhr gemessen. Die Messung beginnt nach einer Schwingung. Die Zählung beginnt mit Null. Mass T.
12. Zum Abschluss wird kontrolliert ob die Aufhängevorrichtung parallel zur Wasserlinie eingebaut ist. Normalerweise ist dies der Fall. Dieser Punkt ist deshalb wichtig weil die vertikale Höhe des Drehpunkts nach Achtern projiziert werden muss. Denn als Referenzpunkt wird das Schandeck beim Vermessungssektor B genommen. Der Sektor B wurde gewählt weil im innern der Kabine kein Referenzpunkt gefunden werden konnte. Die Kontrolle kann mit der Wasserwaage gemacht werden.
13. Nun wird die Distanz des Aufhängepunkts zum Heck gemessen. Mass c
14. Dann wird der Sektor B auf dem Schandeck abgemessen. 1745mm
15. Jetzt kann die Distanz zwischen Aufhängepunkt und Schandeck beim Sektor B gemessen werden. Man misst mit einer geraden Latte die Distanz Latte bis unterkannte Balken der Aufhängevorrichtung und Latte bis Schandeck. Die Distanz unterkannte Balken bis Aufhängepunkt ist konstant. Siehe Skizze unten.



Toleranzbestimmung

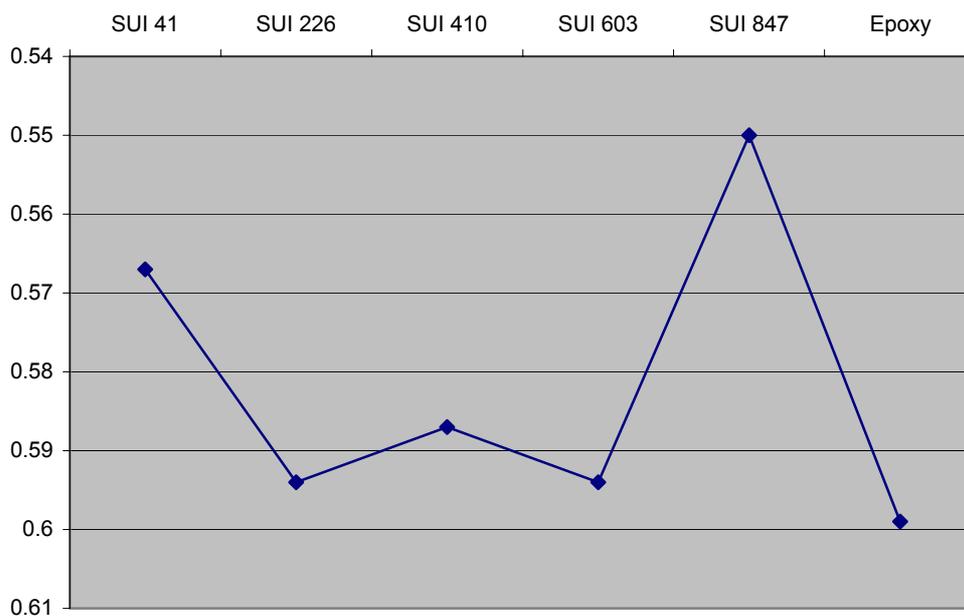
Da uns für die Position des Schwerpunkts und die Grösse des Trägheitsradius keine Konstruktionsdaten vorliegen wurde beschlossen, die Toleranzen durch Messreihen zu ermitteln. Es wurden Holz-Boote aus verschiedenen Baujahren ausgewählt und gemessen.

Horizontaler Schwerpunkt:

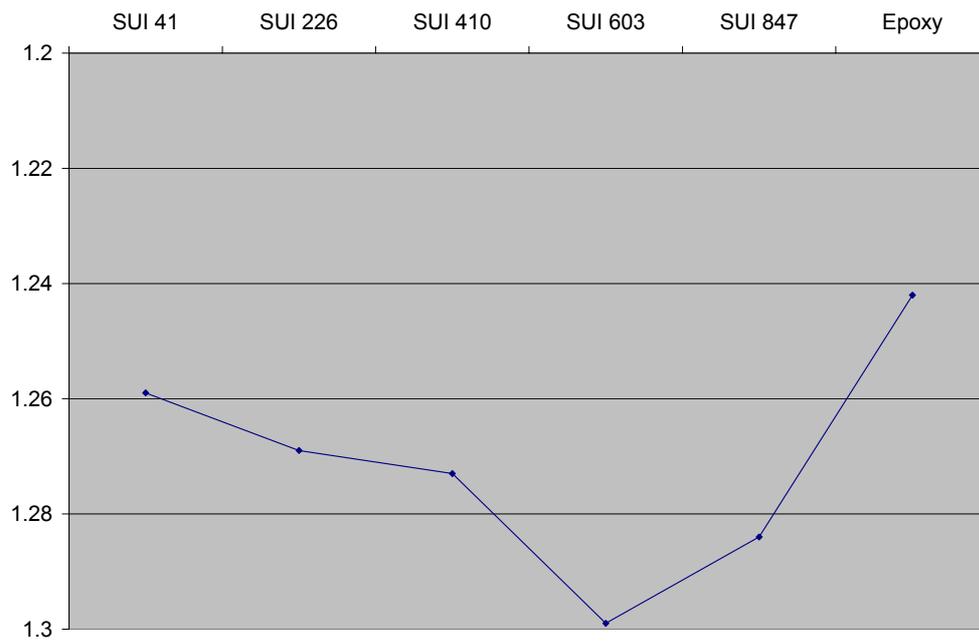


Ohne Kenntnis des Resultats des Epoxy-Corsaire wurde die Toleranzen aufgrund der Bandbreite auf 2.490m bis 2.530m vorgeschlagen.

Vertikaler Schwerpunkt:



Ohne Kenntnis des Resultats des Epoxy-Corsaire wurde die Toleranz aufgrund der Bandbreite auf 0.600m vorgeschlagen.

Trägheitsradius:

Ohne Kenntnis des Resultats des Epoxy-Corsaire wurde die Toleranz aufgrund der Bandbreite auf 1.200m vorgeschlagen.

Schlussfolgerungen

Horizontaler Schwerpunkt:

Der horizontale Schwerpunkt scheint kein Problem darzustellen.

Vertikaler Schwerpunkt:

Die Toleranz des vertikalen Schwerpunkts scheint richtig festgesetzt.

Trägheitsradius:

Nach der Messung des Epoxy-Corsaire kann festgestellt werden, dass die Toleranz für den Trägheitsradius höher angesetzt werden sollte. Dies um zu verhindern, dass die Toleranz weiter ausgenutzt wird und Boote eine noch bessere Gewichtsverteilung erhalten.

Vorschlag: 1.240m

Wenn die Berechnung 8mm / Kg richtig ist, bedeuten folgende Toleranzen:

1.240 m	2.5 Kg bessere Gewichtsverteilung als SUI 41
1.200 m	7.5 Kg bessere Gewichtsverteilung als SUI 41

Anwendung:

Die Anwendung des Pendeltest stellt im geschlossenen Raum kein Problem dar. Die Zeit welche für die Messung benötigt wird ist etwa gleich gross wie die um das Boot zu räumen und vorzubereiten.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Harry Strickler danken. Er hat den Anstoss für dieses Projekt gebracht und es in vielen Bereichen unterstützt. Sei es bei der Herstellung eines Funktionsmodell, Formulierung von Anträgen, Übersetzung von Dokumenten oder bei der Knüpfung von Kontakten. Er hat auch den Kontakt zu Oskar Weber hergestellt. Oski hat durch sein enormes Fachwissen den Weg für unsere Klasse aufgezeigt. Leider konnte Oski das vollendete Werk nicht mehr erleben.

Viele Dank gebührt auch Dieter Fuchs, welcher die Aufhängevorrichtung baute und seine Werfthalle für alle die Tests zur Verfügung stellte.

Roland Frigo

April 2004

Beilage: Ergänzungsblatt Pendeltest