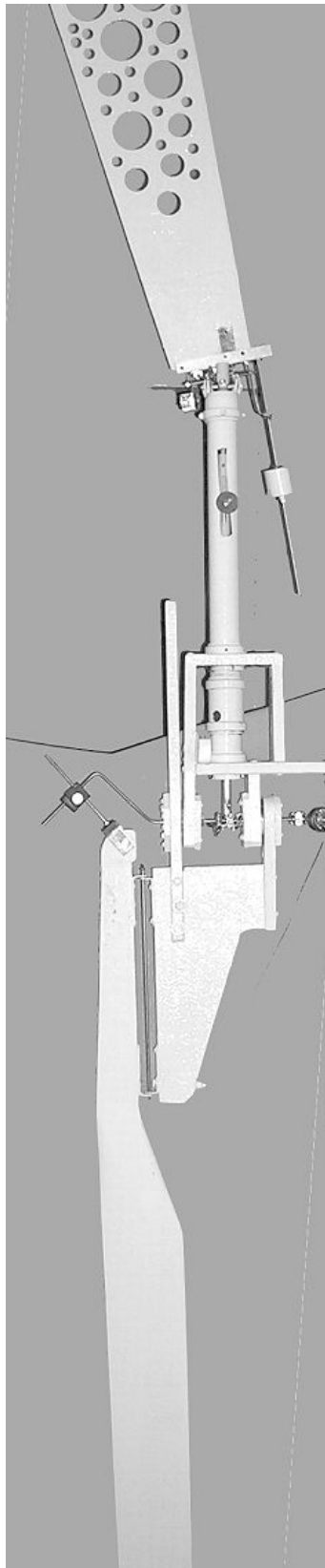




Wind-Autopilot im Eigenbau

Dr. Jörn Heinrich

*Bauanleitung zum preiswerten Bau einer
Windselbststeuerung für Segelyachten nach
dem Servoruder-Prinzip*

Inhaltsverzeichnis

LIZENZ.....	5
Vorwort.....	6
Einführung.....	8
Funktionsweise.....	8
Material.....	9
Hinweise zur Materialauswahl:.....	11
Sperrholz:.....	11
Lagerrollen Servoruder:.....	11
Balancegewichte.....	11
Limitierungen.....	12
Binnerevier.....	12
Ostsee / Nordsee / Mittelmeer.....	12
Hochsee.....	12
Werkzeug.....	14
Elektrisches Werkzeug:	14
Handwerkzeug:	14
Planung.....	15
Vorbemerkungen zur Konstruktion.....	16
Gewichtsbalance.....	16
Untersetzung.....	17
Hebellänge Horizontalhebel, Schubstange	17
Vorbalance Servoruder.....	17
Neigung Windfahnenachse.....	18
Geschwindigkeit optimieren.....	18
Bauanleitung.....	19
Baugruppen.....	20
Halterung am Schiff.....	20
Reihenfolge der Fertigung.....	20
Holzzuschnitte.....	22
Arbeiten mit der Stichsäge.....	22
Sperrholz 20 mm.....	22
Sperrholz 15 mm.....	23
Sperrholz 5 mm Zuschnitt	24
Gehäusesektion und Servoruderträger.....	25
Servoruderträger.....	26
Lagerrollen	27
Lagerrollenträger	27
Lagerringe.....	27
Servohebel und Vorderlagerplatte.....	28
Ausrichtung und Vormontage Servoruderträger.....	28
Gehäusesektion.....	31
Grundplatte G1.....	31
Bohrungen für Servolager und Masthalterungen.....	31
Vormontage Gehäuse.....	31
Endmontage Gehäuse	32
Einpassung Lagerrollen am Servoruderträger	32
Querholz, Streben	33
Befestigung am Spiegel.....	37
Masthalterung	37

Windfahnnensektion.....	40
Windfahne.....	40
Sperrholz bügeln.....	40
Verstärkungen.....	41
Windfahne für schwachen Wind.....	41
GFK-Windfahne.....	41
Windfahnenträger	44
Bügel des Windfahnenträgers biegen.....	44
Achsenbohrungen, Balancegewicht-Halterung.....	45
Windfahnenachse.....	45
Gewinde auf 5 mm Edelstahlstange schneiden.....	46
Nachbearbeitung Windfahnenachse.....	46
Oberer Horizontalhebel.....	47
Bügelneigung.....	48
Fehler vermeiden:.....	48
Mastkopf.....	49
PVC-Mastkopf 10° und 17°	49
Stabilisierungsbügel.....	51
Unterfütterung und Klemmring.....	52
Achsenbohrungen.....	52
Stützstangenbohrungen , Stützstange.....	53
Aufschneiden Mastkopf.....	53
Endbearbeitung, Montage.....	54
Montage Windfahnenträger.....	54
Anpassung Mastkopf.....	54
Anpassung und Montage Windfahne.....	54
Windfahnenadapter Adapter aus Sperrholz	55
Mastkopf mit variabler Neigung.....	57
Schubstange, Mast.....	63
Kardangelenk.....	65
Verstellmuffe, Stellschraube, unteres Schubstangensegment.....	65
Wirbelgelenk.....	66
Fehler vermeiden.....	67
Servoruder.....	68
Anpassung an die Schiffsmaße.....	69
Form.....	69
Profil.....	69
Verstärkungsplatten (an Balancegewicht-Position).....	70
Bau Laminatruder.....	70
Vorbereitungen zum Laminieren :.....	70
Laminieren.....	71
Bau Vollholzruder	71
Profilierung mit dem Winkelschleifer.....	72
Hobeln	72
Schleifen	73
Endbearbeitung Oberfläche	74
Spachteln.....	74
Epoxi-Beschichtung.....	74
Zwischenschliff.....	75
Zweite Epoxibeschichtung.....	75
Zwischenschliff Nass	75
PU-Vorlackierung.....	75
Zwischenschliff, 400Nass.....	76
PU-Endlackierung.....	76

Endschliff.....	76
Ruderscharniere, Servoruderachse.....	76
Balancegewicht-Gewindestange	77
Bohrung für Steuerstange.....	77
Drehschaft, Steuerstange.....	79
Kunststoffteile gießen.....	80
Stopper.....	80
Verbindungsblöcke.....	80
Steuerstange.....	81
Drehschaft.....	82
Unterer Horizontalhebel.....	82
Einstellung der Untersetzung, Montage der Steuerstange.....	85
Varianten und Modifikationen.....	87
Katamaran-Steuerung.....	87
Kursvorgabeglocke.....	89
Mastkopfträger aus Holz / GFK.....	90
Servoverstärkung - eingestellt mit der Windfahnenneigung.....	92
Achterlicher bis raumer Wind.....	93
Spinnaker, Glattwasser, Speed 2,5-3,5kn:.....	93
Spinnaker, alte Dünung bis 0,5 m raumschots, Speed 2,5-3,5kn:.....	93
Spinnaker, alte Dünung über 0,5 m raumschots, Speed 2,5-3,5kn:.....	93
Speed kleiner 2,5kn:.....	93
Halbwindkurs.....	93
Stabile Krängung (geringer Seegang).....	94
Instabile Krängung, Rollbewegung (hoher Seegang).....	94
Amwindkurs.....	94
Geringer Seegang und gleichmäßiger Wind	94
Stärkerer Seegang	94
Bemerkungen zur USD (Upside-Down) Windfahne	95
Maststabilität, Schwerwettertauglichkeit:	95
Übersteuerung durch Krängung:	95
Übersteuerung durch Rollen im Seegang:	95
Neigung zum „in den Wind schießen“ beim Amwindkurs.....	96
Fazit:.....	97

LIZENZ

1. Diese Bauanleitung ist Bestandteil einer ausschließlichen, persönlichen und nicht übertragbaren Lizenz zum Bau einer Windselbststeuerungsanlage nach den enthaltenen Plänen.
2. Sie haben nicht das Recht, diese Lizenz weiter zu veräußern, Kopien von den Plänen zu machen oder die Lizenz dazu zu nutzen, Serienanfertigungen der Windselbststeueranlage herzustellen.
3. Dies gilt auch für auszugsweise Kopie der Anleitung, die ohne vorherige schriftliche Zustimmung des Autors nicht gestattet ist, ebensowenig wie die Veröffentlichung jeglicher Art.
4. Mit der Entrichtung der Lizenzgebühr erkennen Sie die Gültigkeit der oben genannten Bestimmungen an.
5. Salvatorische Klausel

Sollte eine oder mehrere Bestimmungen gegen geltendes Recht verstoßen, so bleiben die anderen Bestimmungen, insbesondere die des Urheberrechts davon unberührt.

Anmerkung

Ich möchte mich bei allen Nutzern dieser Anleitung für die Notwendigkeit der eingeführten Lizenzbestimmungen entschuldigen, aber dies ist die einzige Möglichkeit, wie ich meine in diese Anleitung investierte Arbeitszeit und deren Bezahlung über einen längeren Zeitraum halbwegs absichern kann. Ich bitte dafür um Verständnis.

Vorwort

Diese Anleitung soll allen handwerklich halbwegs begabten Seglern die Möglichkeit geben, unter minimiertem finanziellem und Arbeitsaufwand eine Wind-Selbststeuerungsanlage für ihre Yacht selber zu bauen. Es werden nur Werkzeuge verwendet, die jeder Schiffseigner meistens ohnehin besitzt. Die einzigen Maschinen, die gebraucht werden, sind eine Bohrmaschine und eine elektrische Stichsäge. Eine gute Gehrungssäge für exakte 90°-Schnitte ist von Vorteil, aber nicht unbedingt notwendig. Sie erspart zeitraubendes Nachbearbeiten der Teile.

Die in diesem „Buch“ vorgestellte Anlage basiert auf einem Jahrzehnte lang in zahlreichen von unterschiedlichen Seglern realisierten Varianten eines „Baumusters“ von Walt Murray. Der Ingenieur und Segler hatte die Konstruktion von Windsteuerungsanlagen zu seinem Hobby gemacht und selber etliche verschiedene gebaut und erprobt. Er griff dabei auf ein ganzes Leben Erfahrung im experimentellen Engineering zurück. Die Anlage von Walt Murray wurde für diese Anleitung mehrfach überarbeitet und optimiert.

Detaillierte Arbeitsanweisungen für die einzelnen Bauschritte sowie viele Tips und Tricks zur Materialbearbeitung sollen auch ungeübteren Heimwerkern und nicht-Ingenieuren die Möglichkeit geben, ohne „Gemurkse“ eine reibungsarme, stabile Präzisionsmechanik hinzubekommen, damit der Arbeitsaufwand mit großer Sicherheit ein gutes Erbebnis liefert. Ich beschreibe dabei nicht nur, wie man es „richtig machen“ kann, sondern auch die Fehler, die man vermeiden sollte. Die Bauanleitung ist auf eine Variante beschränkt, jedoch werden im Kapitel „Varianten“ alternative Konstruktionen kurz vorgestellt.

Der Arbeitsaufwand beträgt, auch abhängig von der Ausstattung mit Werkzeugen, um 40 Stunden für einen geübten Handwerker, um 100 Stunden für einen ungeübten. Der Materialaufwand beträgt – je nach verwendeten Materialien und Bezugsquellen um 50 – 190 Euro.

Auch wenn andere Segler vielleicht lästern werden, dass die fertige Anlage gewisse Gemeinsamkeiten mit einem Vogelhäuschen aufweist – spätestens wenn sogar Spinnakermannöver einhand zur leichten Übung werden, erweist sich die Überlegenheit des Nutzwertes gegenüber dem ungestylten Habitus.

Es ist schon praktisch, wenn man bei Bft 6-7 und 3 m steiler Ostseewelle das Ruder abgeben und getrost anfangen kann, sich einhand etwas zu Essen zu kochen – oder sich um die seekranke Crew zu kümmern. Die selbstdämpfenden Eigenschaften des System aus Servo-Windsteuerungsanlage und Ruder sind auf allen Kursen so hervorragend, dass nur ein aufmerksamer Steuermann das Boot genauso ruhig halten kann. Außerdem ist die Anlage nach Fertigstellung offen für jedwede Modifikation – beispielsweise kann man den Kunststoffmast später auch durch ein Aluminiumrohr ersetzen, das Servoruder nach achtern hochklappbar gestalten, etc...

Zugegeben: Solch eine Referenz wie die Aries-Anlage sie durch Erdmanns „Allein gegen den Wind“ erfahren hat, kann der Sperrholz-Eigenbau nicht vorweisen. Dafür muss man dann aber auch nicht ein paar tausend Euro auf den Tisch legen. Auch bei kommerziellen Anlagen gibt es Stabilitätsprobleme, wie so mancher Beitrag in einschlägigen Internet-Foren belegt. Der unbestreitbare Vorteil des Eigenbaus ist: Bei Bruch ist beinahe jedes Teil der Anlage in kürzester Zeit mit Bordmitteln nachzufertigen – mit Material aus dem nächsten Baumarkt. Dies können kommerzielle Anlagen nicht bieten.

Wer Hilfe zum Bau seiner Anlage benötigt, oder Rat vor einer Modifikation einholen möchte:

E-mail: sailnews@joern-heinrich.de.

Ich plane die Bereitstellung eines preiswerten kompletten Bausatzes mit maschinengefertigten Bauteilen geringer Fertigungstoleranz.

Neuigkeiten bezüglich des Eigenbau-Windautopiloten sowie Erfahrungsberichte werden regelmäßig auf folgenden Internetseiten veröffentlicht:

www.windautopilot.de

www.windsteuerung.de

Gerne stelle ich auf Wunsch dort auch die Fotos oder Hinweise ordnungsgemäß zitiert ins Internet, die ich von anderen Selbstbauern erhalte.

Haftungsausschluß:

Ich kann keine Funktionsgarantie für eine nach dieser Anleitung gebaute Anlage geben, da sowohl die Auswahl der Werkzeuge und Materialien, als auch die Teilefertigung außerhalb meines Einflusses liegen. Jegliche Haftung für mittelbare oder unmittelbare Schäden, die infolge der Verwendung oder Nichtverwendung von Informationen dieses Buches entstehen, lehne ich daher ab. Niemand ist fehlerfrei: Trotz sorgfältiger Prüfung aller Informationen und Maße können sich Fehler eingeschlichen haben, für die ich ebenfalls keine Haftung übernehmen kann. Die Bauanleitung entspricht nicht den gängigen Bootsbau-Normen.

EMPFEHLUNG:

Bitte überfliegen Sie diese Anleitung zunächst komplett, bevor Sie anfangen zu bauen, damit Sie wissen, welche Informationen Sie wo finden.

Einführung

Funktionsweise

Gemeinsam ist beinahe allen mechanischen Windsteuerungsanlagen, dass eine Windfahne eine Abweichung vom Kurs zum Wind als Kraft auf eine kurskorrigierende Ruderanlage überträgt. Man unterscheidet hierbei zwischen sogenannten Servo-Anlagen (kommerziell: Windpilot, Aries, Monitor) und solchen, die das Schiff über ein Hilfsruder steuern (kommerziell: Hydrovane, Windpilot Pacific Plus). Es gibt auch Kombinationen aus beiden. Bei der auch in diesem Buch vorgestellten Servo-Anlage liefert die Schiffsgeschwindigkeit die Kraft, über ein sehr kleines Ruderblatt das Hauptruder zu bewegen.

Dazu wird eine Windfahne beinahe senkrecht (ca 15° Neigungswinkel) auf einem kurzen, drehbar gelagerten Mast aufgestellt. Ein kleiner horizontaler Hebel überträgt die Auslenkung der Windfahne auf eine Schubstange im Inneren des Mastes. Die Schubstange ist an ihrem unteren Ende drehbar über einen weiteren kleinen Hebel mit dem horizontalen Drehschaft verbunden, der das Servoruder auslenkt. Das Servoruder hängt an einem in Schiffsachse drehbar gelagerten Servoruderträger. Wird das Servoruder vom Drehschaft ausgelenkt, so schwingt es am Servoruderträger infolge der Kraft aus der Schiffsgeschwindigkeit nach der Seite, und stellt sich dabei selber wieder gerade. Diese Rückstellung bei Auslenkung des Servoruders ist ein wesentlicher Stabilitätsfaktor gegen Übersteuerungs-neigung.

Der Servoruderträger hat nach oben einen Hebel, an dem die beiden Steuerseile befestigt sind, die über insgesamt vier Blöcke die Ruderpinne oder das Rad bewegen. Einer bestimmten Auslenkung der Windfahne entspricht damit eine (entgegengesetzte) Auslenkung des Servoruderträgers und damit des Hauptruders.

Die Eigenbau-Servoanlage hat gegenüber der Hilfsruder-Anlage viele Vorteile: Man muss nicht eine komplette zweite Ruderanlage einbauen, die Auslegung aller Teile kann weitaus schwächer sein, als für eine Hilfsruderanlage notwendig wäre. Die größte Kraft, die auf die Servo-Anlage im Normalbetrieb einwirkt, ist die Kraft, die notwendig ist, die Pinne oder das Rad zu bewegen. Die Anlage entwickelt mit einem Servoruder von nur 12 x 60 cm benetzter Fläche bereits bei 1-2 kn Fahrt und Bft 2-3 soviel Kraft, dass man kaum in der Lage ist, an der Pinne dagegen zu halten. Die Windfahne hat eine Fläche von nur 0,11 - 0,16 m². Der Geschwindigkeitsverlust durch ein zweites Ruder im Wasser ist durch das schmale, kleinflächige Servoruder minimiert und beträgt um 0.1-0.3 kn.

Material

- Windfahne: wasserfest verleimtes Sperrholz, 5 mm Stärke. Alternative: Epoxi-Glasfaserlaminatbauweise
- Servoruder (Alternativen in der Reihenfolge des Aufwandes):
 - A) vier Schichten von wasserfest verleimtem 5 mm – Sperrholz mit je einer Schicht Glasfaser-Epoxi- Laminat dazwischen,
 - B) Sperrholzplatte (wasserfest verleimt), 20 mm Stärke
 - C) Balsaholz-Kern mit einer mittigen Glasfaser- Epoxischicht, ummantelt mit 3-4 Lagen Glasgewebe-Epoxidharzlaminat. (Nicht in dieser Anleitung enthalten)
- Gehäusesektion: 15 mm, (20 mm Sperrholz), wasserfest verleimt
- Lagergegenplatten: 5 mm Sperrholz, wasserfest verleimt
- Lagerrollenträger: zwei Schichten wasserfestes Sperrholz 5 mm, mit einer Schicht Glasgewebe-Epoxi-Laminat dazwischen.
- Mast: 50 mm PVC-Abwasserrohr
- Mastkopf: T-Stück für 50 mm Abwasserrohr. Stabilere und optimierbare Variante: Konstruktion aus Holz oder Stahl, Aluminium und Messing mit Neigevorrichtung für die Windfahnenachse (10-25°)
- Halteringe, Mastlager, Servoruder-Lagerschalen: 3 Verbindungsmuffen für 50 mm PVC-Abwasserrohr
- Achsen und Hebel: 5 oder 6 mm Edelstahlstange ca 1,5 m . Diese lässt sich noch leicht per Hand und Schraubstock biegen, und ist für den Einsatzzweck stabil genug.
- Windfahnenr Träger: 1,5 mm starkes Edelstahlblech 1,5 mm stark, 20 – 25 mm Breite, alternativ: stranggepresstes Aluminium 3 mm dick, ein Aluminium- oder Edelstahl-U-Profil 20 mm breit und 50 mm tief, 160 mm lang.
- Schubstange (kann bestehen aus): 12 mm PVC-Wasserrohr, 10 - 12 mm Aluminiumrohr oder 4 mm Edelstahlrohr.
- Schrauben und Bolzen in der Gehäusesektion und an anderen belasteten Teilen: Edelstahl und nicht dünner als 6 – 8 mm
- Schrauben im Mast und an der Windfahne: Edelstahl, nicht schwächer als 5 mm.
- Befestigung der Hebel: Insgesamt 12 Drahtseilklemmen 5 mm.
- Befestigungsstangen für Windfahnen-Gegengewicht: 40 cm Gewindestange M8
- Befestigungsstange für Schubstangen-Gegengewicht: 20 cm Gewindestange M6
- Balancegewicht Windfahne (ca 800 g) Stapel aus 16 Karosseriescheiben Durchmesser 40 – 50 mm, vergossen in Epoxidharz
- Balancegewicht Schubstange (ca 250 g) Stapel aus 4 Karosseriescheiben Durchmesser 40 – 50 mm, vergossen in Epoxidharz
- Laminierungen, Oberflächenschutz: 0,5 – 1 liter Pilz- und feuchtigkeitshemmende Imprägnierung, 0,5 bis 1,5 kg Epoxidharz (Servoruder), 0,5 m² Glasfasergewebe, 10 billige 2 cm breite Einwegpinsel (Epoxidharz: Epidan 500 mit Härter Z1 reicht völlig.)
- Lackierung, UV-Schutz: 500 ml weißer 2K- PU-Lack (Bsp: Polren, 10 Euro/liter), alternativ: 1-Komponenten - Fensterfarbe für den Aussenbereich

- Verbindungsstück Drehschaft-Steuerstange: Zwei ölgetränkte Hartholzblöcke 30 x 30 x 10 mm, alternativ: aus Epoxidharz gegossene Blöcke. Das Harz wird dazu mit Holzmehl (Schleifstaub) angedickt, alternativ: kommerziell erhältlicher Microfaser-Füller

Hinweise zur Materialauswahl:

Sperrholz:

Ob das Sperrholz wasserfest verleimt ist (Bauqualität) erkennt man daran, dass die Fläche zwischen den einzelnen Furnieren beim schrägen Anschnitt rötlich erscheint. Dieses Sperrholz hat gegenüber der imprägnierten und unter hohem Druck verleimten Bootsbau-Qualität zwar die Eigenschaft, dass es quellen kann, jedoch bei sorgfältiger Behandlung aller Bauteile zunächst mit einer pilzverhütenden und Feuchtigkeitsschützenden Imprägnierung, dann für das Servoruder Oberflächenversiegelung mit Epoxidharz und PU-Lack, für die anderen Teile eine Ölfarbe, wie sie für Fenster verwendet wird, hält es auch jahrelang. Nicht verwenden sollte man z. Bsp. eine alte Schrankrückwand, denn beim geringsten Leck in der Oberflächenversiegelung lösen sich die feuchten Furniere in kurzer Zeit voneinander.

Wird Sperrholz nur in wasserfest verleimter Bauqualität und nicht in Bootsbauqualität verwendet, ist die Imprägnierung mit schimmelverhütendem Mittel vor der Lackierung / Verarbeitung und dem Zusammenbau ein Muss.

Lagerrollen Servoruder:

Die Lagerrollen des Servoruders habe ich für meine eigene Anlage von einem Mechaniker aus Teflon drehen lassen, dies sind die einzigen Teile, die in meiner Anlage nicht in Eigenfertigung entstanden. Diese Teflonrollen können auch ersetzt werden durch passendes PVC-Rohr mit Außendurchmesser 50 mm – ohne signifikante Unterschiede der Servo-Lagerreibung. Eine Rolle macht man daraus, indem man das Stück PVC-Rohr innen leicht mit einer Halbrundfeile aufraut, und dann mit Epoxidharz ausgießt. Die Maße in den vorliegenden Plänen beziehen sich auf die Verwendung von in Deutschland handelsüblichen PVC-Abwasserrohren AD 50 mm und deren Verbindungsmuffen AD 57 mm, Länge: 92 mm (*Weiter : siehe Fertigung Lagerrolle*).

Balancegewichte

- A) Aus Stangen-Lötzinn, gegossen in eine Gipsform.
- B) alte Messinggewichte je 0,5 -1,5 kg vom Flohmarkt, in die ein 8 mm Loch gebohrt wird.
- C) Stapel großer Karosseriescheiben (45 - 50 mm Durchmesser), in einer Pappröhre in Epoxidharz vergossen. Dabei wird ein Aluminiumröhrchen ID=10 mm zentrisch mit eingegossen, so dass man nicht extra ein Loch für die Gewindestange bohren muss.

Limitierungen

Binnerevier

Wenn Sie mit der Eigenbau-Anlage in einem Binnerevier segeln wollen, sind die Bemaßungen und Auslegung der Teile überdimensioniert. Wenn sie ein flachwassertaugliches Boot damit ausrüsten, sollten Sie das Servoruder nach achtern hochklappbar gestalten.

Ostsee / Nordsee / Mittelmeer

Wenn Sie mit der Anlage in Seerevieren unterwegs sind, wo Sie es weitgehend vermeiden können, tagelang bei Sturm auf See zu sein, weil es genügend Häfen in Reichweite gibt, ist die Anlage richtig dimensioniert.

Hochsee

Wenn sie über den Atlantik oder weiter wollen, sollte Sie den Kauf einer stabilen, kommerziellen Anlage (Aries) in Betracht ziehen. Wenn dies nicht für Sie in Frage kommt, dann müssen Sie die Walt-Murray-Anlage von vorneherein so auslegen, dass sie alles aushält, was auch Ihr Schiff aushält.

Die Holzteile sollten weitestgehend durch Teile aus Niro-Stahl oder seewasserfestem Aluminium ersetzt werden. Wenn das nicht möglich ist, sollten Sie alle Holzteile in GFK-Laminatausführung und aus Sperrholz in Bootsbaugqualität herstellen. Bootsbausper Holz unterscheidet sich von Bausper Holz dadurch, dass die einzelnen Furnierlagen gegen Aufquellen imprägniert und unter hohem Druck verleimt sind.

Für die Achsen sollten Sie anstelle von 5 mm Edelstahlstab 6 bis 8 mm Edelstahl vorsehen, insbesondere für den Drehschaft, die Steuerstange, die Servoruderachse und den unteren Horizontalhebel. Die Verbindungen mit Drahtseilklemmen am Drehschaft sollten mit Epoxidharz fixiert werden. Das Wirbelgelenk sollte nicht aus einem Aluminium-U-Profil gefertigt sein, sondern aus Edelstahl.

Auf jeden Fall müssen Sie die unter Variationen beschriebene Limitierung des Servoruderausschlages mit Rückstell-Leinen vorsehen. Diese setzen bei einem bestimmten Ausschlag des Servoruders das Signal von der Windfahne außer Kraft, und drehen das Servoruder so, dass es im Wasser bleibt. Ansonsten kann es vorkommen, dass bei stoßender, schwerer See das Servoruder bis zur Waagerechten ausschwingt, und dann flach auf die Wasseroberfläche aufschlägt. Dies wurde bei einer älteren Aries-Anlage auf einer Nordatlantik-Überquerung beobachtet, woraufhin diese Anlage 45°-Anschläge für das Servoruder erhielt.

Das Gehäuse sollte zusätzliche Seitenplatten erhalten, die die Kräfte längs der Schiffsachse auffangen. Diese Platten sind einzufügen oberhalb der Grundplatte in den Gehäuseseiten sowie unterhalb der Grundplatte zwischen den Servolager-Halterungen.

Lassen Sie im Gehäuse-Oberteil einen Zugang zu den Kursvorgabeleinen. Die unter der Grundplatte angeschraubte, vordere Servolagerplatte (G4) ist bei einer Kollision mit Treibgut oder einem Netz vertikal besonders belastet. Für dieses Teil kann man statt der 6x65 mm Edelstahlschrauben auch lange, durchgehende Bolzen M8x140 vorsehen, die die Kraft über große U-Scheiben ins Holz einleiten. Dies erhöht die Bruchlast so, dass eher die Anlage vom Spiegel abreißt, als hier nachzugeben.

Das Servoruder sollte insgesamt 30-50% dicker gebaut werden und mehrlagig laminiert sein. Die Scharniere sollten mit seitlichen Edelstahl-Bändern verschraubt sein, und nicht nur mit Holzschrauben. Der Ruderschaft bis zur Wasserlinie sowie der Servoruderträger werden beidseitig

durch eine auflaminierte 5 mm-Sperrholzlage verstärkt. Die Scharniere sollten aus 2,5 mm dickem Edelstahl gefertigt sein. Man kann die Scharnierhalterung in Servoruder und Servoruderträger auch dadurch sehr verstärken, wenn man neben den Schrauben kurze M6-Bolzen senkrecht dazu verschraubt, diese halten das Holz an den belasteten Stellen zusammen. Noch stabiler ist je ein Streifen Edelstahlblech als Armierung, alle 5 cm mit einem Querbolzen verschraubt. Solch eine Armierung, ausgeführt als Winkelbleche zur zusätzlichen Befestigung unter der Grundplatte kann man auch außen an den beiden Servolagerhaltern aufschrauben. Diese werden dann auch Belastungen standhalten, deren Auftreten eher den Spiegel aufreißen lassen.

Stabilität der Lagerrollen und Servoruderträger:

Wenn Sie die das Epoxidharz für die Lagerrollen statt mit Holzmehl oder Cellulose-Microfasern mit Glasfasern (ca 1 cm Länge) andicken, alternativ: Innen vor dem Ausgießen einen 1 m langen Streifen Glasgewebe einrollen, so werden Sie zum Abscheren derselben schon eine Hydraulikpresse brauchen. Für die Montage der Lagerrollenträger am Servoruderträger bietet sich die Verwendung von Einpreßmuttern M5 und M5x30 Maschinenschrauben statt der Holzschrauben an. Es bietet sich für einen monate- oder gar jahrelangen Dauereinsatz an, das Servolager auch aus Metall anzufertigen (Niro, Messing).

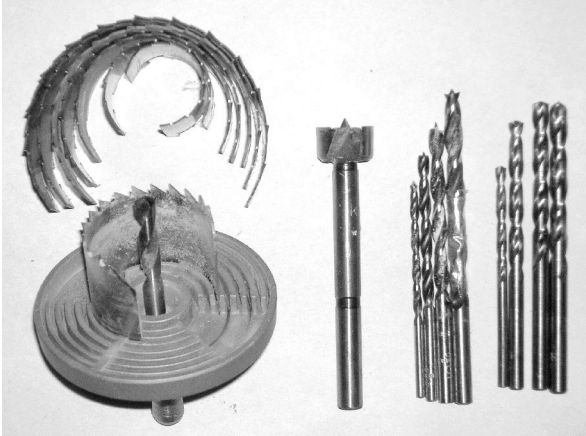
Eine brechende See wird ihnen mit Sicherheit die Windfahne abknicken – sorgen Sie für genügend Ersatz an Bord. Je kürzer Sie den Mast gestalten, umso stabiler ist er. Da der Mast mit seinem vertikalen Schlitz in brechender See ebenfalls eine „Sollbruchstelle“ darstellt, sollten Sie ggf. auf die Verstellhülse verzichten. Für Langfahrt, insbesondere in tropischen Regionen muss der PVC-Mast durch ein Aluminiumrohr ersetzt werden, da PVC unter längerer starker UV-Einstrahlung versprödet und seine Stabilität verliert. Machen Sie den Mast so kurz wie möglich.

Als Vergleich kann auch der Ruderschaft der Aries-Anlage dienen: Dafür wird ein Aluminiumrohr 50 mm Dicke verwendet, allerdings mit freier, nicht sonstwie abgestützter Hebellänge von insgesamt 130 cm. Ich zumindest habe noch nirgendwo einen Bericht gefunden, dass bei dieser hochseetauglichen Anlage dennoch der Ruderschaft gebrochen sei.

Werkzeug

Eine wichtige Voraussetzung für einen erfolgreichen Bau ist ein stabiler, ebener Werk Tisch, der möglichst an der Wand festgeschraubt ist.

Elektrisches Werkzeug:



Stichsäge und Bohrmaschine, letztere mit elektronischer Geschwindigkeitsregelung. Ein stabiler Bohrstand für exakt senkrechte Bohrungen ist hilfreich, jedoch nicht unbedingt notwendig.

Die verwendeten Bohrwerkzeuge

Handwerkzeug:

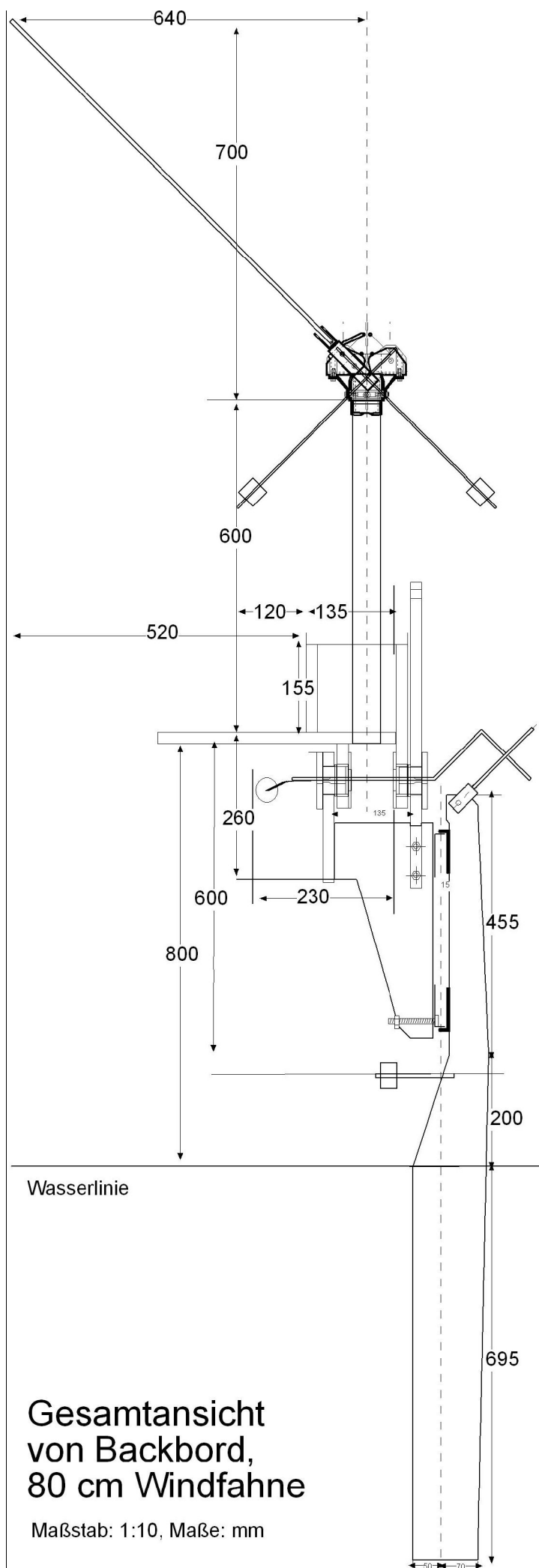


Schraubstock, Schraubzwingen, kleine Bügelsäge mit Holz- und Metallsägeblättern, Gehrungssäge, Schraubenzieher, Schraubenschlüssel (Ratschenkasten), Schlüsselfeilensatz, Handhobel mit gewölbter Raspelfläche (wie auch zum Abziehen von Farbe verwendet), Holzhobel, Stecheisen. Eine größere flache Metallfeile. Stabiles Teppichmesser mit Ersatzklingen. Schieblehre, Körner, Navigationsdreieck, Lineal, Zollstock.

Ausser den gezeigten Handerkzeugen ist ein guter Holzhobel und ein scharf geschliffener Stechbeitel vorteilhaft

Gewindebohrersätze M6, M5, M4, Gewindeschneideisen guter Qualität M5 für die Außengewinde auf der Edelstahlstange. Kobaltstahl-Metallbohrer: 8.0, 6.0, 5.5, 5.0, 4.5, 4.0 mm, Holzbohrersatz 3 - 8 mm. Ein Satz Kernbohrer/Holz 25 – 60 mm, dafür gute Qualität verwenden, mit billigem China-Werkzeug kommt man an dieser Stelle nicht weiter.

Zur Oberflächenbearbeitung und Formung des Servoruders ist das steife Schleifgewebe, welches auch für Bandschleifer zum Parkettschleifen verwendet wird, genau richtig: Körnung 60 – 80, Ansonsten Schleifpapier Körnung 120 – 180 zur Endbearbeitung des Servoruderprofils. Zum Glätten und Polieren der Edelstahlteile sowie des Lacks am Servoruder 400er bis 2500er Nassschliff-Papier.



Planung

An erster Stelle sollte die Vermessung des Spiegels stehen, denn für die Dimensionierung der Grundplatte sowie der Schaftlänge des Servoruders braucht man folgende Maße:

A) Montagehöhe der Grundplatte über der Wasserlinie, besser, der „dynamischen Wasserlinie“, d.h. wenn das Boot in Fahrt ist. Die dynamische Wasserlinie verläuft normalerweise ein paar Centi - oder Dezimeter höher als die statische.

B) Abstand nach achtern vom Spiegel.

Der Abstand der Anlage vom Spiegel muss einerseits so groß sein, dass bei 45°-Auslenkung der Windfahne keine Kollision mit Reling, Achterstag, Grossbaum usw. möglich ist und andererseits das Servoruder nach beiden Seiten etwa 45° ausschlagen kann, ohne dass eine Badeleiter, ein Aussenborder o.Ä. im Weg sind.

Die Seitenansicht der Anlage (*siehe oben*) liefert die Maße, die für eine Anpassung an den Spiegel Ihres Bootes notwendig sind. Anzupassen sind: Grundplatte, diese legt den Abstand vom Spiegel nach achtern fest. Weiterhin: Masthöhe, und ggf. auch die Schaftlänge des Servoruders.

Am günstigsten ist die Anlage mittig am Spiegel montiert, und so tief, dass die Grundplatte so tief wie möglich, jedoch nicht weniger als 70 cm über der Wasserlinie sitzt. Damit hat man auch bei Krängung das Servoruder immer noch im Wasser und bei einem Surf taucht der kantige Servoruderträger nicht zu tief ein.

Ist die Montagehöhe und der Abstand vom Spiegel festgelegt, dann wird die notwendige Höhe des Mastes für die Windfahne ermittelt: Die große, 80 cm lange Windfahne braucht bei ihrer maximalen Auslenkung von 45° einen freien Radius von ca. 65 cm, diesen etwa 70 cm über dem Mastkopf, und etwa 30 cm darunter noch einmal einen Radius von 25 cm für die Gewindestange mit dem Reitgewicht. Recht hilfreich ist es, wenn man ein seitliches Foto vom Heck etwa in Deckshöhe mit einem Maßstab darauf hat. Wenn die Montageposition am Spiegel klar ist, kann man mit dem Bau anfangen.

Vorbemerkungen zur Konstruktion

In folgendem Abschnitt finden Sie einige Bemerkungen zu konstruktiven Zusammenhängen. Mit diesen Informationen sind Sie in der Lage, später die fertige Anlage zu optimieren.

Gewichtsbalance

Das Schiff vollführt im Seegang ständig Bewegungen in allen Richtungen. Damit diese Bewegungen keinen Einfluß auf die Funktion der Anlage nehmen und eventuell sogar zu Schwingneigung führen, müssen alle um eine Achse beweglichen Teile gewichtsmäßig ausbalanciert sein. Dazu befinden sich verstellbare Gegengewichte auf Gewindestangen an: Windfahne, Drehschaft und wenn nötig, auch am Servoruder. Die Windfahne hat eventuell sogar zwei Gegengewichte:

Eines als Gegengewicht für das Sperrholz der Windfahne, ein kleineres, um die Toleranzen der Fertigung (Windfahnenachse, Bohrungen der Windfahnenhalterung usw.) auszugleichen.

Das Gegengewicht am Drehschaft balanciert das Gewicht vom unterem Horizontalhebel sowie der Schubstange.

In das Servoruder ist unterhalb des unteren Scharniers optional ebenfalls eine Gewindestange für ein Gegengewicht eingebaut. Damit balanciert man im Wesentlichen die Unwucht des Ruderschaftes an der Servoruderachse aus, um Schwingneigung bei geringer Fahrt und stärkerem Ausschlag des Servoruderträgers zu begegnen. Der größte Teil des Gewichtes des Servoruders wird jedoch durch die Verdrängung des eingetauchten Ruderblattes aufgehoben. Wenn das Servoruder stärker (Flächen-) vorbalanciert ist als 25%, sollte man gegebenenfalls ein Gegengewicht dafür vorsehen. Denn in diesem Fall kann es sein, dass bei geringer Fahrt die rückstellende Kraft aus der Schiffsgeschwindigkeit das Gewicht des Ruderschaftes nicht „tragen“ kann, und das Servoruder umso stärker ausschlagen will, je weiter es aus der Vertikalen kommt. Damit würde die Anlage dann übersteuern. Weiterhin kann diese Gewindestange am Servoruder für Leinen verwendet werden, die den Ausschlag des Servoruders und damit des Hauptruders sanft begrenzen, in Anlehnung an Details der alten Hasler-Anlage.

Die Gewichtsbalance des Servoruders kann man erst richtig einstellen, wenn es am Schiff montiert und im Wasser ist. Zur Dimensionierung des Gegengewichtes kann man ein Stück des verwendeten Sperrholzes wiegen (ca 0,6-0,7 g/cm³), und auf das Volumen des Ruderschaftes (360 cm³) umrechnen. Bei Verwendung der Maße aus dieser Anleitung für ein 30%-Ruder ist der Schwerpunkt des Ruderschaftes ca. 60 mm von der Achse des Servoruders entfernt. Die Gewindestange für das Gegengewicht (M6, 140 mm) ist 30 mm weit in die Vorderkante des Ruderblattes eingeschraubt (M6 Gewindebohrer, Epoxidharz, beiderseits Verstärkungstreifen aus 5 mm Sperrholz aufkleben), und ragt 105 mm weit vor die Achse. Das Gegengewicht für das Servoruder sollte mit einer Montageposition mit 75 mm Abstand von der Achse dann 75% des Schaftgewichtes betragen (250 g).

Eine zusätzliche Bedämpfung der Steuerung durch eine gewichtsmäßige Über-Balance des Servoruderschaftes bewirkt bei Krängung des Schiffes ein einseitig bevorzugtes Steuerverhalten. Dies ist nur empfehlenswert, wenn man eine nicht durch die Segel auszutrimmende Luv- oder Leegierigkeit des Bootes damit ausgleichen will.

Auf einem Amwindkurs werden die meisten Boote luvgerig sein, dann ist ein leichtes Übergewicht des Ruderschaftes wünschenswert. Die Tendenz des Bootes in einer Boe in den Wind zu schießen, wird durch das Gewicht des Ruderschaftes ausgeglichen.

Untersetzung

Die Untersetzung bezeichnet das Verhältnis von Windfahnausschlag zu Ausschlag des Servoruders. Dieses ist bei der hier vorgestellten Konstruktion nicht immer gleich, sondern ändert sich mit zunehmendem Windfahnausschlag. Damit unterscheidet sich das Konzept von einer linear arbeitenden Anlage (Aries, Monitor, Windpilot-Anlagen) bei der die Bewegung der Windfahne linear über Zahnradgetriebe auf das Servoruder übertragen wird.

Das Anfangs-Untersetzungsverhältnis von Windfahnausschlag zu Servoruder-ausschlag sollte im Bereich von

2 : 1 bis 3 : 1 liegen und ist an der Verbindung Drehschaft-Servoruder einstellbar gestaltet. Damit entsprechen dann 10° Windfahnausschlag nur etwa 5° Ausschlag des Servoruders. Dadurch erzielt man ein ruhiges Steuerverhalten ohne Tendenz zum „Übersteuern“ bei geringen Kursabweichungen. Die Untersetzung nimmt konstruktionsbedingt gegen Ende des Windfahnausschlags etwas ab. Bei den 45° Maximalausschlag der Windfahne kommt man mit der oben genannten Verhältnissen auf 25° – 35° Maximal-Anstellwinkel des Servoruders. Mehr ist auch nicht erforderlich, denn darüberhinaus wird kaum zusätzliche Steuerkraft erzeugt, die Energie geht dann nur in Wirbel am Servoruder verloren, die das Schiff bremsen. Bei den meisten kommerziellen Servoanlagen beträgt der Wert für die Untersetzung fest eingestellt 1:2.

Hebellänge Horizontalhebel, Schubstange

Die maximale Hebellänge des oberen sowie unteren Horizontalhebels wird durch die Dicke des Mastrohrs festgelegt und beträgt 55 mm. Damit kann man das Material der Schubstange bis zu 12 mm dick wählen. Versuche mit kommerziellen Anlagen haben gezeigt, dass die Schubstange bereits mit einem 4 mm Stahlrohr stabil genug ist. Die Maße dieser Bauanleitung sind auf eine Hebellänge von 50 mm abgestimmt, um die unvermeidlichen Toleranzen der Handfertigung zu berücksichtigen.

Vorbalance Servoruder

Kommerzielle Anlagen verwenden häufig ein zu 20% flächenmäßig vorbalanciertes Servoruder. Allerdings haben diese Servoruder oft ein viel dickeres Profil wegen dem bis unten druchgehenden Ruderschaft aus Metallrohr. Die notwendige Vorbalance, dass das Servoruder ohne Gegendruck von der Windfahne gedreht werden kann, hängt stark von der Profildicke ab. Wenn das Servoruder flächenmäßig überbalanciert ist, kommt es zur drastischen Übersteuerung. Wenn es nicht genügend vorbalanciert ist, reagiert die Steuerung zu träge, weil die Windfahne bei Schwachwind nicht genug Kraft zur Drehung des Servoruders aufbringen kann. Die nur geringe flächenmäßige Vorbalance bei vielen kommerziellen Anlagen hat den Nachteil, dass seitliche Bewegungen des Schiffes im Seegang (schwächerer Wind raumschots und achterlich bei hoher Dünung) eine Rückwirkung auf die Windfahne haben: Die Gierbewegungen des Schiffes wirken nicht nur über das „Pendeln des Servoruders“ über die Steuerleinen auf das Ruder (Gierdämpfung), sondern drehen auch die Windfahne gegen den Wind.

Unter ungünstigen Umständen, z.Bsp. wenn die Frequenz der Wellen der Eigenfrequenz des Systems Windfahne / Windfahnengegengewicht oder der des „Pendels“ Mast/Kiel nahekomen, beginnt das Schiff dann wilde Schlangenlinien zu fahren, es schaukelt sich auf, statt die Gierung zu dämpfen. Dieser unerwünschte Effekt lässt sich mit besserer Servoruder-Vorbalance minimieren.

In dieser Anleitung sind Pläne für ein Vollholzruder mit 30% Vorbalance sowie für ein Laminat-Ruder mit 25% Vorbalance zu finden. Die Vorbalance lässt sich in gewissem Rahmen auch im Nachhinein noch leicht durch das Unterfüttern (Sperrholzstreifen, GFK) des oberen oder des unteren Scharniers am Servoruder anpassen, falls sie zu gering oder zu groß ist.

Neigung Windfahnenachse

Die Neigung der Achse der Windfahne gegen die Horizontale hat einen sehr großen Einfluß auf das „static gain“ der Anlage. Diese „statische Verstärkung“ des Servosystems bezeichnet die Kurskorrektur am Ruder pro Grad Abweichung vom vorgegebenen Kurs zum Wind.

Wäre die Windfahnenachse horizontal, so würde die kleinste Abweichung vom richtigen Kurs zum Wind sofort ein „Umklappen“ der Windfahne nach einer Seite verursachen – mit einem entsprechend starkem Ausschlag des Pendelruders und damit des Ruders. Ist andererseits die Neigung der Windfahne groß oder ist ihre Achse sogar vertikal, so muss das Boot stärker vom Kurs abweichen, um eine Kurskorrektur durch das Servoruder zu erzielen.

Es ist eine Binsenweisheit, dass sich jedes Schiff im Seegang anders verhält. Dass manche Eigner von kommerziellen Servo-Windselbststeuerungsanlagen unzufrieden mit Ihrer Anlage sind, liegt weder daran, dass die Anlage schlecht gewartet noch dass sie untauglich ist. Vielmehr fehlen oft Optimierungsmöglichkeiten, um auf See nach Seegang und Wind nachzutrimmen, oder bereits im Hafen entsprechende Voreinstellungen vorzunehmen.

Die ursprüngliche Windfahnenneigung der Bauanleitung aus 2006 war mit einem PVC-Mastkopf auf 10° festgelegt. Diese Pläne bleiben in der Anleitung, jedoch hat sich diese Neigung trotz der hervorragenden Schwachwind-Eigenschaften als zu gering erwiesen: Zu nervöse Steuerung bei Mittel-bis Starkwind.

Es sind Pläne dazugekommen für:

- a) PVC-Mastkopf mit 17° Neigung der Windfahnenachse
- b) Stabiler Metall-Mastkopf mit Neigeeinrichtung für die Windfahnenachse von 10-30°

Mit letzterem ist die Anlage sowohl an unterschiedliche Schiffstypen als auch an Wind, Kurs und Seegang anzupassen, was die Steuereigenschaften der Anlage angeht. Ein PVC-Mastkopf ist nur als Provisorium zu Testzwecken anzusehen.

Geschwindigkeit optimieren

Die wichtigste Voraussetzung, dass die Selbststeueranlage nicht viel Fahrt kostet und gut steuert, ist ein gut getrimmtes Schiff. Ist das Schiff vor der Aktivierung der Selbststeueranlage gut getrimmt, so wird man selten ein stark angestelltes Servoruder beobachten. Dies liegt ganz einfach daran, dass der Servoruderträger bei Anstellung des Servoruders sofort seitlich ausweicht, und sich damit das Servoruder wieder parallel zur Schiffsachse einstellt. Das Schiff wird bei arbeitender Servoanlage allein um den Betrag gebremst, den die Anlage zur Bewegung des Ruders aufbringen muss (zuzüglich zur Reibung des Servoruders im Wasser). Je besser das Schiff getrimmt ist, und je weniger Kraft der Steuermann braucht, umso weniger Energie muss die Servoanlage der Fahrt des Schiffes zum Steuern entnehmen.

Wenn das Servoruder sorgfältig geschliffen, gespachtelt und lackiert wird, so kann man auch damit zu einer Geschwindigkeitsoptimierung beitragen. Je kleinflächiger das Servoruder ausfallen kann, und je flacher es in Neutralstellung ist, umso weniger Reibungswiderstand bietet es.

Bauanleitung

Bevor Sie sich jetzt, mit Metallsäge und Schraubenzieher bewaffnet, in die Bauanleitung stürzen, bitte ich darum, folgende Hinweise zu beachten:

Jeder mit „Baugruppe“ bezeichnet Abschnitt kann für sich bearbeitet werden. Innerhalb einer Baugruppe jedoch sollten Sie die Reihenfolge der Fertigungs- und Bearbeitungsschritte der einzelnen Teile einhalten. Der Grund dafür liegt ganz einfach in der mit Handwerkzeug möglichen Präzision, besonders bei der Verwendung der Handbohrmaschine ohne Bohrständler.

Denn: Was nützt es, wenn Sie die Befestigungslöcher in der Windfahne schon gebohrt haben, Ihnen der Bohrer bei der Bearbeitung des Windfahnenträgers jedoch 2 mm auswandert, und die Windfahne dann mühselig mit einem Keil unterfüttert werden muss, damit sie nicht klappert? Die Reihenfolge sowie die Bearbeitungshinweise sollten Sie beachten, darin steckt auch viel Erfahrung mit „vermurksten“ Teilen. Auch gebe ich Hinweise darauf, was passiert, wenn man scheinbar einfachere Lösungen wählt.

Zum Beispiel scheint es attraktiv, für die Windfahnenachse statt auf ein Stück Edelstahlstange an den Enden selber die Gewinde für die Stoppmuttern zu schneiden, einfach ein Stück Gewindestange zu nehmen. Nur dass sich solche Dinge nicht rechnen, zeigt sich spätestens bei der ersten Erprobung in der Praxis.

Die vorliegende Bauanleitung spart Ihnen viel Mühe, Zeit und Material, wenn Sie sich innerhalb der Baugruppen an die einzelnen Fertigungsschritte halten. Manchen geübten „Selbstbauern“ wird das Eine oder Andere zu detailliert und weitschweifig erscheinen, doch ich gehe davon aus, dass beinahe jeder, der in der Lage ist, ein Regal zu bauen und horizontal an der Wand zu montieren, auch selber eine Windsteuerungsanlage fertigen kann. Es kommt nur auf die Qualität der Bauanleitung an. Und dass hier jeder einzelne Arbeitsschritt so erklärt und beschrieben wird, dass man kaum etwas falsch machen kann. Und wenn dennoch Fehler passieren, diese in für die Gesamtfunktion tolerablen Grenzen gehalten werden.

Baugruppen

Die gesamte Anlage besteht aus den folgenden Teilen (von oben nach unten):

- **Windfahnensektion** (mit Windfahne, Reitgewicht, Windfahnenträger, oberem Horizontalhebel und Mastkopf)
- **Mast** (Mastrohr, Masthalterung, Kursvorgabehülse)
- **Schubstange** mit Kardangelenk, Wirbelgelenk und Justagehülse
- **Drehschaft** mit unterem Horizontalhebel, Stopperrn und Balancegewicht für die Schubstange
- **Gehäusesektion** mit Grundplatte, Montagestützen, Querholz, Servolagerschalen und Gegenplatten
- **Servoruderträger** mit Lagerrollenhaltern und Lagerrollen
- **Servoruder** mit Steuerstange.

Halterung am Schiff

Die Anlage wird am Spiegel mit der Grundplatte und zwei Stützen montiert, die im 45° Winkel unter der Grundplatte das Gewicht der Anlage auf den Spiegel leiten. Die Befestigung der Grundplatte mit Edelstahlwinkeln fängt die seitlichen Kräfte auf. Diese liegen in der Größenordnung, die man zur Betätigung des Ruders braucht. Die beiden Stützen unter der Grundplatte tragen im Wesentlichen nur das Gewicht der Anlage selber. Ich habe dafür ohne Probleme 40x40 mm Kiefernkantholz verwendet: Mit einer Lage Glasfaser-Epoxi überzogen und mit Edelstahlwinkeln angeschraubt. Besonders an den Kopfenden müssen diese Hölzer zunächst mit pilzverhütender Imprägnierung getränkt werden, damit sie nicht verrotten.

Als Alternative zu einer bis zum Heck verlängerten Grundplatte bietet sich auch ein Halterahmen aus halbzölligem Kupferrohr an, auf den die verkleinerte Grundplatte gesetzt wird. Dieser Rahmen wird mit T-Stücken und Winkeln gelötet und danach mit Aluminiumlack überzogen. Die damit erzielte Optik ähnelt bei sauberem Arbeiten durchaus der von Edelstahl bei ausreichender Stabilität.

Reihenfolge der Fertigung

Wenn der erforderliche Abstand der Anlage nach achtern vom Spiegel bekannt ist, kann man mit den Holzzuschnitten beginnen, denn dann sind auch die Maße für die Grundplatte bekannt.

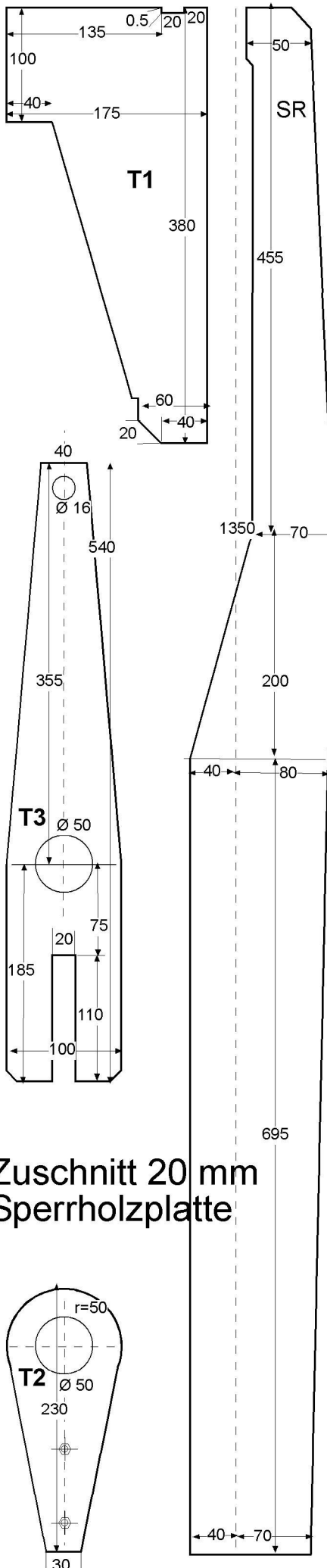
Daraufhin baut man zunächst die Gehäusesektion und den Servoruderträger. Das Gehäuse dient später für die weiteren Teile als Halterung, so dass man beim probeweisen Zusammenbau gleich die Fehler ausmerzen kann, die eventuell aufgetreten sind.

Die nächsten Bauschritte umfassen die Windfahnensektion, den Mast, die Schubstange sowie den Drehschaft. Danach sind die „tüfteligen“ Teile fertig, und es schließt sich nur noch eine etwas grobere Arbeit mit der Fertigung des Servoruders an. Der Bau des Servoruders erscheint auf den ersten Blick recht mühsam, wenn man die mit der Stichsäge ausgesägte 20 mm dicke, 135 X 12 cm messende Sperrholzplatte beginnt, ins gewünschte Profil zu bringen. Am unteren Ende soll sie an der dicksten Stelle nur 10 mm stark werden. Hier kommt es jedoch darauf an, in der richtigen Technik und mit den richtigen Werkzeugen zu arbeiten. Dann ist die Profilierung in 4 Stunden erledigt (Handwerkzeug). Kann man im Freien arbeiten, so geht das Ganze mit einem Winkelschleifer weitaus schneller: Maximal eine Stunde.

Erst zum Abschluß aller vorgenannten Fertigungsschritte kommen die Farbdosen zum Zug:

Alle Teile werden wieder auseinandergeschraubt. Dann folgt eine satte Imprägnierung mit schimmelverhütendem Mittel, besonders in den Schraubenlöchern. Man wiederholt das solange, bis das Holz nichts mehr aufsaugen will. Danach kommt eine Lackierung mit Ölfarbe oder 2-Komponenten PU-Lack. Ich nehme deutlich Abstand davon, für die Überwasserteile der Anlage eine Epoxi-Beschichtung zu verwenden, ausser für das Servoruder im Unterwasserbereich, weil sonst durch kleine Risse im Epoxi eingedrungene Feuchtigkeit nie wieder das Holz verlässt. Das Servoruder muss jedoch mit einer Epoxidschicht gegen Wasserdampf geschützt sein, da es sich permanent bei 100% Wasserdampfdruck befindet. Ich empfehle als Schlussanstrich weißen Lack, denn dieser reflektiert das UV-Licht, welches sonst das Holz auf Dauer mürbe und brüchig macht. Auch das Mastrohr aus PVC wird damit lackiert, denn das PVC von Abwasserrohren ist recht empfindlich gegen UV-Licht.

Schleifen und eventuell auch spachteln muss man zwischen den Lackierungen nur das Servoruder, bei den anderen Teilen ist dieser Arbeitsgang reine Kosmetik.



Holzzuschnitte

Es ist effektiv, alle Holzteile in einem Schritt zuzuschneiden. Die einzigen Variablen dabei sind die Grundplatte sowie eventuell das Servoruder – wenn Sie die Schaftlänge angepasst haben.

Die 20 und 15 mm Sperrholzplatten werden mit der Stichsäge zugeschnitten, die 5 mm Sperrholzplatte mit dem Teppichmesser oder der Stichsäge.

Arbeiten mit der Stichsäge

Die Teile für die Gehäusesektion und das Servoruder werden auf der Sperrholzplatte aufgezeichnet und mit der Stichsäge ausgeschnitten. Um den saubersten Schnitt zu bekommen, müssen Sie den Pendelhub der Stichsäge so gering wie möglich einstellen. Arbeiten Sie mit einem dicken Sägeblatt langsam und mit wenig Vorwärtsdruck, dann erhalten Sie senkrechte Schnitte. Sägen Sie nicht auf der Line, sondern exakt daneben. Den Überstand haben Sie später schnell mit einer Raspel ausgeglichen. Wenn Sie ganz perfekt arbeiten wollen, befestigen Sie eine gerade Holzleiste als Anlegekante auf dem Werkstück mit Schraubzwingen.

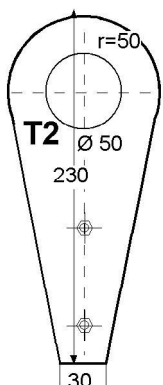
Sperrholz 20 mm

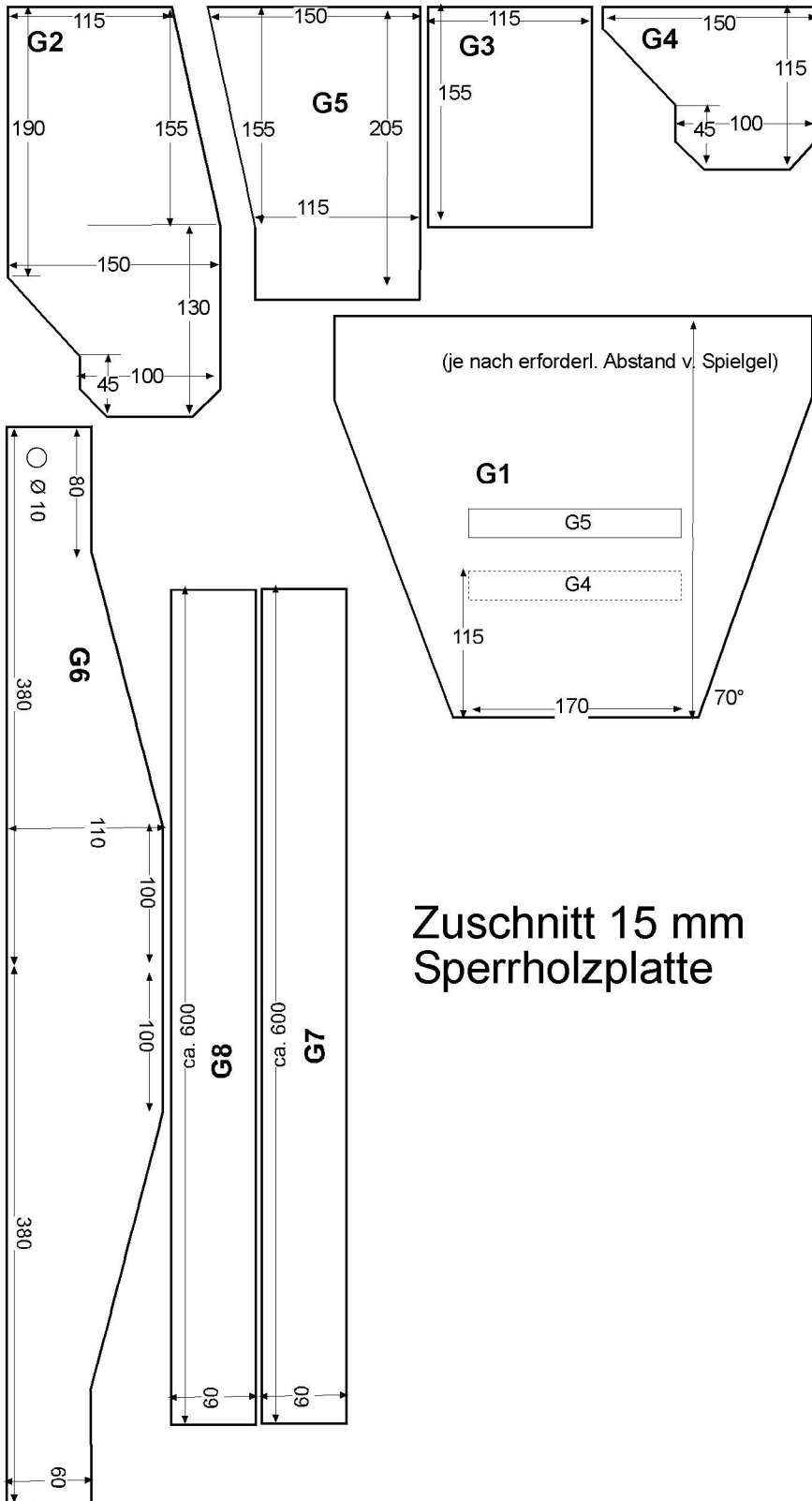
In der Abbildung links finden Sie ein mögliches „Schnittmuster“ für die 20 mm-Teile (Maßstab 1:5): Servoruderträger, Servoruder. Das dort gezeichnete Servoruder hat 30% Vorbalance.

Teile, die beim Aussägen besondere Sorgfalt erfahren sollten:

- **Servohebel-Schlitz (T3), 20x110**, möglichst langsam aussägen, damit die Schnittkanten vertikal sind
- **Servoruderträger-Längsplatte (T1)** 90°-Kanten sollten vertikal sein und im rechten Winkel zueinander stehen. Hier ggf. 1-2 mm stehen lassen, um mit der Gehrungssäge nacharbeiten zu können.

Zuschnitt 20 mm Sperrholzplatte





Sperrholz 15 mm

In der Abbildung links finden Sie ein mögliches „Schnittmuster“ für die 15 mm-Teile (Maßstab 1:5): Grundplatte G1, Gehäuseteile, Querholz und Binder. Man kann diese auch aus 20 mm Material fertigen, jedoch ist dies bei der Verwendung von Streben G8,G7 zur Abstützung des Querholzes nicht notwendig und nur überflüssiges Gewicht.

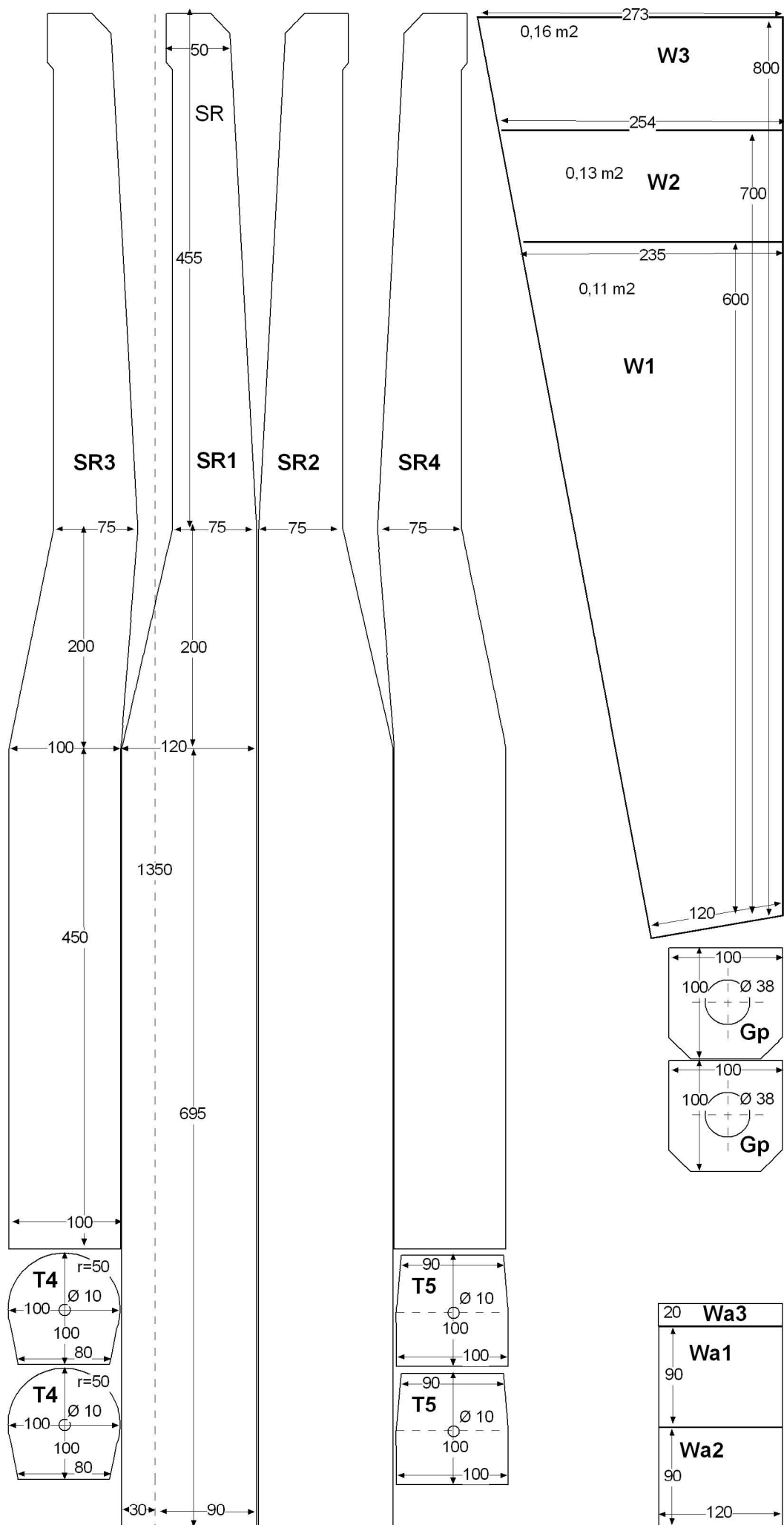
Die Teile G2-G5 bilden das Gehäuse mit Servolager und Masthalterung.

Das Querholz G6 führt die Steuerleinen seitlich, und wird vertikal innen hinter der Achterlagerplatte G2 angeschraubt.

Die Verstrebung des Querholzes G6 mit den Streben G8,G7 ca im 45°-Winkel leitet die Kraft des Servoruders zu den Befestigungspunkten der Grundplatte.

Die Streben (G7, G8) werden mit winkelrichtigen Abschnitten ihrer selbst (Binder) auf dem Querholz G6 verleimt, wenn dieses auf der Grundplatte aufgeschraubt ist. Später werden diese Hölzer (G7,G8) auf die benötigte Länge verkürzt, damit sie nicht über die Grundplatte hinausragen.

Zuschnitt 15 mm Sperrholzplatte



Sperrholz 5 mm Zuschnitt

Aus dem 5 mm dicken Sperrholz werden die Windfahne(n), ein Adapter für die Windfahne sowie einige Teile für das Gehäuse gefertigt.

Im Zuschnittplan (siehe Folgeseite) sind auch die Teile für ein nur 25% vorbalanciertes Servo-Ruder in Laminatbauweise enthalten. Mit diesem Ruder zusammen braucht man eine Sperrholzplatte von 70 x 135 cm.

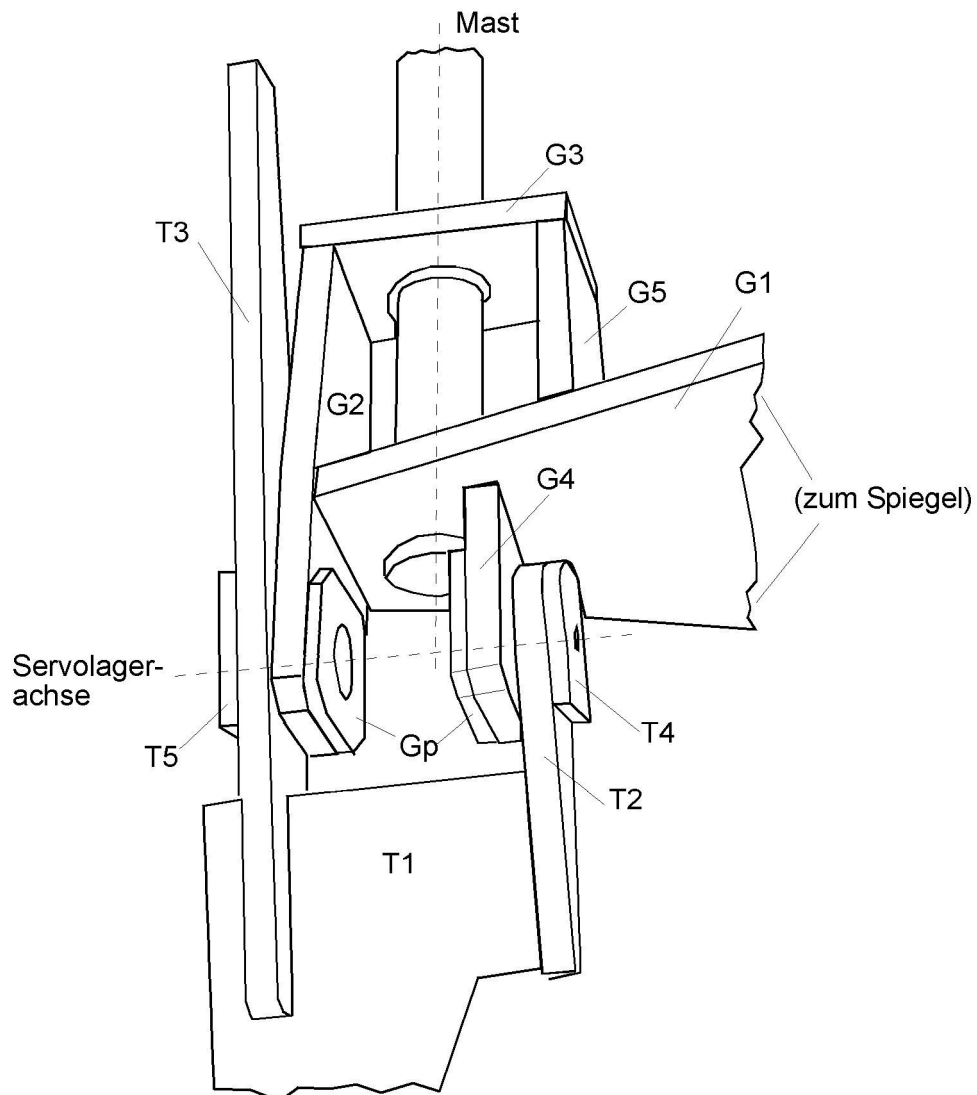
Gehäusesektion und Servoruderträger

Die Gehäusesektion und der Servoruderträger müssen beim Bau aneinander angepasst werden. Daher verwendet man auch für den Servoruderträger nicht sofort die dicken, langen 6x65 mm -Schrauben sondern dünnere, kürzere für eine Vormontage. Erst wenn alles spiel- und klemmfrei läuft, werden die dünnen Schrauben einzeln nacheinander durch die langen Edelstahlschrauben ersetzt. Dadurch hat man die Möglichkeit, schlechte Winkeltreue des Gehäuses in diesem Zwischenschritt auszugleichen. Sie sollten davon Abstand nehmen, die Gehäuseteile zu verkleben, denn so können sie einzelne Teile nicht verbessern/ersetzen, sondern müssen das Gehäuse komplett neu fertigen, wenn irgendetwas nicht geklappt hat.

Übersicht

Gehäusesektion und Servoruderträger

(Querholz G6, Tangentialhölzer G7, G8 sowie Befestigungsstützen zum Spiegel sind zur Übersichtlichkeit weggelassen)



Servoruderträger

Maßstab: 1:5, Maße: mm

20 mm Sperrholz,
wasserfest verleimt:

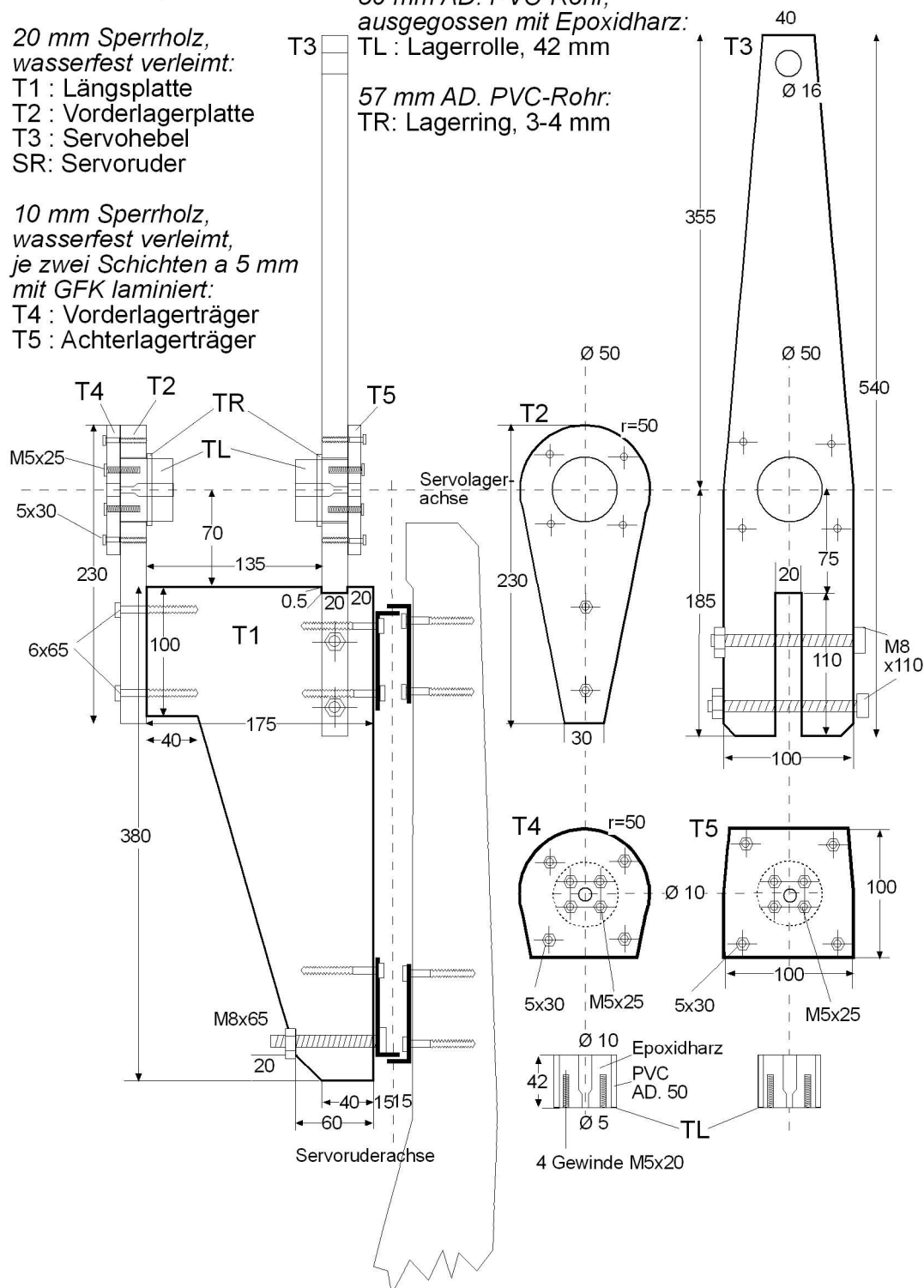
T1 : Längsplatte
T2 : Vorderlagerplatte
T3 : Servohebel
SR: Servoruder

10 mm Sperrholz,
wasserfest verleimt,
je zwei Schichten a 5 mm
mit GFK laminiert:

T4 : Vorderlagerträger
T5 : Achterlagerträger

50 mm AD. PVC-Rohr,
ausgegossen mit Epoxidharz:
TL : Lagerrolle, 42 mm

57 mm AD. PVC-Rohr:
TR: Lagerring, 3-4 mm



Servoruderträger

Beginnen Sie mit der Bearbeitung der Teile für den Servoruderträger. Er besteht aus der Längsplatte (T1), dem Servohebel (T3), dem Vorderlagerträger (T4) den Lagerrollenhaltern (T4, T5) sowie den beiden identischen Lagerrollen.

Lagerrollen

Die Lagerrollen werden aus 40 bis 42 mm langen, sauber mit der Gehrungssäge im 90°-Winkel abgeschnittenen Stücken eines PVC-Abwasserrohrs AD 50 mm gefertigt und mit faserverstärktem Epoxidharz ausgegossen. Als Andickmittel für das Epoxidharz kann man Holzmehl, Cellulosemicrofasern oder Glasfasern verwenden. Die PVC-Rohrstücke werden innen mit einer Feile oder grobem Schleifgewebe etwas aufgeraut.

Danach fixiert man die Rohrstücke auf zwei Schablonen aus Karton mit Klebeband. Der Karton hat jeweils exakt in der Mitte ein dünnes Loch für einen Zahnstocher, der später als zentrische Führung für den Bohrer dient. Die zweite Kartonschablone je Lagerrolle als Deckel hält den Zahnstocher mittig und vertikal, wenn das Epoxidharz eingegossen ist.

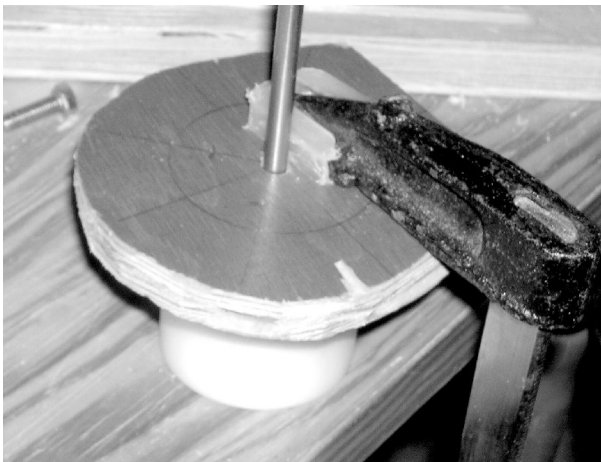
Nach Aushärtung des Harzes (min. 24 Stunden bei Raumtemperatur) wird durch jede Lagerrolle mit dem 5 mm Kobaltstahlbohrer bei langsamster Drehzahl eine zentrische Bohrung angebracht.

ACHTUNG: Das Aufbohren der Innenbohrung der Lagerrolle mit einem 8 mm- Metallbohrer bis auf einen kleinen Rest der 5er-Bohrung von 5-8 mm Länge erfolgt erst später! Sie brauchen die lange 5 mm- Führung für die Ausrichtung der Lagerrollen.

Lagerrollenträger

Die beiden 5 mm-Sperrholzplatten je Lagerrollenträger (T4, T5) werden leicht belastet mit einer Lage Glasgewebe zusammengeklebt, so dass man stabile 10 mm dicke Werkstücke erhält.

Nach dem Aushärten werden die Kanten geglättet, und zentrisch zunächst eine 5 mm- Bohrung angebracht. Die Lagerrolle wird aufgelegt, die beiden Teile mit 5 mm-Edelstahlstange ausgerichtet und mit einer Schraubzwinde am Werkstisch befestigt, so daß sie sich bei den nachfolgenden Bohrungen nicht gegeneinander verdrehen können.



Vorbereitung für die Bohrungen zur Schraubverbindung Lagerrollenträger/Lagerrolle

Daraufhin bohrt man mit einem 4 mm Metallbohrer die vier Löcher für die M5x30-Maschinenschrauben von der Seite des Lagerrollenträgers her. Die Bohrungen werden 35 mm tief und so angebracht, dass die Bohrlöcher gleichweit von der Innenbohrung wie vom Außenrand des Epoxidharzkernes entfernt sind. Zur Orientierung ist dazu auf dem Lagerrollenträger auf der Bohrseite ein 50 mm- Ring angezeichnet. Nach der ersten Bohrung steckt man eine M4-Maschinenschraube in das Bohrloch, um ein Verdrehen der Lagerrolle bei

den nachfolgenden Bohrungen zu vermeiden.

Danach bohrt man die Löcher im Lagerrollenträger auf 5 mm auf. Mit dem gut eingeeilten M5 Gewindeschneider werden dann 20 mm tiefe Gewinde in die 4 mm- Bohrungen im faserverstärkten Epoxidharzkern angebracht. Die Lagerrollen werden am Lagerrollenträger mit den Edelstahlschrauben und Edelstahl-Unterlegscheiben montiert

Lagerringe

Aus dem Mittelteil einer Verbindungsmuffe für 50 mm PVC-Rohr werden mit der Gehrungssäge zwei Ringe von 4 mm Dicke, AD=57 mm, ID= 50 mm abgesägt, und mit dem Teppichmesser vorsichtig bearbeitet, bis keine Grate und Sägekanten mehr sicht- und fühlbar sind. Glätten kann man diese Teile auch durch vorsichtiges Schleifen auf flach auf dem Tisch aufgelegtes 400er

Nassschliffpapier. Die Lagerringe dienen als reibungsvermindernde „U-Scheiben“ und Abstandshalter zwischen dem Servoruderträger und den Lagerschalen im Gehäuse, sie sitzen auf den Lagerrollen. Konstruktionsmäßig wird 5 mm Abstand der beweglichen Servoruderträger-Teile von den innenliegenden feststehenden Teilen der Lagerung vorgesehen, so dass bei zwei 4er-PVC-Lagerringen ein Spiel von 1 mm in jede Richtung vorhanden ist.

Servohebel und Vorderlagerplatte

In den Servohebel (T3) und die Vorderlagerplatte (T2) werden die exakten Bohrpositionen für den 50 mm Kernbohrer sowie der gewünschte Bohrring von 50 mm Durchmesser angezeichnet. und mit einem 3 mm Holzbohrer möglichst senkrecht vorgebohrt. Falls im Kernbohrersatz kein 50 mm Kernbohrer vorhanden ist, muss man den Nächstkleineren wählen, und später das Loch mit einer Halbrundraspel aufweiten. Die Lagerrollen werden später mit Epoxidharz exakt und **demontierbar** eingepaßt, allerdings mit durchgesteckter Edelstahlachse, um ein Verkanten der Epoxidharz-Passung beim Aushärten zu vermeiden.

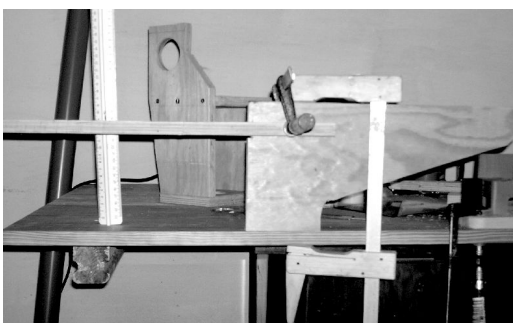
Ausrichtung und Vormontage Servoruderträger



Zunächst wird die Längsplatte T1 kontrolliert, ob die 100 mm lange Vorderfläche exakt im rechten Winkel zur Oberkante und zur Oberfläche steht. An dieser wird später flach die Vorderlagerplatte (T2) angeschraubt. Wenn diese Vorderfläche verkantet ist, gibt es kaum eine Möglichkeit, das Klemmen des Servolagers zu vermeiden.

Am effektivsten arbeitet man hier mit einer guten Gehrungssäge nach. Als Anlagekanten werden breite, flache Holzleisten in die Gehrungssäge mit eingespannt (siehe Abbildung links).

Wenn die Ober-, Vorder- und Achterkanten der Längsplatte in 90° zueinander stehen, wird der auch bereits mit einer möglichst exakt positionierten 50 mm-Bohrung versehene Servoarm (T3) angepaßt.



Dazu klemmt man die Längsplatte unter einer großen Schraubzwinde auf ihrer Vorderkante vertikal auf den Werkstisch, und setzt den Servohebel in die Nut ein. Der Servohebel wird mit einer kleineren Schraubzwinde gerade so fixiert, dass man ihn eben noch drehen kann. Mit einem Lineal wird kontrolliert, ob der Servohebel parallel zur Tischebene angebracht ist. Ist dies der Fall, so wird die Schraubzwinde angezogen, nochmal nachkontrolliert, und zwei Bohrungen für dünne Holzschrauben waagerecht durch den Servohebel gebohrt, mit denen er provisorisch an der Längsplatte befestigt wird.

Nun werden am Servohebel (T3) und an der Vorderlagerplatte (T2) die Lagerrollenhalter mit den Lagerrollen montiert: Einsetzen, mit einer Schraubzwinde festklemmen und die je vier Schraubenlöcher mit einem 3 mm Holzbohrer durchbohren, festschrauben.

Danach wird eine Edelstahlstange durchgesteckt, und die Vorderlagerplatte soweit auf der Längsplatte verschoben, bis die Edelstahlstange frei in den Lagerrollen drehen kann und parallel zur Oberkante der Längsplatte verläuft. In dieser Lage wird die Vorderlagerplatte mit Schraubzwingen fixiert, die Löcher für die Vormontageschrauben gebohrt und damit montiert. Dadurch werden alle

Toleranzen der bisherigen Fertigung ausgeglichen. Ist der Servoruderträger vormontiert, kann man an den Zusammenbau des Gehäuses gehen.

Maßstab: 1:5, Maße: mm

15 mm Sperrholz, wasserfest verleimt:

G1 : Grundplatte

G2 : Achterplatte

G3 : Deckel

G4 : Vorderes Servoruderlager

G5 : Vorderplatte

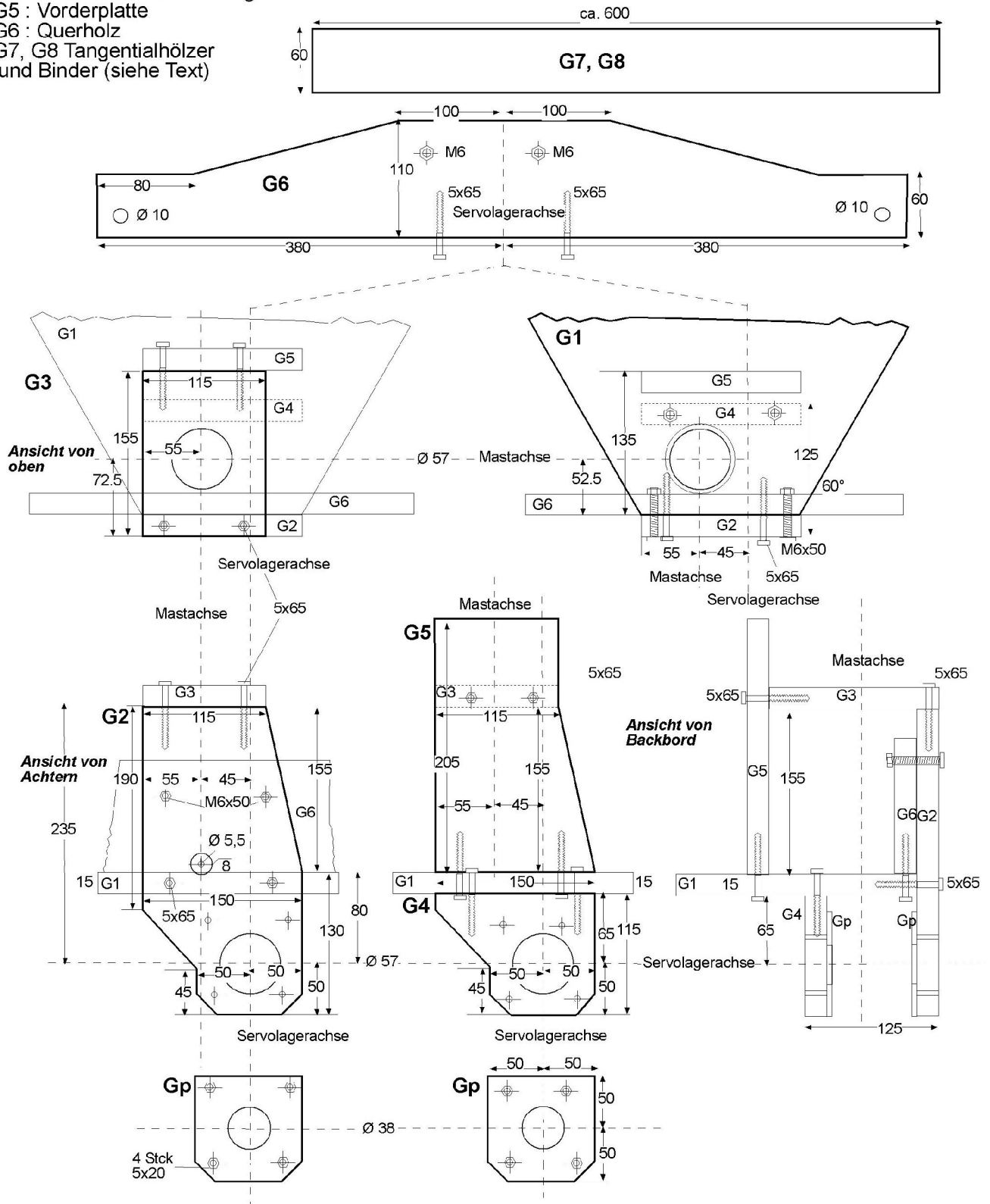
G6 : Querholz

G7, G8 Tangentialhölzer
und Binder (siehe Text)

5 mm Sperrholz, wasserfest verleimt:

Gp : Gegenplatte 1 und 2

GL : Lagerschalen PVC-Rohr AD 57 mm, 20 mm



Gehäusesektion

Grundplatte G1

Auf der Grundplatte werden die anderen Gehäuseteile angeschraubt. Gleichzeitig dient sie dazu, die gesamte Anlage am Spiegel zu befestigen. Sie fängt mit den Tangentialhölzern (G7,G8) die seitliche Belastung auf, die durch den Zug an den Steuerseilen zum Ruder entsteht (max. 80 – 100 kg). Es reicht, wenn die Außenkanten der Grundplatte einen Winkel von 20° zur Schiffsachse besitzen. Die Grundplatte wird nach unten zum Spiegel später mit zwei Holzträgern abgestützt, die etwa im 45°-Winkel vom Gehäuse schräg zum Heck verlaufen, und dort mit Edelstahlwinkeln befestigt werden. Sie tragen im Wesentlichen das Gewicht der Anlage von rund 15 kg. Da diese Teile erst beim Anbau der Anlage am Spiegel eingepaßt werden und ihre Maße von der Größe der Grundplatte abhängen, wird hier auf eine Wiedergabe einer Zeichnung verzichtet.

Bohrungen für Servolager und Masthalterungen

Als erstes werden die großen Bohrungen für die Servolagerschalen und die Masthalterungen in die Achterplatte (G2), die vordere Lagerplatte (G4), die Grundplatte (G1) und den Deckel (G2) möglichst exakt angezeichnet und positioniert (Kernbohrer 57 mm). Steht kein Bohrkranz 57 mm zur Verfügung, kann man auch den nächstgrößeren (60 mm) wählen, und in die Bohrung einen Streifen Kantenumleimer, Breite 20 mm einlegen. Günstig ist es, mit einem Holzbohrer 3 mm vorzubohren. Bohren Sie möglichst vertikal, damit später keine Spannung auf die PVC-Hülsen kommt, wenn korrigiert werden muss.



In die Bohrungen für die Lagerschalen in G2 und G4 werden je ein Stück PVC-Rohr AD 57 mm mit 20 mm Länge eingesetzt. Diese Rohrstücke sägt man mit der Gehrungssäge aus einer Verbindungsmuffe für PVC-Rohr des AD 50 mm.

Lagerschale aus PVC-Rohr ID 50 mm AD 57 mm eingepasst mit Kantenumleimer in eine 60 mm - Bohrung.

Wichtig ist, dass die beiden Lagerschalen nicht schief von der PVC-Verbindungs-muffe abgesägt sind und sauber entgratet werden. Die Lagerschalen müssen nur straff und verzugsfrei sitzen, sie brauchen nicht eingeklebt zu werden.

Sind die Lagerschalen in der Vorderlagerplatte (G4) und Achterplatte (G2) eingesetzt, so schraubt man

auf der Innenseite von G2 und G4 jeweils noch die Gegenplatten (Gp) an, die eine Bohrung von 38 mm Durchmesser besitzen. Dann beginnt man mit der Vormontage des Gehäuses.

Vormontage Gehäuse

An die Grundplatte (G1) wird zunächst die Achterplatte (G2) mit Schraubzwingen positioniert. Dazu klemmt man mit Schraubzwingen auf der Grundplatte ein Kantholz frontbündig fest, welches dann als Auflage für die Achterplatte dient. Die Ausrichtung der **linken** Kante des Achterplatte sollte exakt 90° vertikal zur Grundplatte betragen (Navigationsdreieck).

Die Achterplatte wird zunächst mit dünnen Holzschrauben montiert. Danach montiert man auf gleiche Weise die Vorderplatte (G5) und den Deckel (G3).

Damit fehlt nur noch die Vorderlagerplatte (G4) unter dem Gehäuse. Die Positionierung und Ausrichtung dieses Bauteils sollte sorgfältig erfolgen, damit das Servolager reibungsarm und klemmfrei arbeiten kann. Die wichtigste Voraussetzung ist eine sauber vertikal nachbearbeitete Oberkante des Bauteils G4. Prüfen Sie dieses, indem Sie die Vorderlagerplatte G4 mit einer Schraubzwinde und einem Kantholz unter die Grundplatte klemmen und den Winkel mit dem Navigationsdreieck kontrollieren.

Bevor die Befestigungslöcher für die vordere Lagerplatte (G4) gebohrt werden, müssen Sie kontrollieren, ob der Servoruderträger mit montierten Lagern spiel- und klemmfrei in den Lagern läuft. Der Abstand des Servoruderträgers nach innen zu den Platten des Gehäuses sollte am Lager zu beiden Seiten 4-5 mm betragen.

Korrigieren Sie die vordere Lagerplatte G4 solange, bis eine durch die Lagerrollen gesteckte Edelstahlachse klemmfrei läuft, und gleichzeitig der Servoruderträger nach beiden Seiten leicht drehbar ist. Dann werden die Befestigungslöcher für G4 gebohrt, und diese mit dünnen Holzschrauben vormontiert.



Servolager vor der Montage. Der Servolagerträger wird mit den Lagerrollen und den 4 mm Abstandsringen am Gehäuse montiert.

Nach erneuter Kontrolle, ob alles ohne zu klemmen läuft, kommt die Endmontage.

Endmontage Gehäuse

Bei Verwendung von Tangentialhölzern braucht man im oberen Teil des Gehäuses keine dicken Edelstahlschrauben, da dort dann keine großen Kräfte mehr auftreten. Mit den dicken 6x65 mm Sechskantkopf-Edelstahlschrauben brauchen nur der 20 mm-starke Servoruderträger sowie die vordere Lagerplatte (G4) verschraubt zu werden.

Zur zusätzlichen Stabilisierung kann man G4 auch noch mit einem Kiefern-Kantholz unter der Grundplatte verschrauben (30 x 30 mm).

Einpassung Lagerrollen am Servoruderträger

Wenn die Löcher für die Lagerrollen im Servoruderträger nicht exakt, sondern größer als erforderlich gebohrt wurden, so sollte der verbleibende Spalt jetzt mit Epoxidharz gefüllt werden. Dadurch erhöht man drastisch die Stabilität, weil eine Last senkrecht zur Servoachse dann nicht auf den Schrauben in den Lagerrollenhaltern liegt, sondern großflächig über die Lagerrollen ins Holz geleitet wird.

Die an den Lagerrollenhaltern angeschraubten Lagerrollen werden jeweils mit einem breiten Streifen aus einer dünnen Polyethylen (PE)-Tüte glatt und möglichst faltenfrei umwickelt. Um die Lagerrolle sollten dabei mindestens 2-3 Lagen kommen, die sich beim Herauslösen gegeneinander verschieben können. Die Folie wird mit Tesafilm fixiert. Sie überlappt am Fuß der Lagerrolle in ganzer Fläche auch den Lagerrollenhalter, sonst klebt dieser fest, und eine Demontage ist nicht mehr möglich. Die Vorderlagerplatte wird abgeschraubt, so dass man beide Lagerrollen gleichzeitig eingießen kann.

Sind die mit Folie geschützten Lagerrollen eingesetzt und verschraubt, so gießt man den Spalt zwischen Lagerrolle und Holz mit Epoxidharz aus. Mit einem schmalen Streifen Kunststoff oder Karton schiebt man das Harz in den Spalt und verdrängt die Luftblasen daraus.



Mit PE-Folie geschützte Lagerrollen / Lagerrollenhalter vor dem Ausgießen des Spaltes mit Epoxidharz.

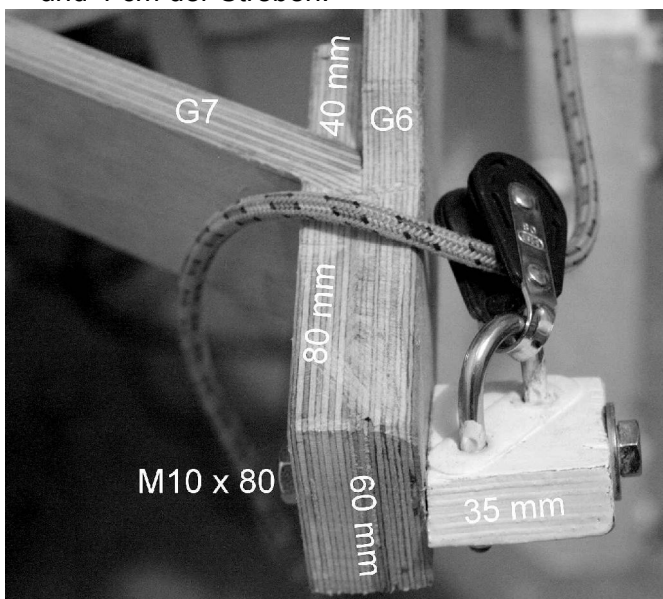
Ist das Harz nach etwa 4 Stunden fest, so kann man die Lagerrollenhalter vom Servoruderträger abschrauben, und die Lagerrollen vorsichtig an den Haltern herauslösen. Das Harz darf dazu jedoch nicht mehr so weich sein, dass es noch seine Form verändern kann. In diesem Zustand lassen sich die Gußgrate noch leicht mit dem Teppichmesser entfernen.

Querholz, Streben

Das Querholz G6 dient als Halterung für zwei kleine Blöcke (Rollen), die den seitlichen Zug der Leinen vom Servohebel nach vorne zum Cockpit umlenken. Das Querholz wird innen im Gehäuse stehend mit der Grundplatte G1 (zwei 5 x 65) und der Achterplatte (G2) verschraubt. Letztere Verschraubung: M6x50-Bolzen mit großen Unterlegscheiben und selbststoppenden Muttern.

Die Streben leiten die Kräfte von den Enden des Querholzes zu den Befestigungspunkten der Grundplatte am Spiegel, und verhindern jegliche Verwindung des Anlage. Dies ist absolut notwendig, wenn man aus Sperrholz fertigt, da sonst durch Haarrisse in der Lackierung Wasser ins Sperrholz dringt, und jenes innerhalb von zwei Jahren verrottet ist (siehe entspr. Fotos weiter unten...).

Ist das Querholz auf Grundplatte G1 und an der Achterplatte (G2) verschraubt, so fertigt man aus den Tangentialhölzern G7,G8 (15 x 60 x 600 mm) sogenannte Binder, um die Streben mit dem Querholz in ca 45° zu verkleben. Die Binder bestehen aus winkeltgerechten Abschnitten von ca 8 und 4 cm der Streben:



Zunächst klemmt man eine Strebe (G7,G8) mit einer Schraubzwinde auf die Grundplatte, so dass es das Querholz G6 in ca 80 mm Abstand von dessen Ende berührt, und dass es die Grundplatte auf ca 80 – 100 mm Länge überlappt. Dann misst man den Winkel zwischen Strebe- und Querholz, der sich dabei ergibt.

Mit der entsprechend eingestellten Gehrungssäge oder Stichsäge wird von jeder der Streben an einem Ende ein 40 mm langer Streifen und am anderen ein 80 mm langer Streifen abgeschnitten.

Der äußere Binder (80 mm) wird mit wasserfestem Holzleim endbündig aufgeklebt, und mit einer Schraubzwinde gesichert. Im gleichen Arbeitsgang wird die Strebe daneben

angesetzt und ebenfalls verklebt und mit Schraubzwingen auf die Grundplatte gezogen, sowie der innenliegende Binder aufklebt und mit einer Schraubzwinde angepresst. Eine lange Schraubzwinde sollte man über die Enden der Binder setzen, um diese dicht an die Strebe zu pressen.

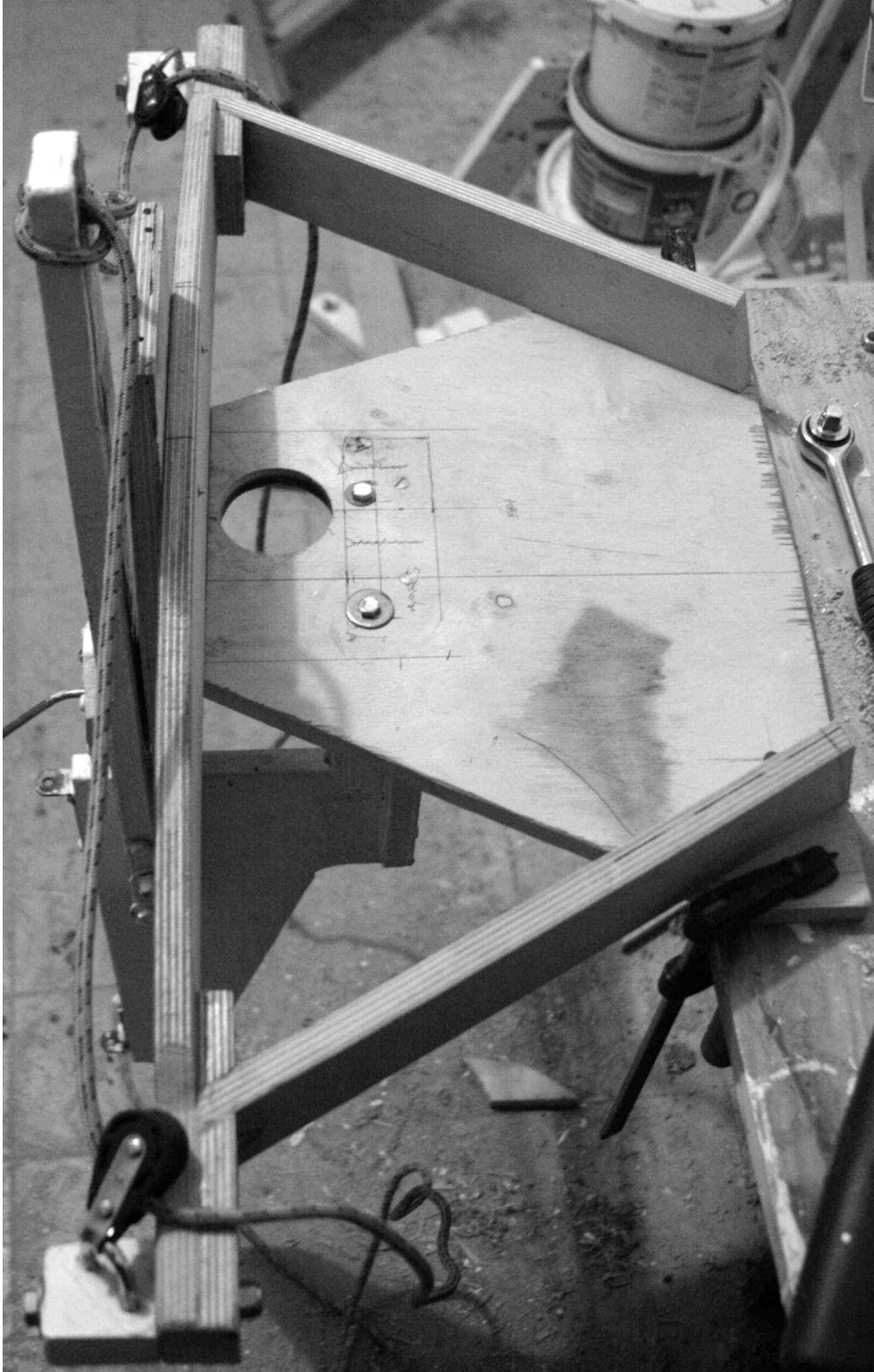
Erst nach dieser Verklebung erfolgt die Imprägnierung dieser Teile mit Schimmel- und feuchtigkeitsverhütender Holzschutzimprägnierung.



Ansicht Querholz G6 mit angeklebter Strebe G7 mit Bindern und der kugelgelagerten Umlenkrolle (Harken), die mit einem Bolzen M10 x 80 auf einem kleinen Sperrholzklotz (20 x 35 x 35) mit einem U-Bolzen M6 gehalten ist. Der U-Bolzen hält den kleinen Sperrholzklotz zusammen, so dass man den M10-Bolzen kräftig anziehen kann, ohne dass der Sperrholzklotz nachgibt.

Weglassen der Streben:

Es ist nicht deutlich genug zu betonen, dass die Dauerhaftigkeit der gesamten Anlage von den Streben abhängt. Fehlen diese, so geht bei jeder Ruderbewegung die gesamte Kraft nur über die Achterplatte und das Gehäuse in die Grundplatte und auf den Spiegel. Und das mit dem 40 cm-Hebel des Querholzes. Eine starke Verwindung der gesamten Anlage ist die Folge. In die Schraubenlöcher dringt an der Achterplatte Wasser ein. Meine erste Anlage folgte im wesentlichen dem Grundaufbau von Walt Murray, der diese Streben nicht vorsieht – dafür eine Epoxi-Versiegelung der Holzteile vorschlägt, was sich nach 2 Jahren und 3000 sm in Kombination fatal für das Sperrholz auswirkte.



Die Streben leiten die Steuerkräfte zu den Befestigungspunkten der Grundplatte am Spiegel und versteifen die Anlage so, dass sie verwindungsfrei arbeiten kann.

Das folgende Bild zeigt das originale Walt-Murray-Gehäusekonzept der neuen Anlage, alles scheint steif und funktioniert wunderbar:



Doch damit nach 2 Jahren und 3000 sm sehen die Sperrholzteile so aus:



Achterplatte: Durch die Schraubenlöcher oben ist Wasser eingedrungen, man kann das Holz mit dem Fingernagel wie einen Schwamm zerkrümeln. Da halten selbst die dicken M6 x 85 mm Edelstahlschrauben nichts mehr...

Querholz: Abgebrochen dicht bei der Verschraubung mit der Achterplatte. Die Verwindung hat die Epoxidschicht auf der Oberkante zerreißen lassen: Wasser drang durch diese Risse ein, konnte das Holz durchs Epoxi nicht mehr verlassen, Pilze machten sich über das Holz her, weil jenes nicht imprägniert...

Das Üble ist dabei, das man von Außen nichts weiter sieht, als ein paar HARRISSE, aber drinnen der unaufhaltsame Zerfall längst begonnen hat, und binnen einiger Monate von den eingedrungenen Pilzen abgeschlossen wird.

Es nützt also rein überhaupt nichts, in den Verbindungen: Servolagerplatten / Querholz / Gehäuse bis Grundplatte dicke, lange Edelstahlschrauben mit großer U-Scheibe mit viel Kraft festzuziehen.

Nein, stattdessen muss eine Holz-Anlage so aufgebaut sein, dass sie nicht arbeitet – sich nicht verwinden kann. Und das geht nur über die strukturelle Kraft der Form (flacher und breiter als das Querholz, Ableitung der auftretenden Kräfte in die Fläche). Keinesfalls über die der Schraubendicke oder der Holzdicke.

Ein ganz entscheidender Aspekt der Dauerhaftigkeit ist weiterhin das sorgfältige Imprägnieren aller Teile, besonders der Schraubenlöcher, mit Holzschutzmittel – und dann im weiteren die jährliche Pflege der Anlage. Welche Ölfarbe man für den Anstrich verwendet, ist nicht so entscheidend, sie sollte wetter- und seewasserfest sein. Aber: wo es blättert oder sich Risse bilden: Abschleifen, neu streichen. Jeder, der ein Holzboot sein Eigen nennt, kennt diese Prozeduren als normale Winterpflege...

Befestigung am Spiegel

Die Bereiche, in denen die 15 mm starke Grundplatte am Spiegel mit 10er-Bolzen befestigt wird, sollte unbedingt mit gleichstarkem Material auf ca 5 x 5 cm verstärkt werden (aufkleben). Denn genau dort ergibt sich wieder die Notwendigkeit, die Kraft der Bolzen in die Fläche des Holzes einzuleiten, und nicht nur punktuell über eine U-Scheibe:

Ansonsten hat man bald an dieser Stelle unter der U-Scheibe ein von 15 mm auf 13 mm komprimiertes Sperrholz, welches wegen eindringendem Wasser hier unweigerlich immer weicher und weicher wird.

Masthalterung

Für die Halterung eines 60 cm - PVC-Mastes hat sich eine Gehäusehöhe von etwa 12-15 cm bewährt.

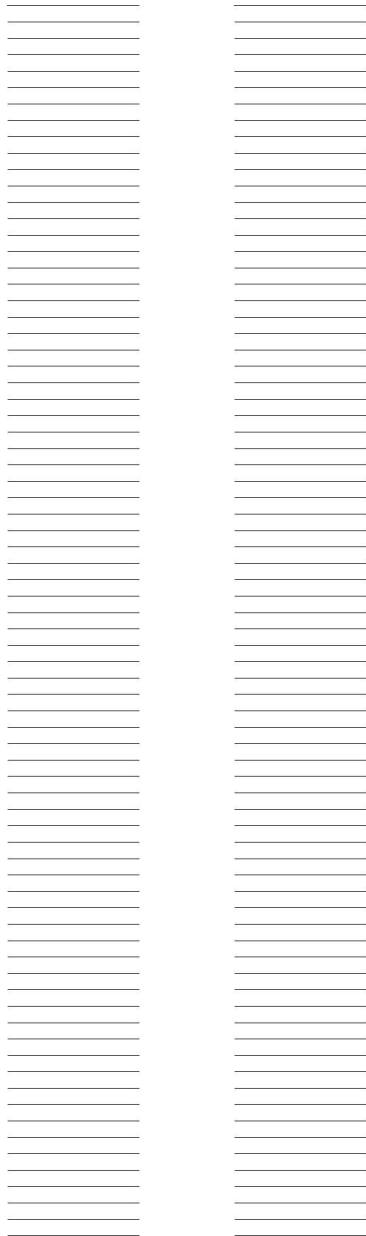


Wenn eine Reling die Montage einer zusätzlichen Halterung in größerer Höhe erlaubt, sollte man diese anbringen, besonders, wenn der Mast länger als 1 m ist.

In der Gehäusesektion wird der Mast drehbar gelagert. Dazu dienen die beiden Teile, die man aus einer mittig durchgesägten Verbindungsmuffe für PVC-Abwasserrohr erhält. Jedes der beiden Stücke hat eine Länge von ca 45 mm. Die beiden Teile werden in den Deckel (G3) und die Bodenplatte (G1) jeweils von oben eingesteckt. Sie werden erst ganz zum Schluß verklebt, wenn das Gehäuse seine Beschichtung bekommt, und alle Teile fertig sind. Dadurch hat man die Möglichkeit, Ungenauigkeiten der Gehäusefertigung auszugleichen.

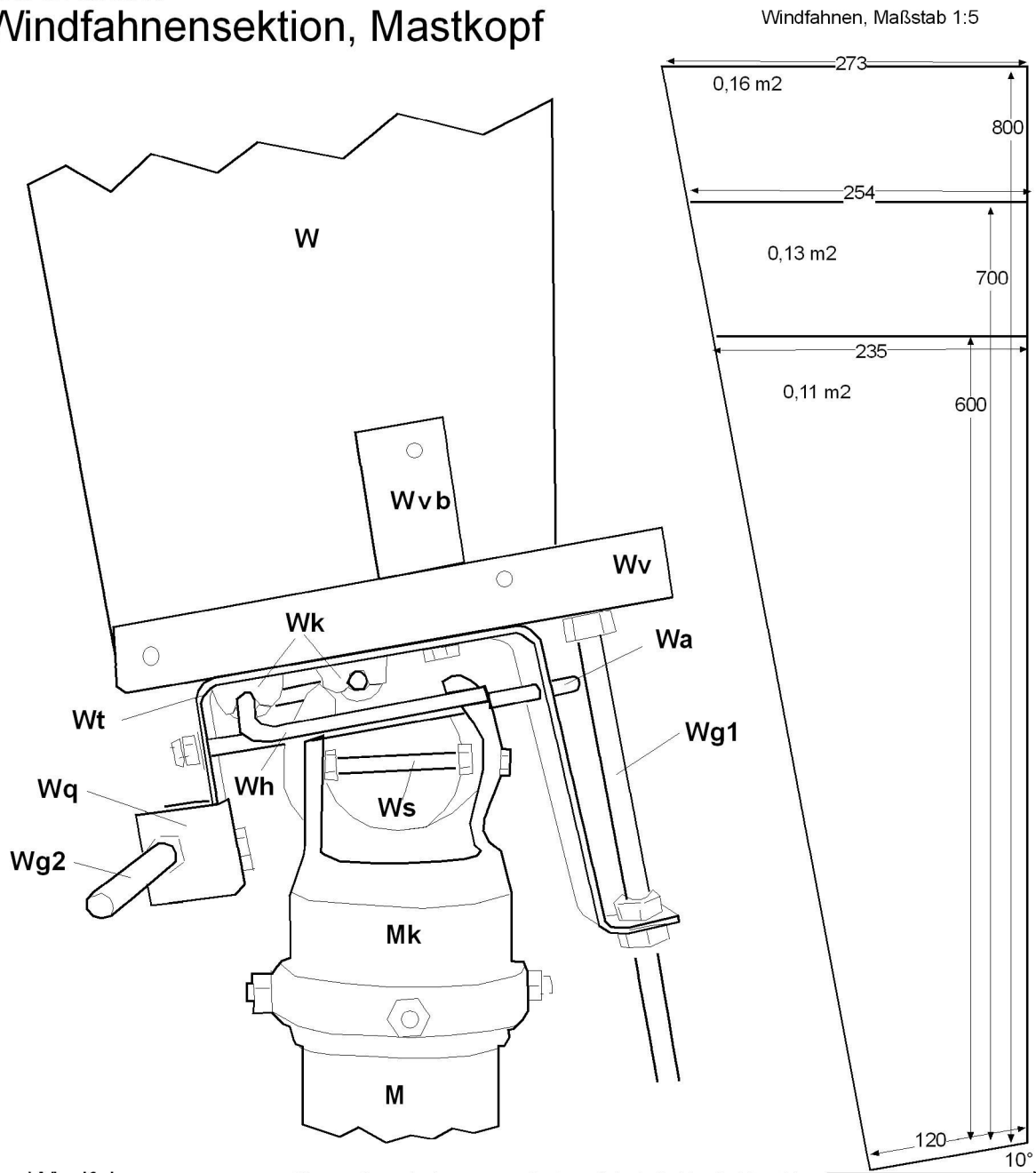
Der Haltering in der unteren Masthalterung wird mit vier Schrauben M4x12 fixiert und kann auf dem oberen Rand eine Zahnung tragen, die eine 5°-Rasten-Kursvorgabe erlaubt (Blick von unten).

In die untere Masthalterung wird ein 12 mm hoher Ring aus PVC-Rohr AD 50 mm verschraubt (4 Schrauben M4x12mm). Diesen Ring kann man auch mit einer flachen 5°-Zahnung (Vierkant-Schlüsselfeile) versehen, wenn man eine einrastende Kursvorgabe möchte. Die gleiche Zahnung wird dazu am unteren Ende des Mastes angebracht. Eine Schablone für die Zahnung erhält man, wenn man die Grafik (Folgeside) auf ein Stück Papier kopiert, die Streifen ausschneidet und außen mit Tesafilm um das PVC-Rohr klebt. Danach feilt man bei jedem Strich mit der Vierkant-Schlüsselfeile eine kleine Vertiefung.



Die Strichschablonen werden zur Anfertigung einer 5°-Zahnung mit Tesafilm um das untere Ende des Mastes und um den Haltering geklebt

Übersicht Windfahnnensektion, Mastkopf



- | | | |
|-----|---------------------------|--|
| W | : Windfahne | (5 mm Sperrholz, wasserfest verleimt, 0.11 - 0.16 m²) |
| Wv | : Windfahnenhalter | (Aluminium-U-Profil, 2 mm stark, 150 x 20 x 40 mm) |
| Wvb | : Haltebügel | (Edelstahl-U-Bügel, 1.5 mm dick, 25x16x60 mm
- nicht notwendig bei 40 mm Alu-Profil für Wv) |
| Wt | : Trägerbügel | (Edelstahl, 1.5 mm dick, 280x25 mm) |
| Wq | : Quergewicht-Halter | (Edelstahl-U-Bügel, 1.5 mm dick, 25x25x28 mm) |
| Wa | : Windfahnenachse | (Edelstahlstab, Ø 5 x 122, 2 Endgewinde M5x8) |
| Wh | : Horizontalhebel | (Edelstahl, Ø 5 x 200, ein Endgewinde M5x8) |
| Ws | : Stützzange | (Gewindestange M5x68) |
| Wg1 | : Balancegewichtstange | (Gewindestange M8, 400 mm) |
| Wg2 | : Quergewichtstange | (Gewindestange M6, 200 mm) |
| Wk | : 5 Drahtseilklemmen 5 mm | |
| Mk | : Mastkopf | (PVC-T-Stück für PVC-Rohr 50 mm AD) |
| M | : Mast | (PVC-Rohr AD 50 mm) |
| Wb | : Mastkopf-Stützbügel | (Edelstahl, 1.5 mm dick, 25 mm breit, 55 mm lang,
auf der Rückseite des Mastkopfes - in Abb nicht sichtbar) |

Windfahnensektion

Die Windfahnensektion liefert nur die Kursvorgabe. Die Kraft, die sie entwickelt, dient letztlich nur dazu, den Anstellwinkel des Servoruderträgers zu verändern. Das Servoruder selber wird dabei immer parallel zur Schiffsachse bleiben. Es stellt sich am Drehschaft selber wieder in Fahrtrichtung, wenn der Servoruderträger seitlich ausschwingt. Dabei entspricht dann einem bestimmten Anstellwinkel der Windfahne ein bestimmter Ausschlag des Servoruderträgers. Der Winddruck auf die Windfahne muss nur dazu reichen, die gesamte Reibung von Windfahnenlager, Schubstangengelenken, Drehschaft und Servoruderlager zu überwinden. Weil das Servoruder zu einem gewissen Teil vorbalanciert ist, und sich im turbulent von Rumpf und Ruder abströmenden Wasser befindet, wird es immer leicht „flattern“ und durch diese Bewegung helfen, die Reibung zu überwinden.

Für die Windfahnensektion gilt, dass sie umso besser arbeitet, je leichter und kleiner sie gebaut ist. Daher ist es auch vorteilhaft, ein leichteres Reitgewicht (500 – 800 g) für die Windfahne an einem längeren Hebel (40 cm) zu montieren, als ein schweres dicht zur Windfahnenachse. Optimal ist es, wenn die Windfahne gerade groß genug ist, um auch bei schwachwindigem Wetter auf Vorwindkurs noch genügend Kraft für die Bewegung der Mechanik zu entwickeln. Ein unter Weltumseglern bekannter Trick ist es, bei schwachwindigem Wetter ganz einfach eine leichte Plastiktüte mit den Henkeln oben an der Windfahne zu befestigen. Die Tüte hat an der unteren Ecke ein Loch, damit Spray und Regenwasser sich darin nicht ansammelt und die Balance verändert. Dieser „Windsack“ verhilft der Anlage auch bei stärkerem Wind zu schnellerer Reaktion auf Kursabweichungen.

Windfahne

Für die Fertigung der Windfahne gibt es viele Möglichkeiten: 5 mm Sperrholz, Sperrholzrahmen mit Tuchbespannung, Alu-Rahmen mit Tuchbespannung, GFK. Empfehlenswert ist die GFK-Fahne, sie hat neben der größten Kraftentwicklung das geringste Gewicht und die größte Haltbarkeit. Anfertigung der Sperrholzvariante: Die Umrisse werden auf das Sperrholz aufgezeichnet. Mit einem Teppichmesser erzielt man den saubersten Schnitt. Man fährt damit die Linien zunächst 2-3 mal unter leichtem Druck nach. Als Anlagekante wird eine flache Holzleiste verwendet. Wenn der Schnitt tief genug ist, kann man die Holzleiste beiseite legen und auch etwas mehr Druck ausüben. Nach 10-15 „Ritzungen“ ist das Sperrholz durch. Eine harte Unterlage verhindert, dass das Messer klemmt, zwei Schraubzwingen, dass das Werkstück beim Schneiden verrutscht und das Teppichmesser zu Verletzungen führt.

Die Löcher in der Windfahne für die Halterung am Windfahnenträger werden erst gebohrt, nachdem dieser gebaut ist, damit man die mit der Handbohrmaschine unvermeidlichen Toleranzen der Bohrlöcher in der Metall-Halterung ausgleichen kann und das Ganze nicht wacklig wird.

Sperrholz bügeln

Es ist etwas schwierig, eine 5 mm Sperrholzplatte zu bekommen, die nicht krumm oder in sich verwunden ist. Wenn man eine solche Platte als Windfahne unbehandelt einsetzt, so hat man statt einer Windfahne einen Propeller am Mast. Also muss dieses Material gelättet werden. Das macht man, wenn die Windfahne bereits ausgeschnitten ist. Das Werkstück wird 1 Stunde flach in heißes Wasser gelegt (Badewanne), und dabei belastet, z. Bsp. mit Gewichten aus einem Hantelsatz. Dann legt man ein Frottehandtuch auf eine Holzplatte (Werk Tisch), und bügelt das Holz darauf mit dem Bügeleisen (höchste Stufe), bis es glatt ist, und kaum noch Restfeuchte aufweist, die beim ungleichmäßigen Trocknen das Holz wieder verzieht. Nach dem Abkühlen und Austrocknen bleibt das Sperrholz in der gewünschten Form. Bis dahin wird ein weiteres Frottehandtuch aufgelegt und

von oben eine weitere Holzplatte aufgelegt und belastet. Das „Bügeln“ funktioniert nicht mit allen Verleimungsarten. Gegebenenfalls muss man, statt das Holz in Wasser zu legen, mit dem Dampfbügeleisen auf höchster Heizstufe arbeiten.

Verstärkungen

An der Basis wird die Windfahne durch etwa 12 cm breite Platten aus dem gleichen Material verstärkt. Diese werden mit wasserfestem Holzleim aufgeklebt. Wichtig bei dieser Verklebung ist, dass man das Werkstück kräftig presst, bis der Leim trocken ist. Da es etwas schwierig ist, die beiden Verstärkungen gleichzeitig gegen Verrutschen zu sichern, sollte die Verklebung der Teile nacheinander erfolgen. Zum Pressen wird ein Holzbrett aufgelegt, um den Druck der Schraubzwingen gleichmäßig zu verteilen. Das dünne Sperrholz hebt sich sonst neben den Schraubzwingen an.

Die Verstärkungsplatten werden zum oberen Ende der Windfahne flachgehobelt. Die Abschrägung kann 3 – 5 cm betragen. Die Kanten der Windfahne werden entweder mit dem Teppichmesser, mit einer Raspel oder dem Hobel halbrund geformt. Danach wird die Windfahne mit Polyurethan-Lack zwei mal lackiert. Als UV-Schutz kann man dem Lack, falls verfügbar, Aluminiumpulver beimischen. Einfacher ist es, weißen PU-Lack zu verwenden.

Windfahne für schwachen Wind

Um die Windfahne leichter zu machen, kann man mit dem Kernbohrer große Löcher ins Sperrholz schneiden, und diese später mit leichtem Spinnakertuch einseitig zukleben. Eine Alternative zum Löcherbohren ist: Das Innere der Windfahne bis auf einen 3 cm breiten Rahmen ausschneiden, und mit Spinnakertuch oder anderem leichten, stabilem verzugsfreiem Tuch (Kurzwarenladen) auskleben.

Das Tuch wird mit Epoxi- oder Sekundenkleber angeklebt. Wenn Sie hier Kontaktkleber (Pattex oder ähnliches) verwenden, zieht dieser beim Trocknen die Windfahne krumm. Es empfiehlt sich nicht, die Windfahne beidseitig zu bekleben, da sich sonst Regenwasser oder Spray zwischen den beiden Tuchlagen ansammeln kann, was die Balance der Windfahne stört. Es sollte zum Gebrauch bei mäßigem bis starkem Wind auch eine etwas kleinere angefertigt und mitgeführt werden, die ganz aus Sperrholz besteht (60-70 cm lang, obere Kantenlänge: 25 cm).

GFK-Windfahne

Für eine GFK-Windfahne verwendet man eine ebene Unterlage, die mit PE-Folie geschützt wird. Aus Glasgewebe um 250 g/m² werden die Umrisse der Leichtwindfahne (80 cm) mit einer kräftigen Schere ausgeschnitten – Handschuhe und Atemschutz wegen den Glasfasern nicht vergessen.

Zwei Lagen werden aufeinander laminiert (Epoxidharz: West-System), man braucht dafür ca. 40 g Harz. Die Faser-Überstände werden mit dem Teppichmesser und einer geraden Holzleiste als Führung nach ca 6 Stunden Aushärtung abgeschnitten. Dann geht es damit noch einfach. Man erhält man eine dünne, biegsame GFK-Platte, die man zunächst flach liegend und mit Gewichten belastet vollständig aushärten lässt (min 24 h).

Die dünne GFK-Platte biegt sich jetzt noch, am unteren Ende festgehalten, wie ein Stück Papier unter ihren eigenen Gewicht. Wenn man jetzt versuchen würde, diese Platte durch weitere GFK-auflagen ausreichend zu verstärken, würde eine Platte vom Gewicht eines dicken Aluminiumblechs resultieren.

Jetzt muss man die stabilisierende Kraft der Form nutzen: Spoiler wie bei Formel1-Wagen üblich an der Leekante haben zwei Funktionen: Mechanische Stabilisierung der Achterkante und gleichzeitig stark verbesserte Krafterzeugung aus dem Wind bei kleinen Auslenkungswinkeln zur Ansteuerung des Servoruders. Die Luftwirbel hinter den Spoilern machen dies möglich.

Spoiler anbringen:

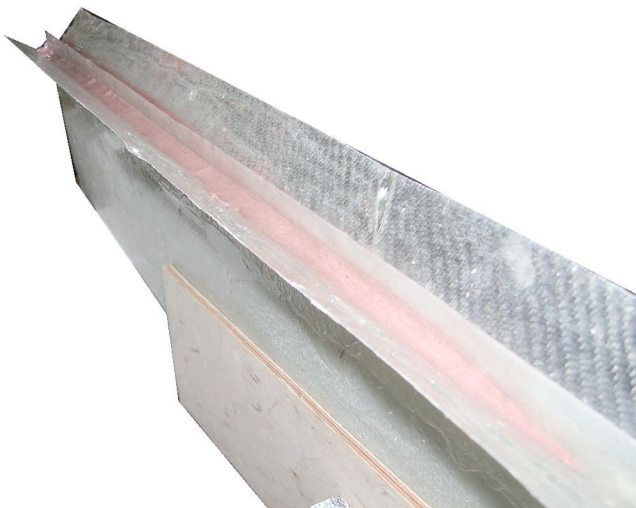
Man braucht einen dicken (10 cm Kantenlänge) rechtwinkligen Styroporklotz in Länge der Windfahne. In eine Kante desselben schneidet man mit dem Teppichmesser einen 1 cm tiefen Schnitt und steckt dann die Windfahne hinein. Das Styropor wird mit breitem Klebeband abgedeckt. Auf die so entstandene Form wird eine einzige Lage Glasfaser laminiert. Ein Streifen von 7 cm Länge reicht auf jeder Seite, auf der Windfahne mit 2 cm Überstand zum ankleben.



Die Abbildung zeigt das Ergebnis: Nach jeweils 6/12 Stunden Aushärtung wird das Styropor mit dem Teppichmesser abgetrennt, und das Klebeband innen von den Spoilern abgezogen.

Ebenfalls mit dem Teppichmesser werden die Faserüberstände der Spoiler abgeschnitten.

Danach spannt man das Werkstück zwischen zwei geraden Leisten in den Schraubstock, und füllt die Spalte zwischen Spoilern und Mittelplatte sparsam (max 30 g Harz) von der Basis der Windfahne her mit Epoxidharz auf, welches mit einem Niedrigdichtefüller versehen ist, aber dabei noch verlauffähig bleibt. Zur Oberkante der Windfahne hin wird die Hohlkehlenfüllung immer weniger: hier ist nicht mehr soviel Stabilisierung erforderlich, und das zusätzliche Gewicht würde nur stören.



So erhält man an der Achterkante der Windfahne eine starke, stabilisierende Hohlkehle, die mit Epoxidharz gefüllt ist.

Als nächsten Schritt schneidet man mit dem Teppichmesser vorsichtig den Überstand der Platte in der Mitte weg: diese Kante trägt nichts, und hat überflüssiges Gewicht.

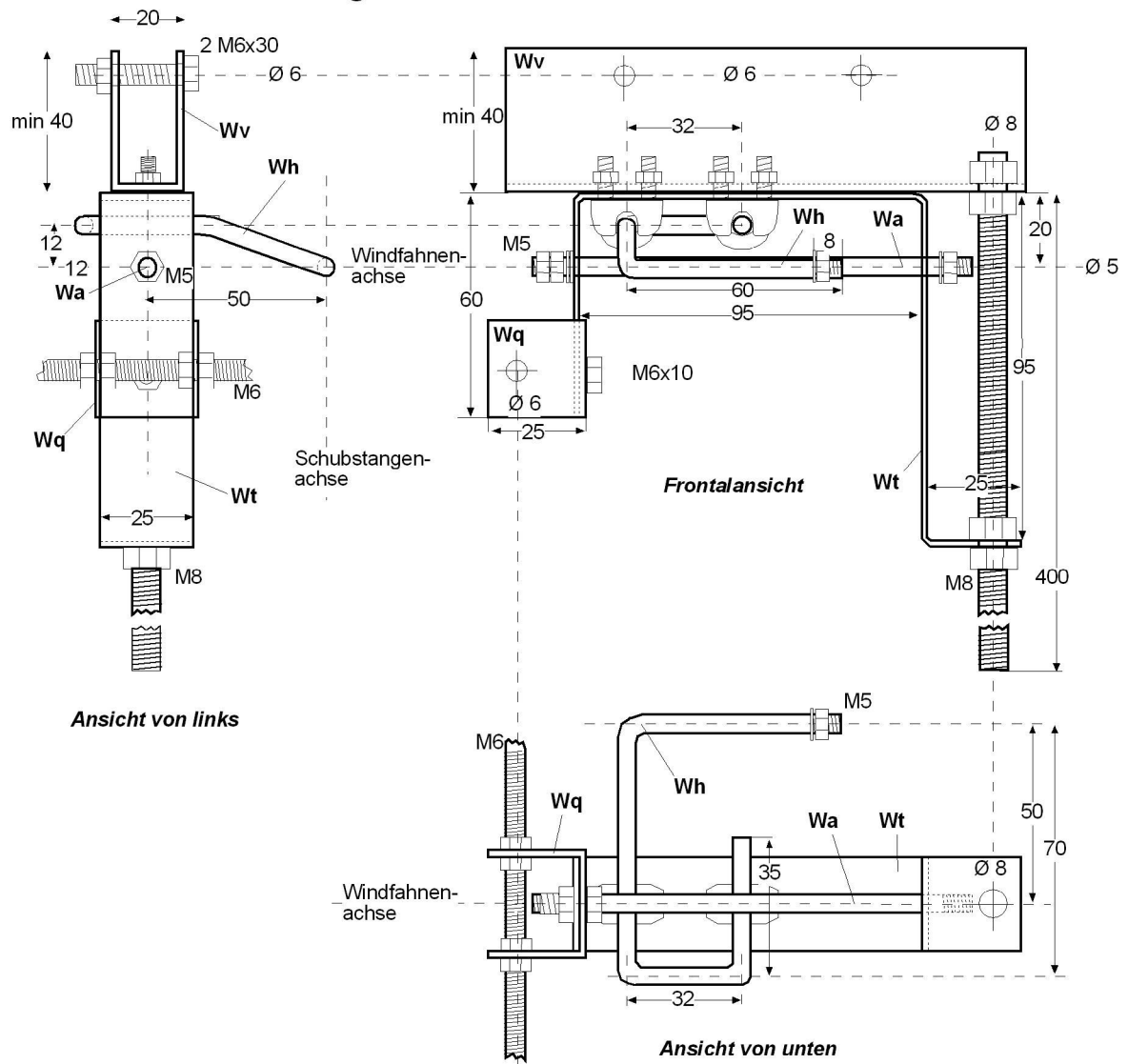
(VORSICHT: Die Kanten am GF-Kunststoff sind Messerscharf, Lederhandschuhe benutzen!)

Die Achterkante der Windfahne ist nach der Aushärtung steif, jedoch nicht die Mitte der Platte, diese biegt sich jetzt immer noch unter dem eigenen Gewicht. Ein Glasfaser-Streifen von 7cm Breite, je auf beiden Seiten über einen

Styropor-Halbrundstab laminiert, ergibt die gewünschte Steifigkeit im mittleren Teil der Windfahne.

Eine Verstärkung aus Sperrholz zu beiden Seiten im Bereich des Windfahnenträgers wird angebracht, so dass man die Windfahne in den Windfahnenträger einspannen kann.

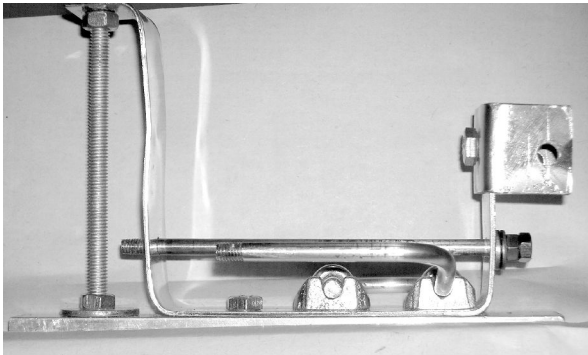
Windfahnenträger Maßstab 1:2



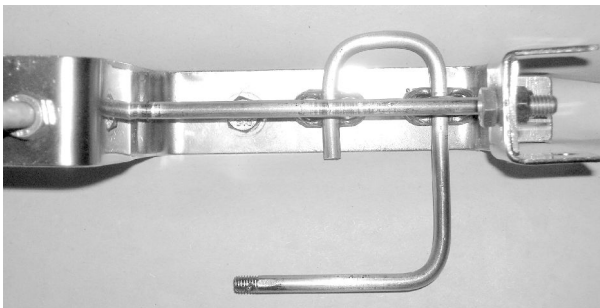
Windfahnenträger

Der Windfahnenträger muß mehrere Funktionen erfüllen. Er dient als Halterung für die Windfahne sowie deren Gegengewicht(e). Weiterhin ist am Windfahnenträger der obere Horizontalhebel befestigt, der die Bewegungen der Windfahne auf die Schubstange im Mast überträgt. Der Windfahnenträger wird auf einer Edelstahlachse beweglich gelagert.

Die Einzelteile des Windfahnenträgers sind: Ein Aluminium- oder Edelstahl-U-Profil (Tiefe: 40 – 50 mm, Breite: 20 mm, Länge: 150 mm) zur Aufnahme der Windfahne, ein Bügel aus 1,5 mm dickem und 20 – 25 mm breitem Edelstahlblech (alternativ: 3 mm dickes stranggepresstes Aluminium).



Seitenansicht des Windfahnenträgerbügels (Aluprofil für Windfahne nach unten eingespannt, links die Gewindestange fürs Balancegewicht)



Ansicht des Windfahnenträgerbügels von unten, Achse und oberer Horizontalbügel bereits montiert

Die Windfahne wird mit einer oder zwei M6 Maschinenschrauben mit Flügelmuttern im U-Profil eingespannt. Das Balancegewicht zur Windfahne sitzt auf einer 40 cm langen M8-Gewindestange, die im Bügel und im U-Profil mit Kontermuttern fixiert ist. Der obere Horizontalhebel aus 5 mm

Edelstahlstange wird mit zwei Drahtseilklemmen unter dem Bügel justierbar festgeschraubt. Die Muttern dieser Drahtseilklemmen verbinden gleichzeitig das U-Profil mit dem Bügel.

Tragen Sie beim Arbeiten mit Edelstahl Arbeitshandschuhe aus Leder, um Verletzungen zu vermeiden. Besonders wenn es sich bei dem Material für den Bügel um einen rohen, von einer größeren Platte abgeschnittenen Streifen handelt, sind die Kanten messerscharf. Diese sollten Sie vor dem Beginn der Bearbeitung als erstes mit einer Feile abrunden.

Bügel des Windfahnenträgers biegen

Sägen Sie den Blechstreifen erst auf die richtige Länge, wenn alle Abwinkelungen erfolgt sind. Sie brauchen den langen Hebel zum Biegen. Als Halterung wird der Schraubstock verwendet. Achten Sie auf exakt vertikale Ausrichtung vor jedem Biegen. Diese kontrollieren Sie mit einem Navigationsdreieck. Zunächst werden 6 cm Länge eingespannt, und das lange Ende auf 90° umgebogen. Dann misst man den erzielten Biegeradius, d.h. wie groß der Abstand des abgewinkelten Endes von den Backen des Schraubstocks ist. Bei den folgenden Biegungen kann man diesen Radius dann entsprechend berücksichtigen, und das lange Ende um genau diesen Betrag weiter aus dem Schraubstock heraus schauen lassen. So kommt man auch ohne spezielles Abkantwerkzeug auf beinahe millimetergenaue Maße (obwohl jene an dieser Stelle nicht unbedingt notwendig sind).

Den Biegeradius kann man noch vermindern, wenn man eine kräftige Schraubzwinde senkrecht auf die Ecke des vorgebogenen Werkstücks setzt, und mit Hilfe einer Rohrzange festzieht. Dieses ist besonders bei Verwendung von Edelstahl dicker als 1,5 mm notwendig. Nachdem die beiden weiteren 90°-Biegungen angebracht sind, wird das Blech abgesägt.

Biegen Sie gleich noch einen kleinen 25 * 28 * 25 mm U-Bügel. Dieser wird zur Halterung der Gewindestange für das Quer-Balancegewicht der Windfahne gebraucht. Montiert wird er an dem kurzen Ende des Trägerbügels.

Falls Sie nur ein flaches Alu-U-Profil zur Aufnahme der Windfahne zur Verfügung haben, können Sie zur Halterung der Windfahne einen 60 * 14 * 60 mm „U“ aus dem Edelstahl biegen, welches dann innen im Aluminium-U-Profil eingesetzt wird.

Achsenbohrungen, Balancegewicht-Halterung

Die Bohrungen für die Windfahnenachse müssen im Trägerbügel möglichst exakt positioniert werden, sowohl im Abstand von der Oberkante des Bügels, als auch seitlich, sonst hat die Windfahne „Schlagseite“. Mit der Schieblehre exakt ausgemessen, wird jeweils außen auf dem Blech die kreuzförmige Markierung für die Bohrung angebracht und das Werkstück horizontal in den Schraubstock eingespannt. Hilfreich für eine exakte Bohrung ist es, unter der Bohrstelle ein Stück Holz mit einzuspannen. Danach wird mit einem Körner (spitzer Stahlbolzen) präzise „angekörnt“, d.h. eine kleine Vertiefung ins Blech eingeschlagen, oder mit einem 2,5 mm- Bohrer eine kleine Vertiefung gebohrt.

Jetzt kommt nicht etwa ein dünner Vorbohrer zum Einsatz, sondern **gleich** ein neuer 5 mm Kobaltstahlbohrer (für Aluminium auch HSS-Bohrer). Wenn die Bohrung mit einem dünnen Bohrer vorgebohrt wurde, ist eine exakte Führung der Handbohrmaschine im dünnen, reißen Material nicht mehr möglich, und der Bohrer wandert unweigerlich nach der Seite aus, weil er immer auf einer Seite mehr abschält, als auf der Anderen. Seien Sie sich bei dieser Bohrung bewußt, dass von ihrer präzisen Positionierung und Ausführung ein guter Teil der spiel- und reibungsarmen Funktion der Anlage abhängt. Verwenden Sie die niedrigst mögliche Drehzahl der Bohrmaschine. Nach den ersten paar Umdrehungen kontrollieren Sie, ob der Bohrer exakt in der Körnung läuft. Tauchen Sie den Bohrer in Wasser, damit er nicht zu heiß wird, denn das verträgt der Kobaltstahl nicht. Vermeiden Sie dabei, mit der Spitze des Bohrers den Glasboden des Wassergefäßes zu berühren, davon wird er an der alles entscheidenden Stelle sehr schnell stumpf. Mit niedrigster Drehzahl werden so die Lagerbohrungen behutsam angebracht. Am Ende der Bohrungen, kurz bevor der Bohrer durch ist, wird er sich kurz „festbeißen“. Vermeiden Sie an dieser Stelle hohen Druck auf den Bohrer, sondern halten die Bohrmaschine stattdessen sehr fest in der Vertikalen, und geben kurze, kräftige Schübe, bis die letzten zehntel Millimeter gebohrt sind. Unbedingt ist dabei ein Verkanten der Maschine oder ein langer Nachlauf des Bohrers in der fertigen Bohrung zu vermeiden, da man dadurch ganz schnell eine ovale Bohrung zustande bringt, die weitaus mehr Reibung und Spiel verursacht, als eine gerade eben durchgebohrte.

Die Bohrung für die M8-Gewindestange des Reitgewichtes wird möglichst mittig in das kurze, umgebogene Stück am langen Ende des Bügels gebohrt. Danach wird das 6 mm- Loch für den Halter des Querbalancegewichtes am unteren Ende des kurzen Bügelendes gebohrt, dieser von innen mit eingespannt, und durchgebohrt. Der Halter wird mit einer Bohrung für die 6 mm Gewindestange des Querbalancegewichtes versehen.

Windfahnenachse

Die geringste Reibung bietet nach Kugellagern ein dünnes, exakt gebohrtes (siehe oben) Edelstahlblech auf einer glatten Edelstahllachse. Unter solcher Voraussetzung folgt die balancierte Windfahne alleine dem leisesten Hauch. Absolut abzuraten ist von der Verwendung einer Gewindestange. Diese wird immer ungleichmäßig laufen und durch die scharfkantigen Windungen

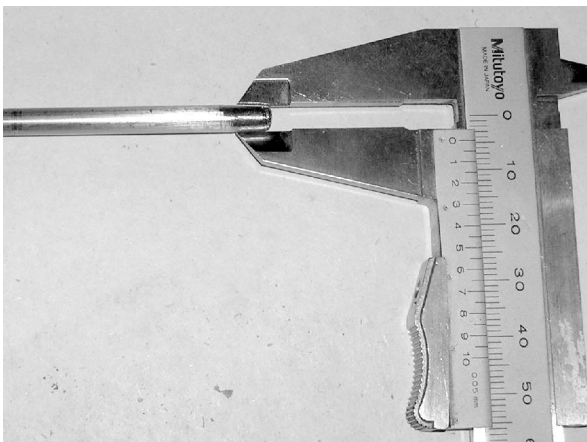
vergleichsweise hohe Reibung an ganz bestimmten Punkten aufweisen. Man könnte auch auf die Idee kommen, einfach zwei kürzere 5 mm – Bolzen als „gestückelte“ Achse zu verwenden. Auf dem verwendeten Mastkopf aus PVC sind diese jedoch kaum achsial auszurichten und zu fixieren. Die Windfahne würde daran bei Belastung in eine bevorzugte Position gedrückt, in der sie verbleibt – also sind diese Varianten im gegebenen Konstruktionsrahmen zu verwerfen.

Die Windfahnenachse muss so lang sein, dass nach dem Anbringen der 8 mm langen Stoppmutter-Gewinde auf den Achsenenden nach innen bis zum Windfahnenträger-Bügel noch jeweils 2-4 mm Platz für 2-3 kleine Edelstahl-Unterlegscheiben verbleibt. Demnach muss die Achse 22 mm länger sein als der Außenabstand der beiden Lagerbohrungen im Bügel des Windfahnenträgers. Ein Stück Edelstahlstab 5 mm Durchmesser wird auf diese Länge abgesägt.

Gewinde auf 5 mm Edelstahlstange schneiden

Für übliche Gewindeschneider M5 ist der Durchmesser der Edelstahlstange (5 mm) ein paar Zehntel Millimeter zu groß. Für den Anschnitt wird ein Bereich von ca. 3-4 mm Länge mit nur 4,6 mm Durchmesser gebraucht. Nur dann „greift“ der Gewindeschneider sicher und zieht sich dadurch folgsam weiter durch den 5 mm - Stahl. Diese konische Verjüngung lässt sich in 5 min. je Achsenende mit einer breiten, flachen Metallfeile anbringen. Die Feile wird etwa in 10° Winkel angesetzt, die Achse beim Feilen in der Hand langsam gedreht. Zwischendurch wird mit der Schiebelehre kontrolliert, ob 4,6 mm Anfangsdurchmesser erreicht sind und ob der Querschnitt in etwa rund ist.

Zum Gewindeschnitt wird die Achse vertikal mittig in den Schraubstock gespannt. Achten Sie darauf, dass Sie dabei mit den Klemmbacken die Lager-Bereiche bei den Achsen-Enden nicht erwischen, da diese sonst zerschrammen und Reibung verursachen. In der Mitte der Achse machen die Scharfen von den Schraubstock-Klemmbacken nichts aus.



Der Edelstahlstab 5 mm wird am Ende zum Gewindeschnitt auf 4,6 mm Durchmesser abgefeilt

Auf die Achse kommt vor dem Schnitt ein Tropfen Öl (haushaltsübliches Nähmaschinenöl), sonst besteht die Gefahr, dass der Gewindeschneider sich festfrißt und Zähne verliert. Möglichst waagrecht wird der Gewindeschneider im Halter angesetzt, und unter leichtem Druck aufgedreht. Bis er die ersten Windungen geschnitten hat, muss man sorgsam kontrollieren, dass er nicht aus der Horizontalen verkippt, danach zieht er sich von selber gerade auf die Stange. Falls der Beginn des Schnittes

Schwierigkeiten macht, sollte man das Achsenende mit der Feile noch etwas verjüngen. Das Gewinde wird nur soweit geschnitten, dass das Ende der Achse gerade an die Oberfläche des Gewindeschneiders kommt, das sind dann die gewünschten 8 mm. Vergessen Sie nicht, den Gewindeschneider vor dem zweiten Schnitt von den Spänen des Vorhergehenden zu reinigen, sonst ist das nächste Gewinde schnell vermurkst.

Nachbearbeitung Windfahnenachse

Nach dem Gewindeschnitt wird die Achse zunächst nicht mehr durch die präzisen Bohrungen im Bügel passen, weil der Gewindeschneider den Stahl auch gestaucht hat. Diese Verdickung befindet sich am Übergang zwischen Gewinde und glattem Teil der Achse. Man entfernt sie vorsichtig mit einer Schlüsselfeile. Die Aufräuhung durch die Schlüsselfeile befindet sich danach

eventuell auch im Bereich der Lagerung. Um sie zu glätten, verwendet man einen Streifen angefeuchtetes 600er Nassschliff-Papier und dreht die Achse zwischen Daumen und Zeigefinger an entsprechender Stelle. Nicht in Längsrichtung der Achse schleifen, das erhöht die Reibung.

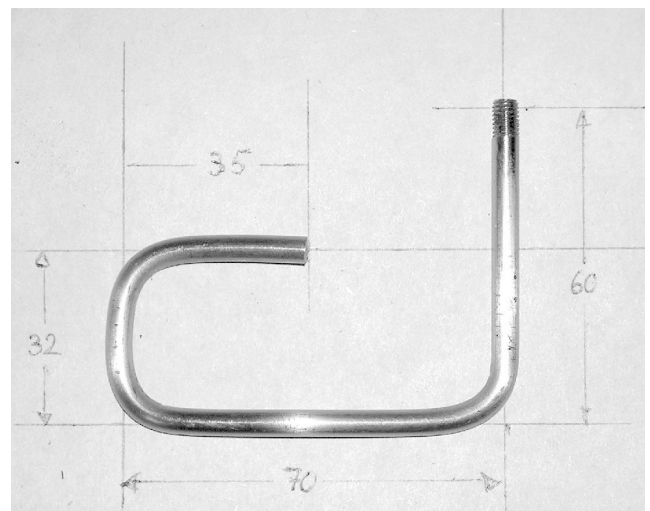
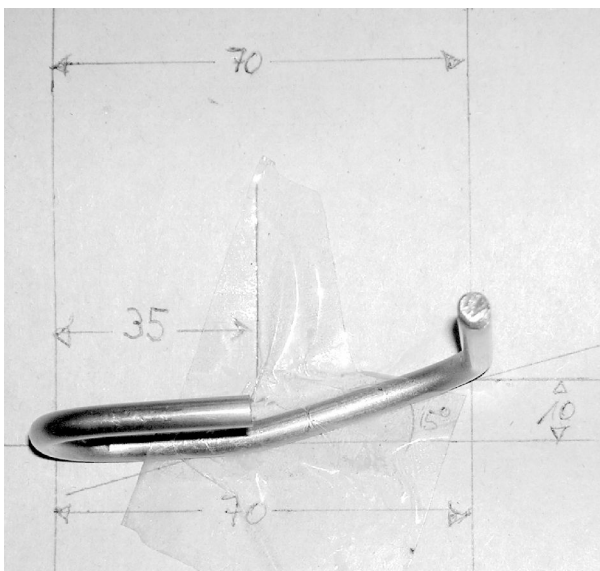
Oberer Horizontalhebel

Der obere Horizontalhebel(Wh) überträgt die Bewegungen der Windfahne auf die Schubstange, die im Mast hinunter bis zum Drehschaft reicht. Dieses Teil wird daher am beweglich gelagerten Windfahnenträger angebracht. Das Bauelement und seine einfache, aber wirkungsvolle Halterung gewährleisten, dass es sich auch mit Brachialgewalt nicht aus dem rechten Winkel zur Windfahne verdrehen lässt und andererseits, dass seine Hebellänge sowie die Parallelität zur Windfahnenachse fein justierbar sind: Mit zwei Drahtseilklemmen (5 mm). Diese fixieren gleichzeitig das U-Profil, in dem die Windfahne steckt, auf dem Bügel.

Der obere Horizontalhebel wird aus 5 mm Edelstahlstange angefertigt. Das Werkstück wird erst auf die richtige Länge abgesägt, wenn alle drei 90°-Biegungen angebracht sind. Zunächst werden 3 cm in den Schraubstock eingespannt.

Der Edelstahl sollte vertikal im Schraubstock stehen. Danach wird das lange Stück in die Waagerechte gebogen, und der Biegeradius gemessen. Der Biegeradius ist der Abstand der Stahlmitte von der Oberkante der Schraubstockbacken. Bei den folgenden Biegungen wird das Werkstück um den Biegeradius vermindert in den Schraubstock eingespannt. Auf diese Weise erhält man beinahe auf den Millimeter genaue Längen der abgewinkelten Stücke.

Für die zweite Abwinkelung spannt man das Werkstück am Rand des Schraubstocks ein. Es ist praktisch, wenn dessen Klemmbacken ca. 20 mm hoch sind, denn es wird ein Teilstück von ca. 30 mm Länge gebraucht. Mit der dritten Abwinkelung wird dann die Länge des oberen Horizontalhebels festgelegt. Dieses Teilstück wird auf eine Länge von 70 mm abgewinkelt. Damit hat man +/- 10 mm für eine Justage der Hebellänge. Auch für die dritte Abwinkelung spannt man das kurze Ende ein, auf dem sich bereits die beiden anderen Biegungen befinden: Das jetzt verbleibende lange Ende bildet die Achse für das Kardangelenk der Druckstange und sollte nicht mit Scharten verunziert werden.



Der obere Horizontalhebel

Nachdem die dritte 90°-Biegung erfolgt ist, kann der Hebel abgesägt werden. Das letzte Teilstück sollte 60 mm lang sein.

Bügelneigung

Entgegen der oben gezeigten Abbildung kann man, statt noch eine 15°-Biegung anzubringen, auch den langen Schenkel des Horizontalhebels um 10-15° biegen, so dass er nach Montage am Windfahnenträger waagrecht ist. Dies ergibt beim Mastkopf mit Neigeeinrichtung für den dabei eingesetzten Gelenkkopf maximale Winkelausnutzung:



Wichtig ist nur, dass der Ansatzpunkt für die Vertikalschubstange bei senkrechter Windfahne genau auf Höhe der Windfahnenachse liegt.

Fehler vermeiden:

Man sollte nicht versuchen, die Windfahnenachse am Mastkopf beweglich zu lagern, und den Windfahnenträger mit einer Schraubverbindung direkt an der Achse zu befestigen. Bei diesem fehlerhaften Konzept wäre dann der obere Horizontalhebel direkt auf der Achse festgeschraubt. Das Ergebnis ist ein unsicher auf der Achse befestigter Hebel, der dazu tendiert, sich schon bei einem leichten Wellenschlag auf das Servoruder auf der Achse zu verdrehen.

Mastkopf

Für den Mastkopf sind in dieser Anleitung drei verschiedene Pläne angegeben:

- PVC, 10° Neigungswinkel der Windfahnenachse
- PVC, 17° Neigungswinkel der Windfahnenachse
- Niro/Alu/Messing, 10°-30° variable Neigung der Windfahnenachse (EMPFOHLEN!)

Der PVC-Mastkopf trägt die Achse für die Windfahne, diese wird darin mit Drahtseilklemmen fixiert. Die Bohrungen für diese Achse exakt anzubringen ist die einzige etwas heikle Aufgabe für die Anfertigung aus einem T-Stück für Abwasserrohr in der PVC-Bauweise. Die Bohrung für die Achse muss nämlich so sein, dass die Achse spielfrei straff im Mastkopf fest sitzt. Der Mastkopf bildet auch die Widerlager für den auf 45° limitierten Ausschlag der Windfahne nach beiden Seiten.

Mit dem neigungsvariablen Mastkopf erhält man neben einer sehr stabilen Variante auch gleichzeitig die Möglichkeit, die Arbeitsweise der Anlage (static gain) den Wind- und Seegangsverhältnissen anzupassen:

Bei viel Welle und viel Wind: stärker neigen (25°), bei schwachwindigem Wetter (Raumschots, Spinnakerkurse) auf 10° neigen. Bei Mittelwind und auf halb-bis Amwindkursen: um 15-20° neigen.

Dringend empfehle ich den neigbaren Mastkopf, nicht nur weil damit die Optimierung und Anpassung der statischen Verstärkung (static gain) der Servoanlage an die Seegangs- und Windverhältnisse möglich ist, sondern auch weil das PVC eigentlich viel zu weich ist für eine 1,5 – 2 kg schwere Last von Trägerbügel und Windfahne plus Windfahnen-Gegengewicht.

PVC-Mastkopf 10° und 17°

Der 10° - PVC-Mastkopf hat zwar sehr gute Schwachwindeigenschaften in Verbindung mit einer großen, sehr leichten Windfahne, steuert jedoch bei Mittel- bis Starkwind etwas übernervös. Ausserdem empfiehlt es sich, den oberen Horizontalhebel (Wh) etwas zu kürzen, so dass man eine Seite des Mastkopfes nicht ausschneiden muss: Das macht den Mastkopf stabiler.

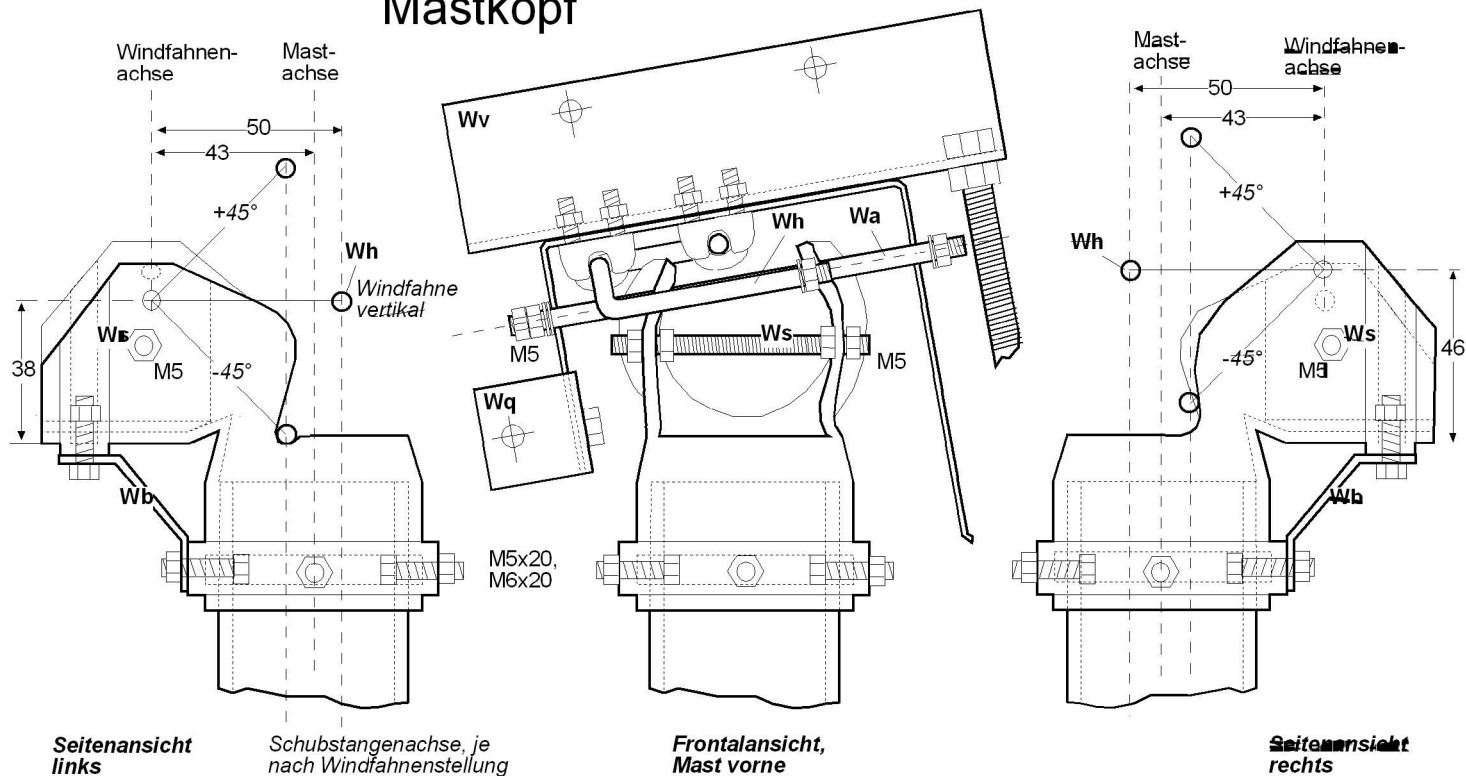
ACHTUNG: Die Zeichnung sowie die Fotos für den 10°-Mastkopf enthalten nicht die seitlichen Stabilisierungsbleche vom Mast zur Stützstange. Diese sind jedoch erforderlich (siehe Zeichnung PVC-Mastkopf 17°)

Es werden nur Fotos und Anfertigung für den 10° - PVC-Mastkopf wiedergegeben, die jedoch auf den 17°-PVC-Mastkopf übertragbar sind.

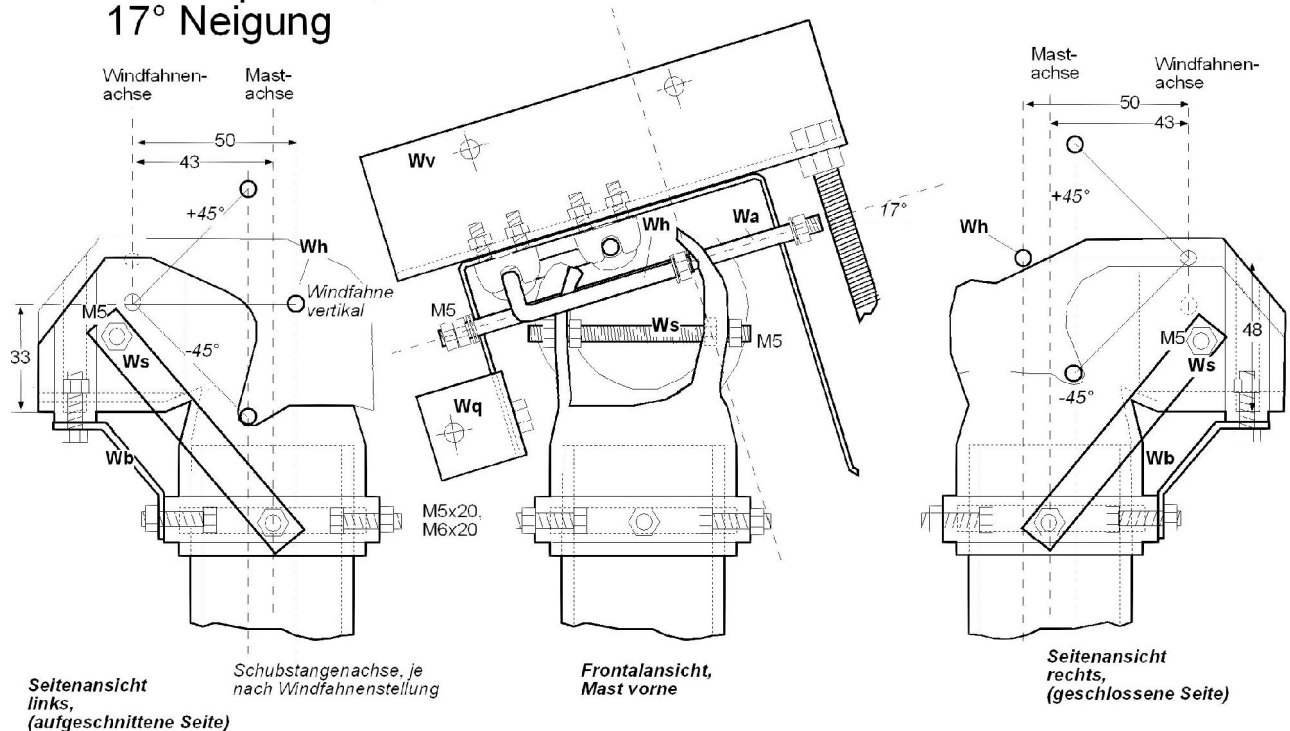
Man sollte darauf achten, dass der Stabilisierungsbügel (Wb) unter dem Mastkopf keinen Zug ausübt, sondern das Ende tatsächlich abstützt, also leicht nach oben drückt. Hier muss man gegebenenfalls mit Unterlegscheiben unterfüttern. Etwas unterhalb der Windfahnenachse wird mittig waagrecht in das T-Stück ein Stück M5 Gewindestange zur Stabilisierung der Flanken eingebaut. Diese Gewindestange gestattet später das Einklemmen der Achse, falls die Achsenbohrungen etwas zu ungenau und groß geworden sind.

Der 10° - Mastkopf wie hier gezeichnet, hat zwar sehr gute Schwachwindeigenschaften in Verbindung mit einer großen, sehr leichten Windfahne, steuert jedoch bei Mittel- bis Starkwind übernervös. Ausserdem empfiehlt es sich, den oberen Horizontalhebel (Wh) etwas zu kürzen, so dass man eine Seite des Mastkopfes nicht ausschneiden muss: Das macht den Mastkopf stabiler.

Mastkopf



Mastkopf PVC, 17° Neigung



Der Plan: „Mastkopf für 17° Neigung“ der Windfahnenachse enthält seitliche Stabilisierungsbleche. Man sollte darauf achten, dass der Stützbügel (Wb) unter dem Mastkopf keinen Zug ausübt, sondern das Ende tatsächlich abstützt, also leicht nach oben drückt. Hier muss man gegebenenfalls mit Unterlegscheiben unterfüttern. Bei gekürztem oberem Horizontalhebel kann man eine Seite des PVC-T-Stücks zur Stabilisierung stehen lassen.

Stabilisierungsbügel

Das erste, was für den Mastkopf angefertigt wird, ist ein Stabilisierungsbügel. Dieser hat die Funktion, den Mastkopf zu versteifen, denn ein großer Teil des T-Stücks wird ausgeschnitten. Er stützt, ansetzend beim Mastanschluß, den verdickten Zweig des T-Stücks, in dem später die Windfahnenachse sitzt. Der Bügel wird aus dem gleichen Material wie der Windfahnen-Trägerbügel gefertigt. Das Werkstück wird erst nach Anbringen der beiden 45°-Abwinkelungen abgesägt. Die Abwinkelungen werden so angebracht, dass der Stabilisierungsbügel spannungsfrei an den dicken Stellen, in denen normalerweise die Dichtungsgummis des T-Stücks sitzen, angeschraubt werden kann. Er sollte keinesfalls das Ende des T-Stückes auf Zug bringen, sonst reißt es bald an den Ausschnitten ein.



Mastkopf mit Stabilsierungsbügel

Ist der Bügel abgesägt, so bohrt man mit einem 5 mm Kobaltstahlbohrer (für Aluminium auch HSS) die beiden Bohrungen für die M5 Maschinenschrauben in das Blech. Danach wird der Bügel mit Klebeband in der Lage am T-Stück befestigt, in der er später montiert werden soll. Mit einem 5er - Holzbohrer bohrt man zunächst ein Schraubenloch für den Stabilisierungsbügel in das T-Stück, wobei das Blech als Führung für den Bohrer dient. Nachdem man den Bügel an dieser Stelle mit einer M5 Maschinenschraube provisorisch befestigt hat, kann das andere Loch gebohrt werden.

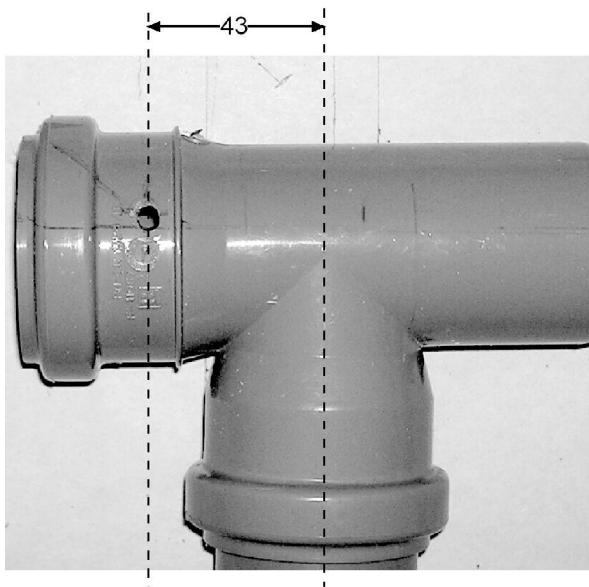
Unterfütterung und Klemmring

Da die Verschraubung des Stabilisierungsbügels am Mastkopf kräftig festgezogen wird, muss man das PVC-Rohr an den Montagestellen innen unterfüttern. Das macht man mit einem 8 mm breiten Ring aus PVC, den man mit der Gehrungssäge aus einer PVC-Verbindungs-muffe sägt. Um den Ring in die Nut einlegen zu können, muss man ihn an einer Stelle mit einer kleinen Bügelsäge durchsägen. Dann lässt er sich etwas einrollen und einpassen.

In den dickeren T-Zweig, der später die Achse trägt, fügt man außer der Unterfütterung für die Schraube des Stabilisierungsbügels noch ein Stück PVC-Rohr mit 50 mm Außendurchmesser als Klemmring für die Achse ein (Material: Mastrohr). Dieses wird zunächst am Ende mit dem Teppichmesser außen konisch abgeschragt, dass es so weit wie möglich in das T-Stück passt. Nach dem Einpassen wird eine Markierung angebracht und dann der Klemmring ebenfalls mit der Gehrungssäge abgeschnitten.

Achsenbohrungen

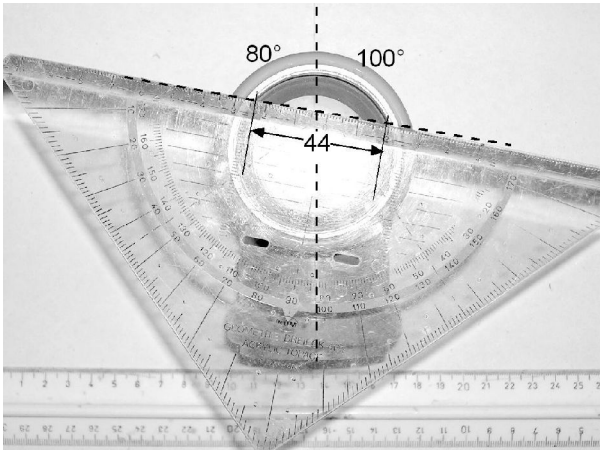
Der Abstand vom Mastzentrum zu den Bohrungen für die Windfahnenachse wird durch den Platzbedarf des oberen Horizontalhebels sowie der Schubstange vorgegeben. Der obere Horizontalhebel (wirksame Hebellänge: 50 mm) muss, wenn er waagrecht steht, 12 mm Platz zur Innenseite des Mastes lassen, damit die Schubstange in dieser Lage nicht innen den Mast berührt. Dazu muss die Windfahnenachse vom Mastzentrum 43 mm Abstand haben. So führt der Horizontalhebel die Schubstange dann auch bei den 45°-Maximalauslenkungen der Windfahne nicht zu dicht an die gegenüberliegenden Seite im Mast.



Ringförmig wird auf dem dicken Ast des T-Stücks der Abstand für die Achsenbohrungen angezeichnet

Man trägt den Abstand 43 mm vom Zentrum des Mastes auf den dickeren Ast des T-Stücks ringförmig ab, dies auf beiden Seiten des T-Stücks. Dann wird das T-Stück mit dem dünnen T-Ende auf ein Stück Papier gestellt, auf dem man eine gerade vertikale Linie gezogen hat.

Mit einem Navigationsdreieck peilt man über die vertikale Linie, bis die Neigung der oberen Kante 10° von links oben nach rechts unten aufweist. Dann verschiebt man das Dreieck, bis die Strecke auf der Oberkante des Dreiecks im Inneren des Rohrs etwa 44 mm lang ist. Auf den Rand des T-Stücks trägt man die 10°-Bohrungsmarkierung ab.



Abtragen der Höhe der Bohrungen für die Windfahnenachse auf dem dicken Ast des T-Stücks

Diese Markierungen werden außen verlängert bis zur ringförmigen 45 mm Mastabstand-Markierung, die Kreuzungen der Linien sind die Bohrpunkte. Verwechseln Sie hier nicht die Neigung von links oben nach rechts unten, mit dem Dreieck auf dem dicken Ende des T-Stücks und dem Mastanschluß zum unteren Seitenrand, denn sonst steuert die Anlage seitenverkehrt und Sie müssen die Steuerleinen über Kreuz zur Pinne führen (Oder den Mastkopf neu bauen).

Da man nur schwierig mit dem erforderlichen Winkel in das PVC-Rohr bohren kann, wird mit einem kleinen (3 mm) Holzbohrer zunächst achsialsymmetrisch vorgebohrt, und dann mit einem 4er und schließlich vorsichtig mit einem 5er Bohrer im richtigen Winkel nachgebohrt.



Vorsichtiges Aufbohren der 3 mm - Vorbohrung im Mastkopf mit einem 5 mm-Bohrer im richtigen Winkel

Im weichen Material ist eine Korrektur während des Bohrens leicht möglich, und eine Abweichung vom richtigen Winkel um $\pm 3^\circ$ ist absolut tolerabel. Sie sollten allerdings darauf achten, dass beide Bohrungen auf dem gleichen Kreis um das PVC-Rohr sitzen, also den gleichen Abstand von der Mastachse aufweisen.

Stützstangenbohrungen , Stützstange

Die Bohrung für die M5 Stütz-Gewindestange wird 11 mm unterhalb der unteren Achsenbohrung angebracht. Sie können hier gleich einen 5er Bohrer verwenden, und das T-Stück waagrecht mittig durchbohren. Die Stützstange, ein Stück M5 Gewindestange 70 mm lang, wird mit je zwei Muttern beidseitig spannungsfrei handfest verschraubt und mit der Metallsäge abgelängt.

Aufschneiden Mastkopf

Das T-Stück wird jetzt mit einer Bügelsäge so aufgeschnitten, dass die Montage des Windfahnenträgers möglich ist. Lassen Sie zur Vorsicht eher etwas mehr Material stehen, und passen Sie nach und nach die Kanten mit dem Teppichmesser oder einem kleinen Metallsägeblatt so an, wie benötigt.

Endbearbeitung, Montage

Wenn die Teile des Windfahnenträgers (Windfahne, U-Profil, Trägerbügel, Achse, oberer Horizontalhebel) fertig sind und die Vorfertigung des Mastkopfes erledigt ist, können die letzten Anpassungen und Bohrungen ausgeführt werden.

Montage Windfahnenträger

Zunächst wird die Montageposition des Horizontalhebels festgelegt. Dazu steckt man die Achse der Windfahne durch den Windfahnen-Trägerbügel und den Mastkopf. Auf das untere Ende der Achse werden zwei Edelstahl-Unterlegscheiben und eine Stoppmutter montiert. Jetzt wird die Achse im Mastkopf verschoben, bis man den Horizontalhebel so unter den Trägerbügel positionieren kann, dass der obere Rand des aufgeschnittenen Mastkopfes über dem Achsenlager eben mittig zwischen die Schenkel des Horizontalhebels kommt. In dieser Position klebt man den Horizontalhebel mit Klebeband fest, und entfernt die Achse. Dann nimmt man die zwei 5er Wantenklemmen zur Befestigung des Horizontalhebels zur Hand und zeichnet die Bohrpositionen für deren Löcher unter dem Trägerbügel ein. Die vier 5 mm - Bohrlöcher sollten mittig im Trägerbügel sitzen.

Sind die vier Löcher im Trägerbügel gebohrt, nimmt man das U-Profil (Halterung der Windfahne), spannt es unter dem Trägerbügel im Schraubstock ein und bohrt zunächst nur ein Loch für die Drahtseilklemmen durch. Mit einer M5 -Schraube werden die beiden Teile provisorisch befestigt, ausgerichtet, und dann die restlichen drei Löcher für die Drahtseilklemmen gebohrt. Man verwendet die Löcher im Trägerbügel hierbei als Führung für die Bohrungen im Alu-Profil.

Danach wird die Reitgewicht-Gewindestange in den Bügel eingesteckt, die erforderliche Bohrmarkierung auf dem U-Profil angebracht, und mit einem 6er Bohrer das Loch für die Gewindestange im U-Profil gebohrt. Der Windfahnenträger wird jetzt ohne Windfahne und Reitgewicht zusammengebaut. Zunächst kontrolliert man die Ausrichtung und Länge des Horizontalhebels, und justiert diesen mit Hilfe der Drahtseilklemmen so, dass die Achse für das Kardangeln 50 mm von der Windfahnenachse entfernt zu dieser exakt parallel verläuft. Es schadet auch nicht, wenn der Horizontalhebel durch eine spätere Nach-Justage 53 oder nur 47 mm Länge bekommt, wichtig ist nur, dass das Kardangeln und die Schubstange ohne Berührung der Mastinnenwand auf allen Kursen zum Wind arbeiten können.

Anpassung Mastkopf

Jetzt wird der vormontierte Windfahnenträger mit der Achse am Mastkopf montiert. Im folgenden Arbeitsgang werden die Kanten des Mastkopfes soweit zurückgeschnitten (kleine Bügelsäge oder einzelnes Sägeblatt mit Lappen umwickelt verwenden), dass der Windfahnenträger auf seiner Achse nach beiden Seiten um 45° beweglich ist, jedoch nicht weiter. Dann werden die Kanten mit dem Teppichmesser gebrochen und geglättet.

Anpassung und Montage Windfahne

Die Windfahne wird mit Aussparungen für die Schrauben und Muttern der Drahtseilklemmen versehen. Um einen „Abdruck“ für die Aussparungen auf der Basis der Windfahne zu bekommen, setzt man auf jede Schraube des Windfahnenträgers einen Tropfen Holzleim, und setzt die Windfahne ein.

Passt die Windfahne mit den Aussparungen ins U-Profil, nimmt man sie aus der Halterung und bohrt durch das U-Profil des Windfahnenträgers zwei Löcher mit 6 mm Durchmesser. Die Windfahne wird wieder eingesteckt, das gesamte Teil vertikal in den Schraubstock eingespannt

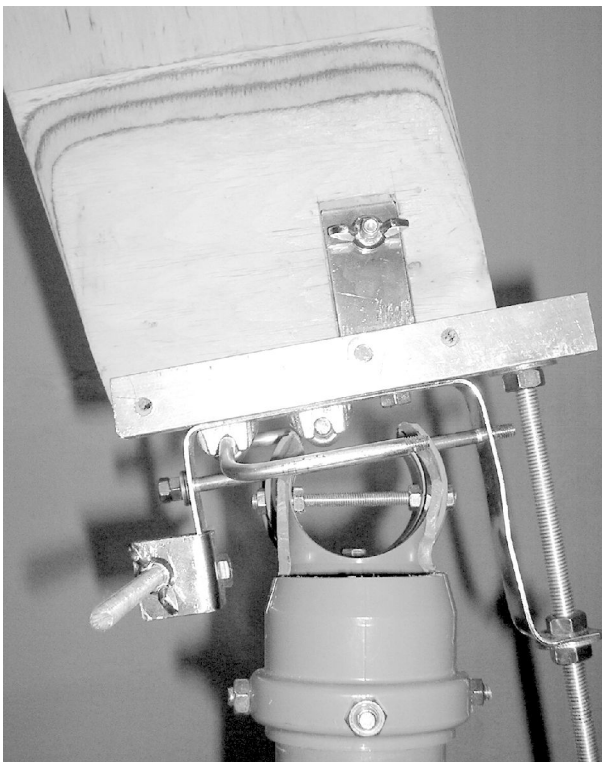
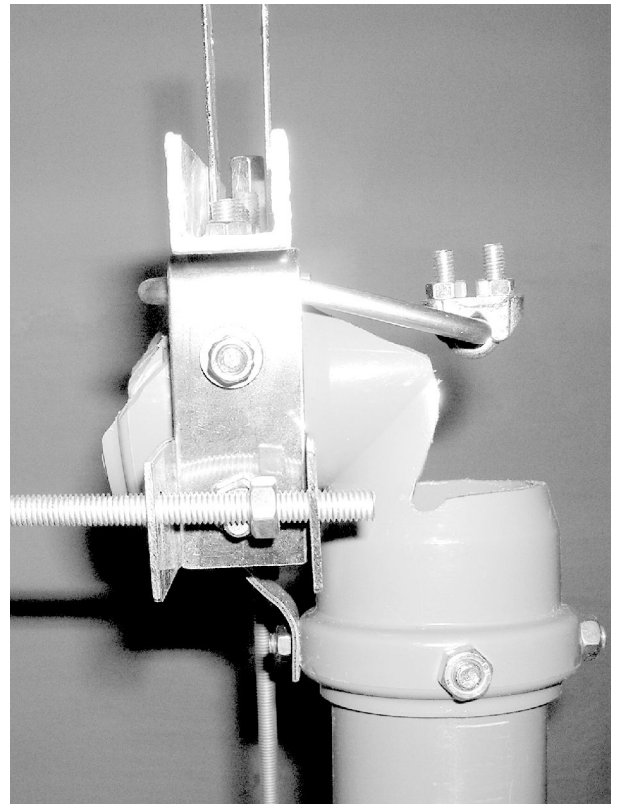
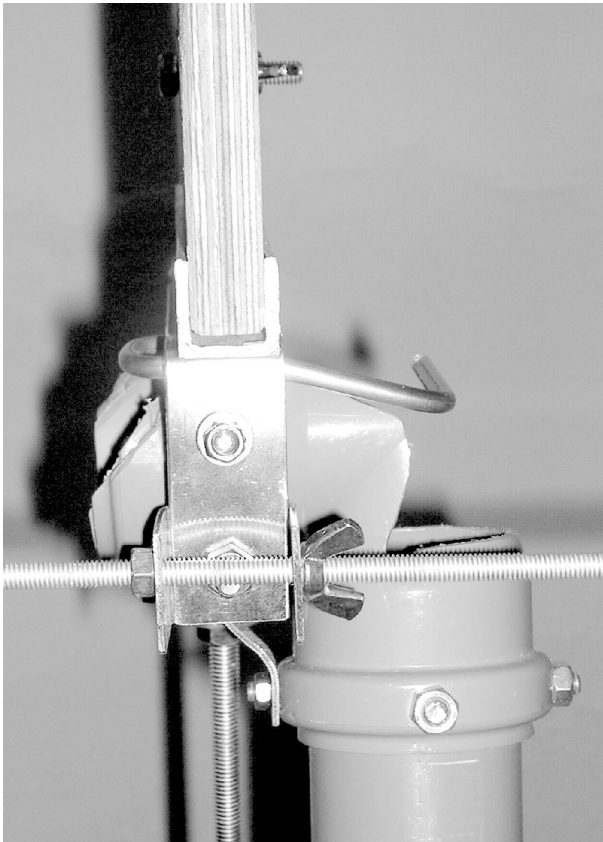
und zunächst ein Loch durch die Windfahne gebohrt, festgeschraubt und dann das Nächste durchgebohrt.

Windfahnenadapter Adapter aus Sperrholz

Wenn man Windfahnen einsetzen will, die nur aus 5 mm Sperrholz ohne aufgeklebte Verstärkungen gefertigt sind, so bietet sich der Bau eines „Adapters“ an. Dazu schneidet man einen Streifen 5 mm Sperrholz 20x120 mm zu, sowie zwei Platten 120x90 mm. Die drei Teile werden so mit wasserfestem Holzleim im Schraubstock verklebt, dass sie eine gemeinsame Basis auf der 120 mm-Kante haben, der Streifen zwischen den beiden Platten. Dieses Teil wird dann an den Windfahnenträger angepasst, wie oben beschrieben. Der Adapter bekommt zwei Bohrungen für die Halterung der Windfahne.

Fotos für den montierten Windfahnenträger sind im Folgenden zu finden (nur PVC-Mastkopf 10°):





Mastkopf mit variabler Neigung

Aufgrund der Erfahrungen mit der achsenneigbaren Variante empfehle ich dringend, den neigbaren Mastkopf zu realisieren - zu Ungunsten einer feststehenden Windfahnenachse mit PVC-Mastkopf.

Jedes Schiff reagiert im Seegang anders. Diese Binsenweisheit führt dazu, dass selbst mit vielen kommerziellen Anlagen nicht jeder Eigentümer zufrieden ist. Dies nicht etwa, weil die Anlage schlecht arbeitet oder schlecht gewartet ist, nein, vielmehr fehlen Optimierungsmöglichkeiten: Zur Anpassung an das Schiff (Voreinstellungen), und unterwegs an Seegangs- und Windbedingungen (Trimm).

Ein wichtiger Parameter für das Steuerverhalten einer Servo-Windselbststeueranlage ist die Neigung der Windfahne gegenüber der Horizontalen. Wäre die Achse der Windfahne genau horizontal, so würde eine sehr geringe Abweichung vom Kurs bereits den vollen Windfahnenausschlag verursachen – mit entsprechend starkem Signal zum Gegensteuern auf dem Ruder. Ist die Windfahnenachse jedoch stärker geneigt oder sogar vertikal: Desto geringer wird das ihr entnommene Steuersignal zum Servoruder bei gegebener Abweichung vom Kurs.

Mit ein paar Bauteilen aus dem Baumarkt sowie einem Gelenkkopf, wie er im Modellbaubereich für KFZ-Modelle günstig zu bekommen ist, lässt sich die Murray-Anlage mit neigbarer Windfahnenachse ausrüsten. Ich verwende allerdings einen Niro-Gelenkkopf der Firma Durbal.

Die „Initialzündung“ für diese einfache, aber wirkungsvolle und wichtige Erweiterung des WSA-Selbstbaukonzeptes entstand aus der Diskussion mit Klaus Banck, der sich für seine Yacht (Revier: Pazifik bei Neuseeland) aus ausrangiertem Augenoptiker-Gerät (Alu, Niro) im Frühjahr 2006 eine Anlage mit derartiger Einrichtung gebaut hat (siehe auch Abbildungen Internet unter: http://www.windsteuerung.de/variant_banck.html)

Für einen einfachen Nachbau und zwanglose Einpassung in das Selbstbaukonzept werden Teile verwendet, die leicht erhältlich sind:

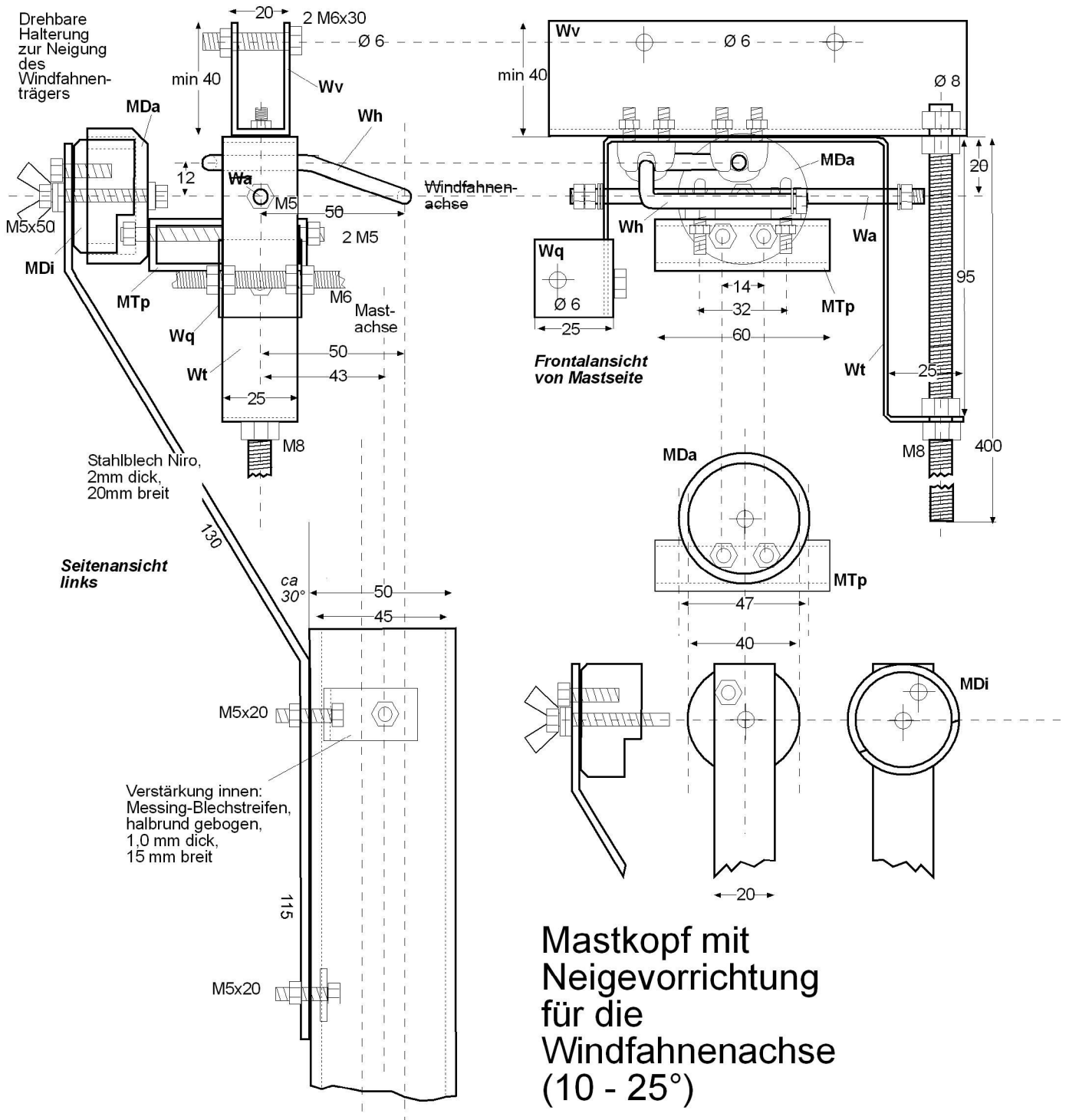
Das Lager der Neigeeinrichtung bilden zwei genau ineinander passende Messingbeschläge, wie sie zur Abdeckung von Zimmermannsbolzen in Dachgeschosswohnungen mit freiliegendem Gebälk, oder ähnliche Zwecke Verwendung finden. Die Verbindung mit dem Mast wird über ein 2 mm starkes und 20 mm breites Niro-Blech hergestellt.

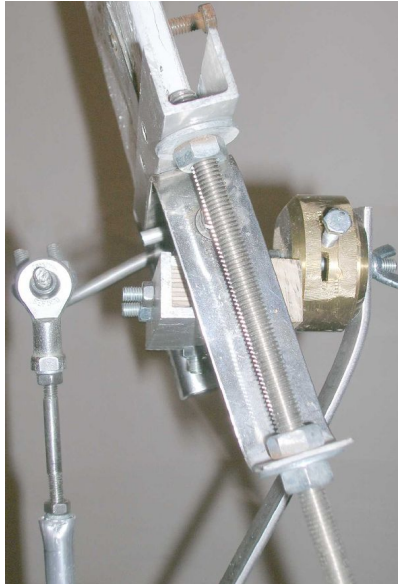
Die Windfahnenachse wird an der Neigeeinrichtung mit zwei Wantenklemmen, und einem Vierkant- Hohlprofil aus Aluminium befestigt. Falls ein solches Hohlprofil nicht verfügbar ist, kann man auch zwei gleich lange Winkel verwenden, die auf ein passendes Sperrholzstück aufgeschraubt werden.

Es folgen Zeichnungen und Fotos...

Windfahnensektion

Maßstab 1:2





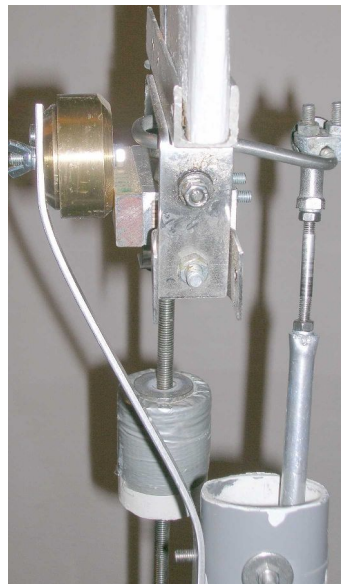
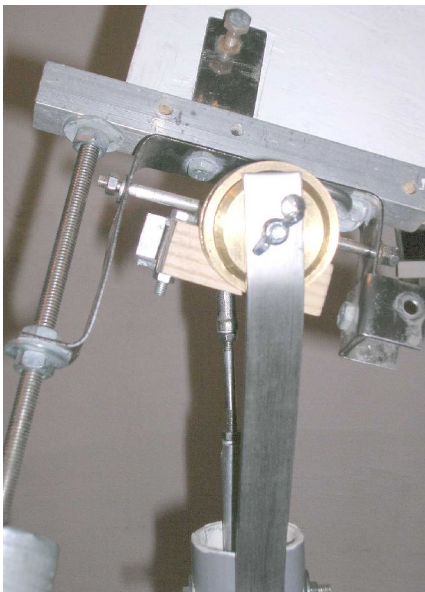
8er Steckschlüssel zugänglich.

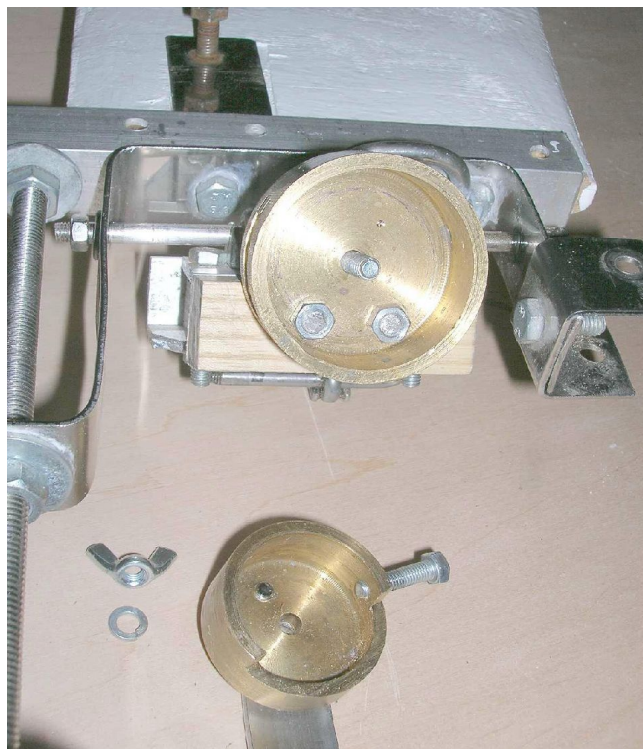
Ein Schlitz im beweglichen Außenteil sowie ein M5 Gewinde im feststehenden Innenteil des Mastkopfes sind für eine Arretierschraube gedacht.

Das Aussenteil wird über zwei M5 Gewindestangen mit dem Alu-Profil 20x40 verschraubt. Falls ein passendes Alu- Hohlprofil (20 x 40 mm) fehlt, können ersatzweise auch zwei Alu-Winkel auf einem Stück wasserfesten Sperrholz verschraubt werden.

Im gezeigten Beispiel werden zwei 30x20 mm-Winkel mit einem Stück Hartholzleiste (Esche, Mahagoni, Eiche, Buche, Bootsbausperrholz) auf 40 mm Tiefe verlängert, um den erforderlichen Abstand des Messingbechers von der Windfahnenachse zu erhalten.

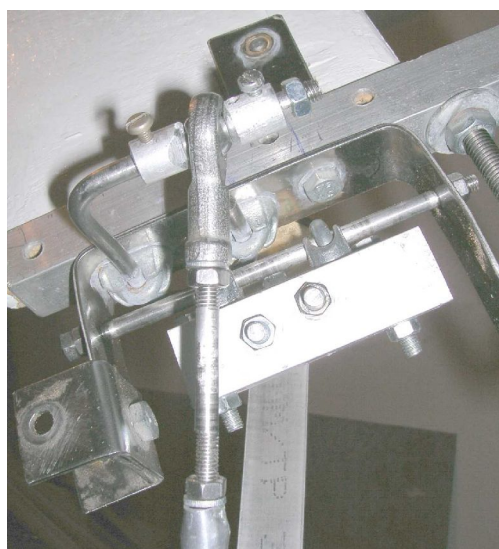
Die Windfahnenachse wird auf dem Alu-Profil mit zwei Wantenklemmen verschraubt. Dies erlaubt eine spätere Justage in Längsrichtung der Achse. Die Muttern der 5 mm-Wantenklemmen sind von unten über große Bohrungen für einen





Der feststehende Innenteil (im Bild unten) hat einen Ausschnitt für die Muttern der Befestigungsbolzen des Außenteils, und ist am Niro-Blechstreifen mit dem Zentralbolzen (M5 oder M6 * 40 mm) sowie einer weiteren Schraube verbunden.

Der Ausschnitt im Messingbecher erlaubt eine Beweglichkeit von der Horizontalen bis ca 40° Neigung. Der Zentralbolzen wird mit einer Flügelmutter versehen, damit ein Lösen zur Optimierung während der Fahrt ohne Werkzeug möglich ist. Als Arretierschraube wird eine Flügelschraube (nicht abgebildet) verwendet, die ebenfalls ohne Werkzeug lösbar ist.



Die Übertragung des Steuersignals der Windfahne auf die Vertikalschubstange (Alu-Rohr AD 10 mm) erfolgt beim neigbaren Mastkopf mit einem Niro-Gelenkkopf 5 mm. Aus zwei kurzen, mittig auf 5 mm aufgebohrten Aluminium- oder Messingbolzen AD 10 mm werden Stopper für den Gelenkkopf gefertigt, die konisch zulaufen, und eine freie Beweglichkeit des Gelenkkopfes auch bei einem Anstellwinkel der Windfahne von 25° noch erlauben. Diese Stopper können von außen mit einer Wantenklemme und einer Stoppmutter zusätzlich gesichert werden.

Die Verbindung zwischen Gelenkkopf und Vertikalschubstange besteht aus einem Stück 5 mm-Edelstahlstange, auf das ein langes (50 mm) und ein kürzeres Gewinde (30 mm) geschnitten sind. Die Justage

der Schubstangenlänge erfolgt über die Verbindung mit dem Aluminiumrohr, in welchem eine M5 Stopfmutter eingepresst und mit Epoxidharz vergossen ist.

Weil die Vertikalschubstange um ihr unteres Wirbelgelenk frei drehbar ist, kann die Länge der Schubstange durch einfaches Drehen derselben justiert werden. Federringe sichern jeweils die Kontermuttern.

Aufgrund dieser Verstellmöglichkeit entfällt auch die Notwendigkeit eines Schlitzes im Mast für eine Verstellhülse, sowie die Verstellhülse der Schubstange. Als Schubstange wird nun ein durchgehendes Aluminiumrohr von 10 mm AD verwendet.

Im folgenden Foto ist ein notwendiges Bauteil bei Verwendung eines PVC-Abwasserrohres als Mast zu sehen: Ein Streifen Messingblech, Stärke 1 bis 1,5 mm, Breite: 15 mm wird im Schraubstock so zurechtgebogen, dass er innen straff in das Mastrohr eingepasst werden kann. Damit kann die Last des Mastkopfes mit montierter Windfahne (insgesamt ca 2 kg) über 3 Niro-M5-Schrauben gleichmäßig ins weiche PVC-Rohr eingeleitet werden.



Wer hier nur eine große Unterlegscheibe für die obere Schraube des Niro-Mastkopfträgers vorsieht, wird nach 4 Wochen feststellen, dass das PVC dort ein Loch in Größe der Unterlegscheibe aufweist und das Stahlblech samt Mastkopf und Windfahne querab hängt. Das PVC der Abwasserrohre fängt (durch UV-Licht noch unversprödet) Impulsbelastungen zwar elastisch ab, aber bei kräftiger Dauerbelastung fließt es wie Wachs.

Der Niro-Gelenkkopf der Firma Durbal kostet 15 Euro, und ist wegen Liefermindestvolumen von 30 Euro dort nur paarweise zu bestellen, entweder Tausch mit anderen Selbstbauern empfohlen oder eben einen auf Reserve. Lieferadresse:

Durbal Vertriebsgesellschaft mbH, Verrenberger Weg 2-2A, 74613 Öhringen / Germany,

tel: +49 7941 9460 33,

fax: +49 7941 9460 9

Eine zusätzliche Versteifung des Mastkopfes erreicht man durch Anbringung von ein oder zwei Streifen Messingblech, die von der Halteschraube am Edelstahlblech zum oberen Ende des Mastes verlaufen, und so in Form gebogen werden, wie auf den folgenden Abbildungen.





Schubstange, Mast

Die Schubstange überträgt im Inneren des Mastes die Bewegungen der Windfahne (oberer Horizontalhebel) auf den unteren Horizontalhebel, der den Drehschaft dreht. Sie trägt oben ein Kardangelenke, welches auf dem oberen Horizontalhebel sitzt, und unten ein Wirbelgelenk als drehbare Verbindung mit dem unteren Horizontalhebel.

Eine Verstellmuffe im oberen Drittel der Schubstange erlaubt eine Verstellung ihrer Länge um 7 cm zur Justage. Damit wird bei senkrecht stehender Windfahne und senkrecht stehendem Servoruderträger das Servoruder genau längs zur Schiffsachse eingestellt.

Die Schubstange wird erst in der endgültigen Länge gebaut, wenn die Höhe des Mastes festliegt. Die folgenden Bauanweisungen beziehen sich zwar auf die Verwendung eines 12 mm Aluminiumrohrs, jedoch ist jedes andere leichte und steife Material ebenso gut geeignet (PVC-Rohr, Aluminiumstange, Stahlrohr, etc...).

Wenn man einen Gelenkkopf am oberen Ende der Schubstange einsetzt, kann man auf die Längenverstelleinrichtung und damit einen Längsschlitz im Mast verzichten, da ein Stück M5 Niro-Gewindestange und eine eingepreßte M5-Mutter in einem 10 mm-Aluminiumrohr die Verstelleinrichtung ersetzen.

- 64

Kardangeln

Beim neigbaren Mastkopf ist das Kardangeln sowie die Verstellhülse ersetzt. Als Ersatz für das Kardangeln wird ein Niro-Gelenkkopf 5mm der Firma Durbal eingesetzt, als Ersatz für die Verstellhülse in der Schubstange eine Gewindestange aus Edelstahl. mit der die Schubstangenlänge justiert wird. Es folgen zunächst die alten Pläne...

Das Kardangeln (Vk) verbindet den oberen Horizontalhebel (Wh) mit der Schubstange (Wo).

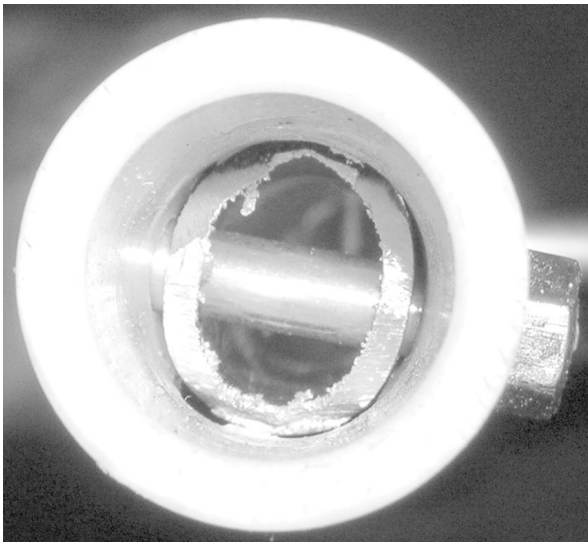
Es bietet sich an, für dieses Teil einen kommerziell erhältlichen Gelenkkopf zu verwenden, wie er auch in Modellbau-Fachgeschäften angeboten wird (Kunststoff, um 6 Euro). Eine stabile Niro-Ausführung ist erhältlich bei der Firma Durbal (15 Euro). Solch einen Gelenkkopf braucht man spätestens dann, wenn man den Mastkopf mit Neigeeinrichtung verwendet.

Im Folgenden wird eine Möglichkeit für den Selbstbau des Kardangelns (für 10° PVC-Mastkopf)



beschrieben. Man verwendet dazu ein kurzes Stück PVC- oder Aluminiumrohr. Während die Bohrung für den Horizontalhebel möglichst exakt und spielfrei in 10° -Winkel auf 5 mm gebohrt werden muss, so ist die Gestaltung der zweiten Achse des Gelenks auch abhängig von dem Material, welches für die Schubstange benutzt wird. Die untere Achse des Kardangelns muss für die Schubstange nur einen Drehwinkel von $\pm 4^\circ$ erlauben, dies entspricht in etwa der maximalen seitlichen Auslenkung des unteren Horizontalhebels, wenn alles montiert ist – auf Halbwindkurs. Im folgenden Beispiel wird das Kardangeln hergestellt aus PVC-Wasserrohr mit AD 21 mm.

Kardangeln mit Verbindung zum oberen Segment der Schubstange.



Die Halterung auf dem oberen Horizontalhebel erfolgt mit einer Drahtseilklemme und einer Mutter, dazwischen jeweils eine kleine Edelstahl-U-Scheibe. Der obere Teil der Schubstange wird aus einem 150 mm langen Stück Aluminiumrohr des AD 15 mm gefertigt. Das eine Ende wird im Schraubstock etwa auf 12 mm zusammengequetscht, mit einer 4 mm-Bohrung versehen und halbrundgefeilt.

Blick von oben ins Kardangeln

Die Achse für diese Verbindung ist keine Schraube, sondern ein abgesägter M4x25 Bolzen, der in dem Teil kein Gewinde hat, auf dem das Aluminiumrohr sitzt. Neben den Bohrungen für diesen Bolzen wird der Kunststoff soweit ausgeschnitten, dass eine freie Beweglichkeit von etwa 5° erreicht wird.

Verstellmuffe, Stellschraube, unteres Schubstangensegment

Die Verstellmuffe wird aus dem gleichen Material gefertigt wie das Kardangeln. Sie ist mit einer Schraube M4x25 an der oberen Schubstange fixiert. Ein Schlitz von 75 mm Länge und 6 mm

Breite erlaubt die vertikale Beweglichkeit der Stellschraube, die in einem M6-Gewinde im unteren Schubstangen-Segment eingeschraubt ist.

Wird die Stellschraube festgedreht, so presst sie eine etwas rundlich gebogene, große U-Scheibe von außen auf die Verstellmuffe, und fixiert damit die beiden Schubstangen-Segmente miteinander. Das Holz-Drehrad der Stellschraube ist der Bohrkern eines der Löcher, die in die Gegenplatten des Gehäuses mit dem Kernbohrer gebohrt wurden (Durchmesser: 38 mm).

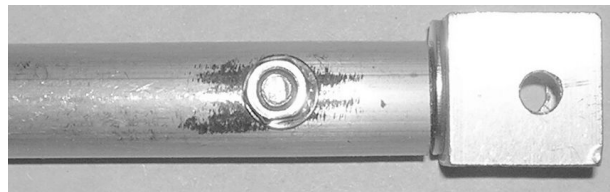
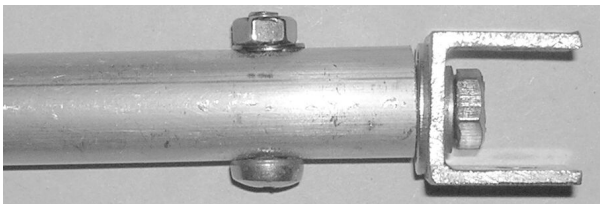
Um ein kräftiges M6-Gewinde im Aluminiumrohr schneiden zu können, wird ein Stück der Röhre mit Epoxidharz ausgegossen. Dazu schiebt man einen Zellstoff- Pfropfen etwa 25 mm weit in das Alurohr, und gießt Schubstange mit Justagehülse, das untere Segment kann in der Hülse verstellt werden. dann den verbleibenden Hohlraum mit faserverstärktem (Holzmehl) Epoxidharz aus.

Nach der Aushärtung bohrt man mit einem 5 mm Metallbohrer durch, und schneidet das Gewinde.

Wirbelgelenk

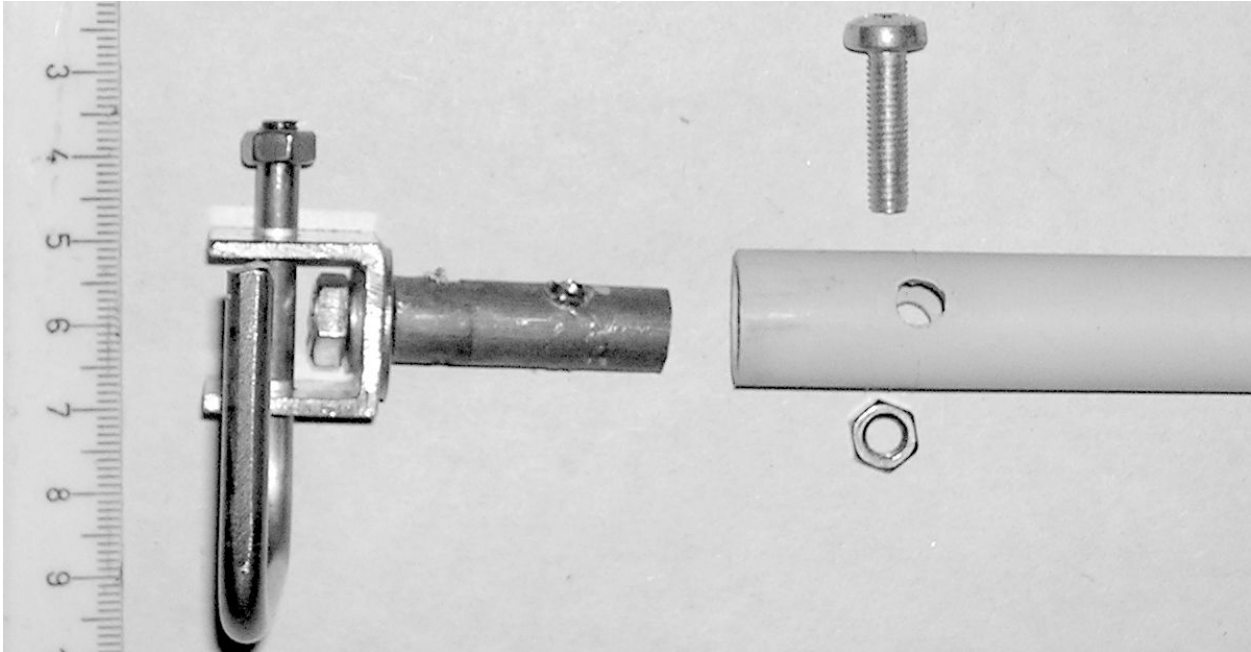
Am unteren Ende des unteren Schubstangensegmentes (Alu-Rohr AD 15 mm) befindet sich das Wirbelgelenk. Es hat die Funktion, die vertikalen Bewegungen der Schubstange über den unteren Horizontalhebel auf den Drehschaft weiterzuleiten, dabei jedoch eine freie Drehung der Schubstange um 360° zu erlauben.

Es besteht aus einem Aluminium-U-Profil (20x20x20 mm) und einem Haltebolzen aus Aluminium AD 12 mm, 25 mm lang. Das Aluminium-U-Profil erhält eine exakt vertikal geführte 5 mm-Bohrung in den Flanken, und eine zentrische Bohrung für die M6-Schraube als Verbindung zum Messing-Haltebolzen.



Wirbelgelenk am unteren Ende der Schubstange: frei drehbar, jedoch mit geringstmöglichem Spiel.

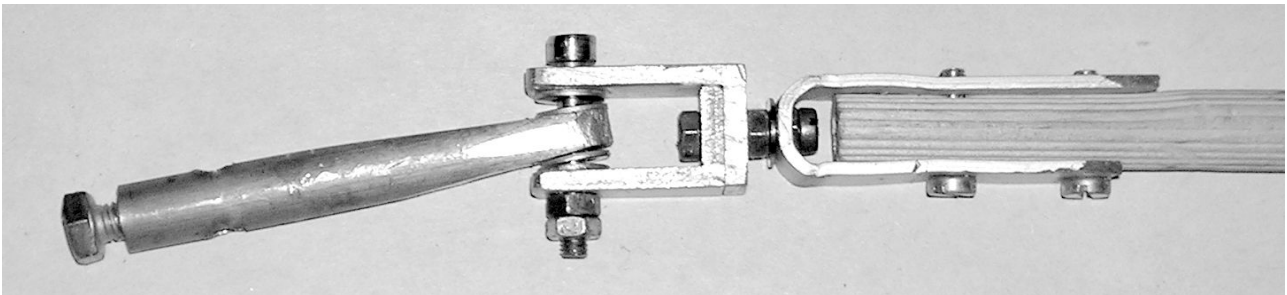
Der Haltebolzen erhält von einer Kopfseite eine zentrische Bohrung 5 mm. In diese wird ein M6 Gewinde geschnitten, welches genau so lang ist, dass eine M6x20 mm-Schraube nach der Montage von U-Scheiben und dem Alu-Gelenkstück fest ins Gewinde gedeht werden kann, aber eine spiel- und klemmfreie Drehung des Gelenkstücks erlaubt. Diese M6-Schraube wird bei der Montage von U-Scheiben und Alu-Gelenkstück mit Sekundenkleber oder Epoxidharz im Alubolzen gegen Verdrehen gesichert. Alternativ kann man auch ein 3 mm Querloch durch Bolzen und montierte Schraube bohren, und einen Sicherungssplint durchziehen. Der Haltebolzen wird mit einer M5x20-Schraube im Alu-Rohr des unteren Schubstangensegmentes verschraubt.



Das untere Ende der Schubstange mit Wirbelgelenk und unterm Horizontalhebel (dieser siehe Fertigung Drehschaft). Als Schubstangenmaterial kann auch PVC-Wasserrohr verwendet werden. Die Position des Gelenkstücks auf dem Horizontalhebel wird später innen mit einer Drahtseilklemme und außen mit einem Stapel kleiner U-Scheiben und der Stoppmutter festgelegt.

Fehler vermeiden

Die nachstehende Abbildung zeigt, wie man es besser nicht macht. Die unten gezeigte Ausführung taugt höchstens für eine Jolle auf dem Angelteich, jedoch nicht für ein seegängiges Schiff:

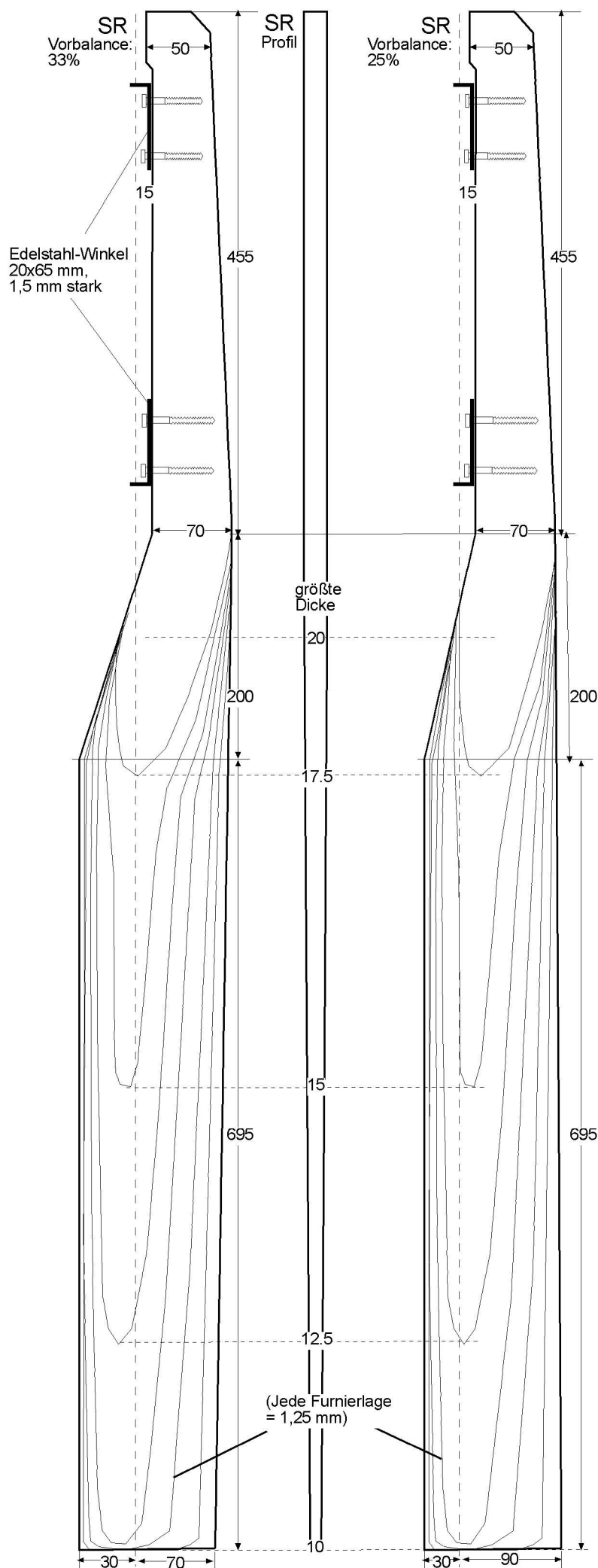


Mangelhafte Verbindung zum Drehschaft: Nur eine M6-Schraube in einem durchgebohrten Messingbolzen zum Einklemmen des Drehschaftes hat zu geringe Auflagefläche. Ein Wellenschlag auf das Servoruder wird den Drehschaft im Bolzen unter der Schraube „durchdrehen“.

Das Spiel zum Gelenkstück ist viel zu groß (siehe möglicher Winkel des Messingbolzens).

Als Verbindung Gelenkstück-Schubstange ist eine M4-Schraube zu schwach. Eine vertikale Führung/Auflagefläche mit großen U-Scheiben ist nicht möglich, dadurch kann das Wirbelgelenk am Befestigungsbügel für den Holzstab verkippen.

Folge: Die M4-Schraube wird nach genügend Bewegungen einfach abbrechen.



Servoruder

Es werden zwei Varianten des Servoruders vorgestellt, eine aus Vollholz, und eine in Laminatbauweise. Während das Vollholzruder schneller und ohne glasfaserhaltigem Schleifstaub herzustellen ist, ist die Lamiat-Variante etwas steifer, und kann bei gleicher Festigkeit etwas dünner gebaut werden. Das vermindert die Reibung im Wasser etwas. Man darf keine falsche Vorstellung davon haben, wie groß die Belastung des Servoruders im normalen Betrieb ist: Das Servoruder muss nicht mehr aushalten, als die Kraft, die zur Bewegung der Ruderpinne notwendig ist. Dazu kommt nur bei stärkerem Seegang eine Impulsbelastung durch ein ggf. stoßendes und schlingernes Schiff. Aber auch diese Bewegungen werden weich abgefangen durch die drehbare Aufhängung des Servoruders: Es kann jeder Kraft aufs Blatt seitlich ausweichen.

Beide Rudervarianten sind mit den vorgegebenen Maßen so stabil und gleichzeitig elastisch, dass man das Ruder in der Mitte des Blattes sowie am Schaftende auf Kanthölzer auflegen und sich in der Mitte draufstellen kann, ohne dass es bricht. Gegenüber einem Schaft aus Aluminiumrohr hat das Holz die wunderbare Eigenschaft, einen viel größeren elastischen Bereich aufzuweisen. Während ein Alu-Schaft schnell an die Elastizitätsgrenze kommt und dann einfach abknickt, federt das Holz zurück in die ursprüngliche Form. Dies bietet enorme Vorteile gerade bei Impulsbelastungen. Auch wenn bei einer Kollision mit einem Netz in voller Fahrt beispielsweise der unterste, dünne Teil des Ruders dieser Kraft nicht gewachsen sein sollte und abbricht, bleibt die Anlage mit dem Rest steuerfähig.

Die Konstruktion des Ruders in flacher Holzausführung hat auch enorme hydrodynamische Vorteile: Es kann bei gleicher Stabilität viel flacher gebaut werden, als ein Ruder, bei dem ein dicker Aluminium- oder Stahlschaft bis ins Blatt reichen muss - unter Wegfall der ganzen Schwierigkeiten, eine dauerhaft kraftschlüssige, seefasserfeste Verbindung zwischen den unterschiedlichen Materialien herstellen zu müssen.

Sie können mit den in dieser Anleitung vorgegebenen Maßen ein schwach vorbalanciertes Servoruder (25%) oder das stärker vorbalancierte bauen (30%) (Siehe Abbildung oben).

Das stärker vorbalancierte ist nicht so „gutmütig“ was die schwingneigungs-dämpfenden Eigenschaften angeht. Allerdings bietet es Vorteile bei schwächerem und achterlichem Wind durch eine schnellere Reaktion auf leichte Windänderungen. Wenn sie das stärker vorbalancierte Ruder bauen, und feststellen, dass die Anlage Ihr Boot auf den meisten Kursen zu „nervös“ steuert, so können Sie neben der Verminderung der Untersetzung über den Steuerstangenwinkel auch ganz einfach das untere Ruderscharnier mit einem 5 mm- Sperrholzstück unterfüttern, und kommen so auf etwa 20 % Vorbalance.

Anpassung an die Schiffsmaße

Eine wasserbenetzte Fläche von 65 x 12 cm reicht völlig am Hebelarm von 1 m als Kraftquelle für Schiffe um 8-10 m Länge. Bei einem größeren Schiff sollten Sie zum Ausgleich des höheren Freibordes zunächst den Ruderschaft bis zur Wasserlinie bei gleicher Fläche verlängern. Damit verlängern Sie den Hebel des Servoarms und erhöhen darüber die Steuerkraft.

Form

Um eine eigene Form für das Ruder zu entwickeln, gehen Sie von der Servoruderachse aus. Die Scharniere rücken die Schaftkante 15 mm achterlich dieser Drehachse. Der Schaft bis zum Übergang ins Profil hat eine Mindestlänge von 450 mm. Er sollte oben 50 mm breit und beim Profilansatz 70 mm breit sein. Der Übergang vom Schaft ins Profil kann 200 mm betragen. Beim Profilbeginn liegt die dynamische Wasserlinie. Dort hat das Ruder seine volle Breite von etwa 120 mm und ein vollständig ausgeformtes „Tragflächenprofil“.

Die Vorbalance legt man ganz einfach darüber fest, wieviel Prozent der Gesamtbreite des Ruders am Profilbeginn vor der Achse und wieviel dahinter liegen. Vom Profilbeginn zeichnet man die Kanten des Ruders bis auf die gewünschte Blattlänge parallel zur Achse. Die Form des Ruders muss jedoch keine symmetrische Vorbalance aufweisen. Wenn man die Vorder- oder Achterkante nicht parallel zur Servoruderachse zeichnet, so nimmt die Vorbalance mit stärker/weniger eingetauchtem Servoruder ab oder zu.

Gute Erfahrungen habe ich für mein kleines Boot damit gemacht, die Vorbalance zum unteren Ende des Ruders, wo es flacher wird, leicht zunehmen zu lassen. (siehe 30% -Profil) Damit reagiert die Anlage bei Mittschiffs-Ruder und vertikaler Windfahne etwas träger und gedämpfter, als zu größeren Windfahnausschlägen, bei denen das Servoruder weniger tief ins Wasser eintaucht.

Profil

Das Profil des Servoruders ist für die Vollholz- und Laminatvariante gleich, und im Detail unkritisch bezüglich der Genauigkeit. Das Ruder braucht nur eine stabile, rundliche Vorderkante (Radius ca. 5 mm) und sollte eine scharfe Achterkante (Radius 1 mm) aufweisen.



Unteres Ende des Vollholzruders: Profil ähnlich einer Flugzeugtragfläche, an der dicksten Stelle 10 mm.

Dazwischen wird ein Profil ähnlich einer Flugzeugtragfläche geformt: Im vorderen Viertel befindet sich die dickste Stelle. Von da aus hat man günstigstenfalls eine ebene Fläche bis zur

Achterkante. Wenn man die Achterkante schärfer schleift als mit 1 mm Radius, ist der Wasserwiderstand zwar geringer, aber es besteht die Gefahr, dass bereits eine leichte Touchage mit einem Dalben oder Steg ein Stück ausbricht.

Das Profil ist durch die unterschiedliche Maserung der Sperrholzurniere und Kleberschichten sehr leicht hinzubekommen, da man beim Hobeln alle 1 - 1,5 mm eine „Höhenline“ vorfindet.

Verstärkungsplatten (an Balancegewicht-Position)

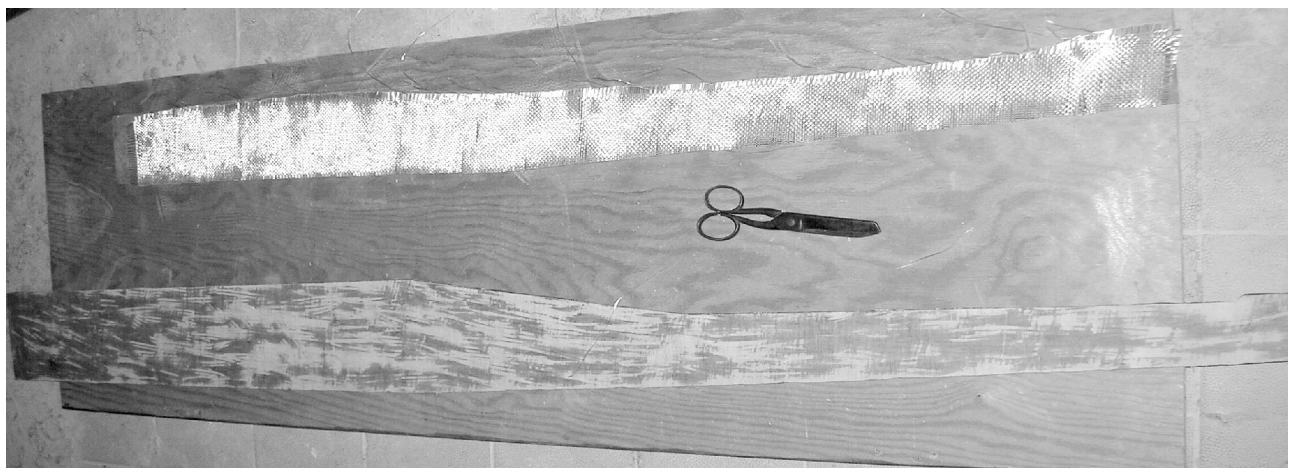
Wenn Sie das Ruder stärker als 25% vorbalancieren, sollten Sie ein Balancegewicht vorsehen. Die dafür notwendige 150 mm - Gewindestange wird 5 cm unterhalb des unteren Scharniers in die Vorderkante des Ruders 30 mm weit eingeschraubt. Zur Verstärkung des Schaftes an dieser Stelle müssen Sie mit einer Lage Glasmatte beiderseits eine 100 mm lange 5 mm dicke Sperrholzplatte auflaminieren. Machen Sie dies vor Beginn der Profilierung.

Bau Laminatruder

Die vier Sperrholzteile für das Laminatruder werden mit dem Teppichmesser aus 5 mm Sperrholzplatte zugeschnitten (*Siehe Kapitel Holzzuschnitte*). Eine großer Müllsack wird der Länge nach aufgeschnitten, und auf eine ebene Unterlage gelegt (Boden, Holzbrett). Die erste Laminatlage verbindet die beiden großen, mittigen Platten. Dadurch erhält man im Kern des Ruders eine stabile GFK-Lage, die eine scharfe, stabile Achterkante gewährleistet. Eine Lage Glasgewebe (kein Vlies verwenden!) von leichtem bis mittlerem Gewicht (150 - 250 g/m²) reicht völlig aus.

Vorbereitungen zum Laminieren :

Benutzen Sie bei den folgenden Arbeiten Gummihandschuhe. Das Glasgewebe wird mit 5 mm Überstand an allen Kanten zurechtgeschnitten. Ein billiger Pinsel, 2 cm breit, wird auf 2 cm Borstenlänge zurechtgestutzt. Dies ist wegen der hohen Viskosität des Harzes erforderlich, um zügig arbeiten zu können.



Vorbereitung für den zweiten Laminierschritt: Aufkleben eines kleineren Seitenteils auf die bereits zusammengeklebten Mittelplatten

Für die Rudermaße 135x12 cm reichen 140 g Epoxidharz bei leichtem Glasgewebe, bei mittelschwerem braucht man um 170 g. Man verwendet, um das Mischungsverhältnis genau einhalten zu können, Kunststoff-Einwegspritzen aus der Apotheke, eine für Harz, und eine für Härter. Deren Kanülenansatz wird abgeschnitten, damit das zähflüssige Harz besser aufgesaugt werden kann. Rühren Sie die Harzkomponenten in einem Gummi- oder Polyethylen-Napf mit

einem Holzstab etwa 5 min kräftig durch. Die vielen kleinen Luftbläschen, die sie damit erzeugen, sollten Sie nicht weiter stören, diese verschwinden beim Einpinseln der Flächen.

Laminieren

Nachdem beide Platten mit dem Harz bestrichen sind, wird auf die eine Platte das Glasgewebe aufgelegt, und mit dem Rest des Harzes durchtränkt. Dazu stößt man den Pinsel vertikal auf das Gewebe, bis das Gewebe nicht mehr weiß erscheint. Ist das ganze Harz verteilt, so wird die andere Holzplatte aufgelegt, und über die ganze Fläche leicht mit Gewichten beschwert (Bsp: ein Hantelsatz 20 Kg, Ziegelsteine, Holzbohle, o.ä.). Wichtig ist, dass Sie in der ersten Stunde die genaue Passung der beiden Teile überprüfen und korrigieren, denn die obere Platte wird Ihnen unmerklich langsam über der anderen davonschwimmen, solange das Harz noch nicht seine honigartige Konsistenz erreicht hat. Dabei werden auch eventuell noch vorhandene größere Luftblasen aus dem Spalt entweichen.

Nach etwa 3 - 4 Stunden (Epidian 5 + Härter Z1, 18°), wenn das Harz zwar fest ist, aber noch nicht durchgehärtet, kann man die Gewichte herunternehmen, und mit einem Teppichmesser das überstehende Gewebe bis auf 1 mm Rest abschneiden. Dies spart viel Arbeit und Glasfaserstaub, der sich sonst bei der Bearbeitung des voll ausgehärteten Laminats entwickelt.



Das Laminatruder wird zur Verklebung der einzelnen Sperrholzlagen gleichmäßig auf einer ebenen Unterlage beschwert (Gewichte eines Hantelsatzes)

Nach dieser Prozedur sollten Sie das Werkstück wieder hinlegen und beschweren, damit es seine Form bis zur Aushärtung (24-48h) behält und sich nicht verziehen kann.

Die beiden kürzeren Seitenplatten laminieren Sie nach dem gleichen Schema nacheinander auf. Für jede dieser Platten werden Sie 60 g Harz bei leichtem Glasgewebe brauchen, bei mittelschwerem etwa 80 g.

Damit ist das Laminatruder vorgefertigt, und Sie können die Profilierung wie für das Vollholzruder beschrieben vornehmen. Verwenden Sie den Holzhobel jedoch nur für die Holzareale, denn die Hobelklinge wird auf GFK-Laminat sehr schnell stumpf. Für die GFK-Flächen verwenden Sie besser eine Raspel mit vorgewölbter Raspelfläche (*siehe Kapitel Werkzeug*). Legen Sie etwa 4 Ersatzklingen dafür bereit. Sollten Sie einen Winkelschleifer benutzen, sorgen Sie unbedingt für Feinstaub-Atemschutz.

Bau Vollholzruder

Das Ruder wird auf eine 20 mm dicke Sperrholzplatte, Maße: 140 x 1350 mm aufgezeichnet und mit der Stichsäge ausgeschnitten. Darauf werden die Umriss-Kanten mit einer Raspel oder dem Hobel geglättet. Einen sehr hilfreichen Arbeitsschritt sollten Sie nicht vergessen: Zeichnen Sie mit einem Filzstift oder Kugelschreiber rings um das Werkstück die mittlere, genau zentrische Furnierlage nach. Dieser Strich wird Ihnen bei der Profilierung eine unverzichtbare Orientierungshilfe sein. Beim Laminatruder erkennen Sie diese Lage am Glasgewebe.

Mit dem Winkelschleifer, einer Halbrundraspel oder einem Hobel beginnt man von unten her, die Fläche auf die Maximal-Dicke des Profils zu bringen (*siehe Abbildung oben*).

Profilierung mit dem Winkelschleifer

Gehen Sie mit dem Winkelschleifer vorsichtig vor, denn damit haben Sie auch schnell tiefe Scharten ins Ruder geschliffen. Man beginnt mit dem Winkelschleifer ebenso wie bei der Benutzung des Hobels am unteren Ende. Zunächst werden die Seitenflächen auf die gewünschte Maximaldicke abgeschliffen. Danach erfolgt flächig die Abflachung vom vorderen Viertel zur Achterkante. An der Achterkante lassen Sie von jeder Seite 2 Furnierlagen in der Vorformung stehen.

Durch die gegebene Bearbeitungsfolge bekommt man ein Gefühl dafür, wie schnell der Winkelschleifer sich in das Holz „frißt“. Diese braucht man, wenn man die etwas heikle Vorderkante auch mit dem Winkelschleifer formt. Ich empfehle spätestens nach einer groben Vorprofilierung den Umstieg auf den Hobel. Dieser erlaubt die gleichmäßigste Bearbeitung.

Hobeln

Richtig hobeln braucht etwas Erfahrung. Daher hier für Nicht-Tischler in Kürze das Wichtigste zum Umgang mit einem Holzhobel:

Wenn man hobelt, muss die Hobelklinge zuvor mit 1500er Nassschliffpapier scharf geschliffen werden, sonst macht es wirklich absolut keinen Spaß. Lösen Sie die Hobelklinge, indem Sie mit einem Hammer auf den Metallbolzen am Kopf des Hobels schlagen, dann geben Sie noch zwei, drei leichte Schläge von beiden Seiten auf den Holzkeil und entnehmen die Klinge.

Das 1500er Schleifpapier wird auf eine harte, ebene Oberfläche gelegt und befeuchtet. Dann beide Flächen der Hobelklinge jeweils flach aufsetzen, und ohne zu verkippen kleine, kreisförmige Bewegungen ausführen, bis alle Scharten ausgeschliffen sind. Wenn sie dies sorgfältig (10-20 min) machen, wird die Klinge rasiermesserscharf.

Die Hobelklinge darf nur haarfein aus dem Hobel hervorstehen, sonst „reißt“ der Hobel. Die Klinge bekommen Sie ein paar Hundertstel mm zurück, wenn Sie auf den Kopfbolzen des Hobels ein, zwei Hammerschläge geben und dann den Holzkeil wieder leicht festschlagen.

Achten Sie darauf, dass die Klinge im Hobel nicht verkantet ist und auf einer Ecke mehr heraussteht, als an der anderen (Korrektur: mit dem Hammer die Hobelklinge seitlich „anticken“). Der Hobel darf sich beim Ziehen über das Werkstück nicht ins Material fressen. Wenn das der Fall ist, muss die Klinge weiter in den Hobel, bis sich auf einem ebenen Stück Holz nur noch hauchfeine Späne abziehen lassen. Der Hobel ist richtig eingestellt, wenn Sie bei einem leichten Zug über das Holz kaum Widerstand spüren.

Obwohl dies auf den ersten Blick uneffektiv erscheint, werden Sie damit am schnellsten und bequemsten per Hand das Profil hinbekommen. Auch wenn es anfangs so scheint, dass der Hobel kaum Material von der Oberfläche abnimmt: hobeln Sie geduldig weiter. Der gut eingestellte Hobel erfaßt am Anfang auf einer ungehobelten Fläche nur die „Buckel“ im Holz. Erst wenn diese entfernt sind, greift der Hobel mehr. Wahrscheinlich müssen sie mit der Klingenstellung etwas experimentieren, um für jede Phase der Bearbeitung die richtige Einstellung zu finden.

Das Reißen des Hobels muss man zusätzlich dadurch vermeiden, indem man alle paar Züge die Späne mit einem kleinen Holzstück (KEIN SCHRAUBENZIEHER!!) entfernt, damit diese sich nicht über der Klinge im Hobel stauen.

Das Sperrholz läßt sich leichter hobeln, wenn man das Werkstück straff mit Schraubzwingen auf einem ebenen Tisch befestigt. Zudem sollte der Hobel beim Zug leicht schräg gegen die Fasern angestellt werden, dann schneidet die Klinge sauber durch das Holz.

Wenn man eine Hohlkehle hobeln will, legt man mittig einen Lappen unter, und zieht die Enden des Blattes mit Schraubzwingen an den Tisch: Es resultiert zur Bearbeitung eine ebene oder sogar leicht nach oben gewölbte Fläche, die bei Entlastung zur Hohlkehle wird.

Schleifen

Nach dem Vorformen beider Seiten wird mit 60er bis 80er Schleifgewebe und Schleifklotz geglättet. Was sich auch gut dafür eignet, ist steifes Bandschleifer-Material zum Parkettschleifen.

Danach werden die Riefen des groben Vorschliffs mit 120er und 240er Schleifmaterial ausgeschliffen. Zur Kontrolle fahren Sie die Oberfläche mit einem Lineal ab, und peilen flach über die Fläche. Wo noch Buckel stehengeblieben sind, schleifen Sie diese lokal ab.

Je besser Sie den Schliff ausführen, umso weniger Aufwand haben Sie bei den nachfolgenden Arbeitsschritten, und umso weniger Reibung wird das Servoruder im Wasser verursachen.

Sie werden sicherlich mit der Raspel oder dem Hobel aus dem Sperrholz auch ganze Stücke herausgerissen haben. Diese Löcher müssen Sie vor der ersten Epoxi-Beschichtung spachteln. Heben Sie dazu das Schleifmehl vom Vorschliff auf, dann brauchen Sie keinen Epoxi-Spachtel oder Füllmaterial teuer zu kaufen.



Das Vollholzruder nach der Profilierung, zwischen die Abschnitte der Sperrholzplatte gelegt; zur Profilierung benutzte Werkzeuge

Endbearbeitung Oberfläche

Spachteln

Zunächst wird das Schleif- und Hobelmehl durch ein Tee-oder Mehlsieb gerieben. Was hier durchgeht, ist das ideale Füllmittel für den Epoxispachtel, mit dem Sie die Rassel- und Hobellöcher ausspachteln.

Mischen Sie sich etwa 10-20 ml Epoxidharz an und rühren dieses 4 min kräftig durch. Dann geben Sie langsam Schleifmehl dazu und rühren nach jeder Zugabe 2 min, um abzuwarten, bis sich das Holzmehl mit Epoxidharz vollgesogen hat. Starten sie mit etwa dem gleichen Volumen Holzmehl wie Epoxidharz. Wenn Sie zu schnell zuviel zugeben, kann es sein, dass der Spachtel zu trocken und „krümelig“ wird. Wenn das Gemisch nur noch sehr langsam oder nicht mehr vom Rührstäbchen läuft, hat der Spachtel die richtige Konsistenz.

Heben Sie auch Holzmehl für später auf, es wird noch zur Herstellung weiterer Bauteile gebraucht.

Anstelle käufliche Plastikspachtel zu verwenden, kann man auch gut ein Stück kräftigen Karton mit glatter Schnittkante benutzen. Spachteln Sie damit die Löcher auf beiden Seiten sorgsam zu. Zur Glättung der Spachtelstellen gibt es zwei Möglichkeiten:

A) Sie warten etwa 3-4 Stunden, bis der Spachtel gerade fest ist, und „hobeln“ dann mit der Längsseite eines Stechbeitels oder der ausgebauten Hobelklinge zart über die Spachtelstellen. Das noch nicht durchgehärtete Material wird sich in feinen Spänen sauber egalalisieren lassen. Verwenden Sie dabei nicht die scharfe Schneide: Erstens werden die im Spachtel vorhandenen Korundkörner vom Schleifpapier die Schneide verhunzen und zweitens besteht die Gefahr, dass Sie damit wieder neue Scharten verursachen.

B) Sie lassen 24 h komplett aushärten und schleifen erst mit 120er Papier (Schleifklotz), danach mit 240er.

Epoxi-Beschichtung

Zur Beschichtung mit Epoxidharz verwenden Sie wieder einen 2 cm breiten Pinsel, dessen Borsten Sie auf 15 - 20 mm kürzen müssen(!). Wenn Sie dies nicht tun, haben Sie keine Chance, den Harzauftrag dünn genug und gleichmäßig hinzubekommen. Weniger ist in diesem Fall nämlich mehr. Das Ruder muss für die Epoxibeschichtung am Schaft mit Schraubzwingen kräftig horizontal eingespannt sein, zu beschichtende Fläche nach oben.

Von normalen Lackierarbeiten her ist man es gewöhnt, dass man dünn aufträgt, einmal verschlichtet, und den Lack dann in Ruhe läßt. Dies lernt jeder Tischlerlehrling im ersten Lehrjahr. Das Gegenteil ist erforderlich für eine gute Epoxi-Beschichtung:

Das Harz hat die Eigenschaft, an den Stellen, wo sich Polymerisationskerne gebildet haben, zähflüssig zu werden, und aus den Bereichen ringsum das flüssigere Harz anzuziehen, sozusagen „anzuhäufen“. Wenn Sie den Epoxi-Anstrich einfach nur mit langem, weichen Pinsel aufpinseln, und dann in Ruhe lassen, haben sie nach dem Aushärten eine Buckelpiste zu schleifen.

Nein, Sie dürfen das Harz nur so dick auftragen, dass die saugenden Holzteile gerade eben benetzt sind. Danach müssen Sie alle 2 min kräftigst verschlichten. Dies machen Sie etwa 30 - 40 min, bis das Harz fast nicht mehr von selber in die Pinselriefen zurücklaufen will. Sie werden den schmalen Pinsel aufgrund des wachsenden Widerstandes des Harzes bald nicht mehr zwischen den Fingern halten, sondern in der Faust, und Kraft brauchen, ihn über die Oberfläche zu ziehen. Verschlichten Sie dabei immer wie folgt:

Erst in Längsrichtung des Ruders (langer Strich), und dann quer (kurze Striche). Damit haben Sie die letzten Pinselrillen in der horizontalen Strömungsrichtung des Wassers, und nicht senkrecht

dazu. Sie werden nur eine Seite des Ruders auf einmal so bearbeiten können, aber dennoch: es lohnt sich!

Sie brauchen 20 ml Harz für eine Seite des Ruders.

Zwischenschliff

Sind beide Seiten beschichtet und haben 24 abgebunden, so schleifen Sie leichthändig mit 240er die Pinselriefen, Pinselhaare und Staubkörner aus. Leichthändig, denn: wenn das Schleifpapier zu heiß wird, schmilzt die Beschichtung oberflächlich an, und setzt sofort das Papier zu. Erst jetzt werden Ihnen sicherlich noch ein paar Dellen auffallen, die noch etwas Spachtel vertragen können. Die Dellen werden jetzt sichtbar, weil die umgebende Oberfläche matt geschliffen ist, aber die Vertiefungen glänzen. Spachteln Sie diese mit etwas Epoxispachtel und lassen aushärten. Diese einzelnen Stellen dann nochmal glattschleifen.

Zweite Epoxibeschichtung

Wenn Sie Bootsbau-Sperrholz verwendet haben, können Sie sich die zweite Epoxi-Beschichtung sparen. Wenn es allerdings nur wasserfeste Bauqualität ist, sollten Sie die zweite Schicht genauso wie die erste aufbringen, um das Holz gegen Aufquellen sicher zu schützen.

Zwischenschliff Nass

Nach Aushärtung der zweiten Epoxi-Schicht kommt der erste Nassschliff als Vorbereitung für die PU-Lackierung. Verwenden Sie 240er Nassschliff-Papier und einen Kork-Schleifblock zum Ausschleifen der Pinselriefen im Epoxidharz. Gehen Sie nicht mit zuviel Kraft vor. Besonders an den Rundungen ist sonst die Epoxidschicht schneller durch als man denkt. In kleinen kreisenden Bewegungen werden kleine Areale unter häufiger optischer Kontrolle bearbeitet. Kleine Dellen in der Epoxidschicht sollten Sie nicht bis zum letzten ausschleifen, in diese flachen Vertiefungen läuft später der PU-Lack.

PU-Vorlackierung

Nun sind wir wieder im Bereich „normaler“ Lacke, die Einweg-Pinsel werden nicht mehr gestutzt, es wird nur zweimal verschlichtet, nach dem Auftragen (Erst die Längsrichtung, dann quer, wie gehabt). Ein hervorragend zu verarbeitender und schnell trockenender 2-Komponenten PU-Lack ist beispielsweise POLREN (10 Euro/Liter). Er hat überdies extrem gute Haft- und Klebeeigenschaften und ist nach Aushärtung ein perfekter zäh-harter Schutz gegen mechanische und Wettereinflüsse (Ich hatte nach einer Lackierung damit nach 8 Wochen noch Lackspuren auf einem Fingernagel).

Er enthält ein sehr leichtflüchtiges Lösungsmittel, so dass ein dünner Auftrag bereits nach 3 min nicht mehr verschlichtbar ist. Den Lack vor Gebrauch mehrfach gut aufrühren, damit sich der Bodensatz mit den UV-Schützenden Pigmenten wieder auflöst. Zur Vorpolymerisation mischt man Lack und Härter zusammen, und läßt den Ansatz 30 min in einem Schraubdeckel-Glas stehen. Der Ansatz hat eine Topfzeit von 3 Stunden. Man benötigt ca 50 ml (beidseitig dünn). Die Komponenten werden mit 20 ml - Einwegspritzen aus der Apotheke in genauem Verhältnis zusammengemischt.

Es sollte tatsächlich nur sehr dünn lackiert werden, und dann besser 4 als nur 3 Schichten, denn ein zu dicker Auftrag des PU-Lacks ist absolut kontraproduktiv: Es bilden sich bei zu dickem Auftrag in den Bereichen, zu denen der Lack hinläuft - an der Vorder- und Hinterkante des Ruders - dicke Schichten, deren Oberfläche zunächst trocknet und hart abbindet, aber darunter viele kleine Hohlräume beim Austrocknen des eingeschlossenen Lackvolumens, weil das Lösungsmittel nach und nach verdampft. Man bekommt bei dickem Auftrag keinen Lack, sondern einen nach Schliff offenporigen Schwamm.

Zwischenschliff, 400Nass

Nach Abbinden des PU-Lacks werden vorsichtig mit einem Kork-Schleifklotz die Pinselrillen egalisiert (kleine Kreise, kleine Areale, oft unterbrechen und flach drüberschauen zur Kontrolle). Wenn man dabei stellenweise den Lack so dünn schleift, dass das Epoxidharz durchschimmert, ist das nicht weiter tragisch, sofern man nicht bis aufs Holz kommt.

PU-Endlackierung

Für die Endlackierung setzt man den Lack so dick ein, dass man - basierend auf den Erfahrungen mit der Vorlackierung - genug Material aufträgt, um später per Nassschliff die Oberfläche perfekt zu glätten. Dazu sollte man auch nur einen Tick dicker lackieren, sorgfältig verschlichten, und die Seiten jeweils einzeln behandeln und trocknen lassen. Der Lack bekommt je Seite 24 Stunden zum Abbinden.

Endschliff

Zunächst arbeitet man wieder mit 400er Nassschliff und Korkschleifklotz. Es ist vorteilhaft, ein bereits abgeschliffenes Papier zu benutzen. Zwischendurch, und besonders, wenn es unter dem Papier quietscht und ein gröberes Korn dadurch hör- und spürbar wird, muss die Oberfläche und das Schleifpapier mit Wasser gut abgespült werden.

Nach jedem der folgenden Papierwechsel muss ebenfalls abgespült werden, um die grobe Körnung vom vorhergehenden Schliff vollständig zu entfernen. Arbeiten sie ruhig eine ganze Seite mit einem einzigen kleinen Stück Papier auf, umso besser wird das Ergebnis.

Ist die Oberfläche gleichmäßig eben auf 400er Schliff, folgen nur noch Schliffe ohne Schleifklotz. Mit den Fingern entwickelt man am Haftwiderstand des Papiers ein besseres Gefühl dafür, ob der jeweils feinere Schliff auf einer bestimmten Fläche komplett ist.

Es kommen nun zur Anwendung: 800er Nassschliff, 1500er Nassschliff. Danach werden Sie die Oberfläche bei flachem darüberschauen bereits spiegeln sehen. Beim letzten Schliff mit 2500er Nasspapier spüren Sie bereits, dass die Oberfläche so glatt geworden ist, dass das Papier bei Wassermangel regelrecht festklebt auf dem Lack. Waschen Sie beim letzten Schliff regelmäßig die Staubemulsion ab. Ab dem 800er gilt: Einmal das Ruder rauf mit kleinen, keisenden Bewegungen, und einmal runter reicht völlig.

Nach dem 2500er Schliff ist es beinahe ein Vergnügen, den gewaschenen und getrockneten Lack mit dem bloßen Handballen leicht zu polieren: - Sie sehen Ihr Spiegelbild im Servoruder. So glatt es jetzt ist, so wenig Reibung wird es verursachen.

Ruderscharniere, Servoruderachse

Passen Sie die Position der Winkel am Servoruder an die bereits angeschraubten am Servoruderträger an. Montieren Sie die Scharnierwinkel so, dass jeweils 2 mm Platz für eine Edelstahl-Unterlegscheibe vorhanden ist. Die Winkel am Servoruder sitzen jeweils außen über und unter den Winkeln am Servoruderträger. Dadurch hat das Servoruder in der Höhe nach unten und oben einen Endanschlag. Die Achsenlöcher in den Winkeln bohren Sie mit einem 5 mm Kobaltstahlbohrer so, dass die Achse in 15 mm Entfernung von der Auflagefläche der Winkel auf dem Holz liegt.

Die Winkel, die am Servoruderträger angeschraubt werden, müssen Sie rundlich abfeilen, damit das Servoruder eine freie Drehbarkeit von +/- 45° nach beiden Seiten erhält.

Die Achse fertigen Sie aus einem Stück Edelstahlstab (380 mm). Auf die Enden wird jeweils ein kurzes Endgewinde für eine Stoppmutter aufgeschnitten. Zu Detailanweisungen für Achsen-Endgewinde siehe Kapitel „*Windfahnensektion / Windfahnenachse*“.

Balancegewicht-Gewindestange

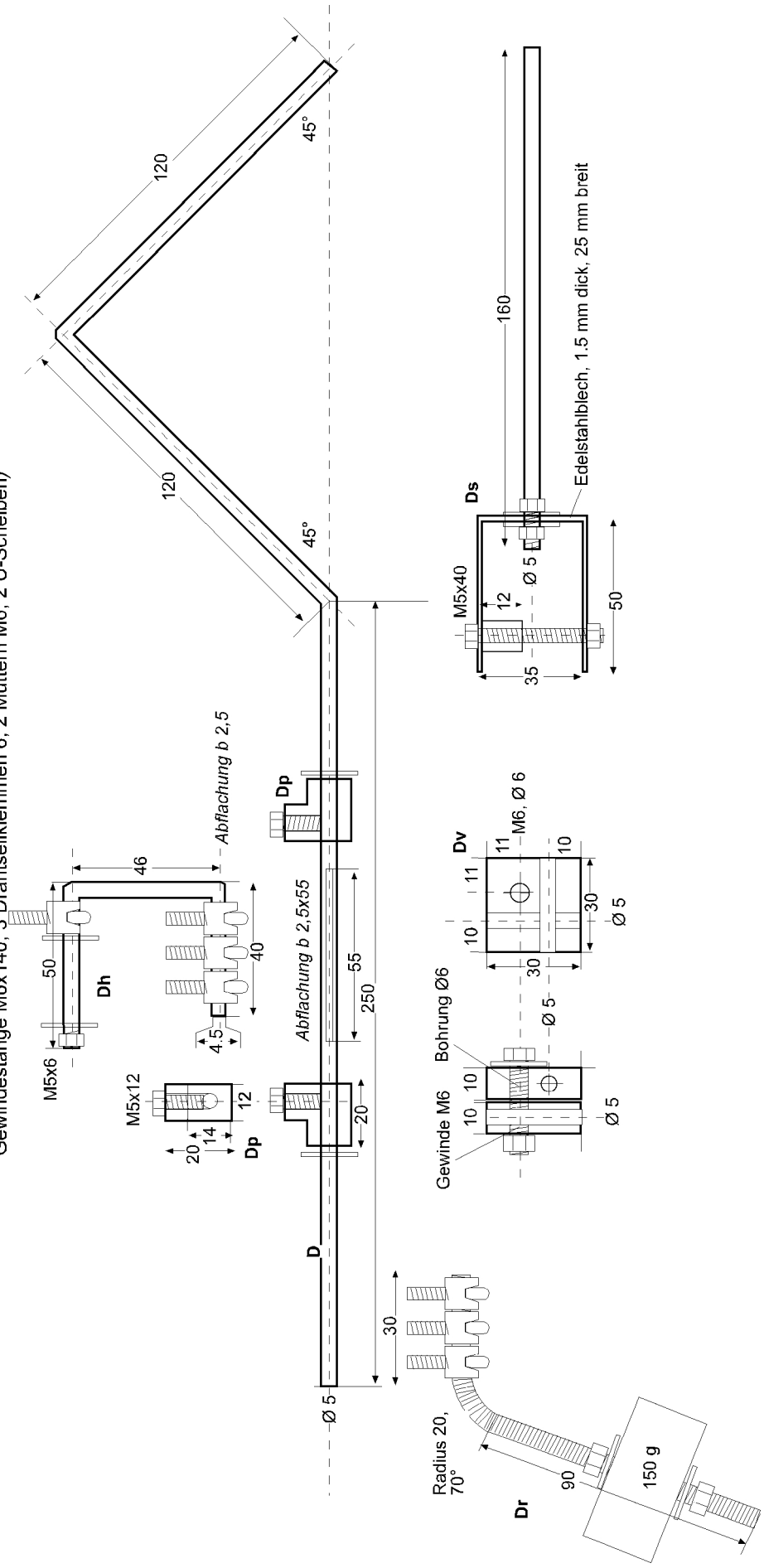
Ein stärker als 25% vorbalanciertes Servoruder erfordert ein Balancegewicht. Für dieses Gewicht (250g) zur Balance der Ruderschaftes bohrt man 5 cm unterhalb des unteren Scharniers ein 30 mm langes und 5 mm dickes Loch horizontal in die Vorderkante. Mit einem Gewindeschneider M6 wird ein Gewinde ins Holz geschnitten. Die Edelstahl-Gewindestange (150 mm) für das Balancegewicht wird mit Epoxidharz in dieses Gewinde eingesetzt.

Bohrung für Steuerstange

Die Bohrung für die Steuerstange im Servoruderkopf wird erst angebracht, wenn der Drehschaft fertig ist, da über die Position dieser Bohrung die Verstellmöglichkeit für die Untersetzung von Windfahnenwinkel auf Servoruderwinkel vorgegeben wird (*Siehe nächstes Kapitel*).

Dreherschaft und Steuerstange, Bauelemente

- D** : Drehschaft
Dh : Unterer Horizontalhebel
Dp : 2 Stopper
Dv : Verbindungsblock
Ds : Steuerstange
Dr : Balancegewicht
- (Edelstahlstab 5 mm, 500 mm)
 (Edelstahlstab 5 mm, 140 mm; Mutter M5, Endgewinde M5x6
 2 U-Scheiben, 4 Drahtseilklappen 5 mm)
 (Kunststoffblock 12x20x20, Bohrung 5, Innengewinde M5, Schraube M5x12)
 (2 Kunststoff- oder Hartholzblöcke 10x30x30, Bohrung 5, Bohrung/Gewinde M6,
 Schraube M6x25, U-Scheibe, Mutter M6)
 (Edelstahlstab 5 mm, 160 mm, Endgewinde M5x15, 3 Muttern M5, 2 U-Scheiben;
 Edelstahl-U-Bügel 25x50x35, 1,5 mm dick, Schraube M5x40,
 Messingstab Ø 10 x 12, Innengewinde M5)
 (Karosseriescheiben 300g, Ø 45, vergossen in Epoxidharz, Bohrung 6 mm;
 Gewindestange M6x140, 3 Drahtseilklappen 6, 2 Muttern M6, 2 U-Scheiben)

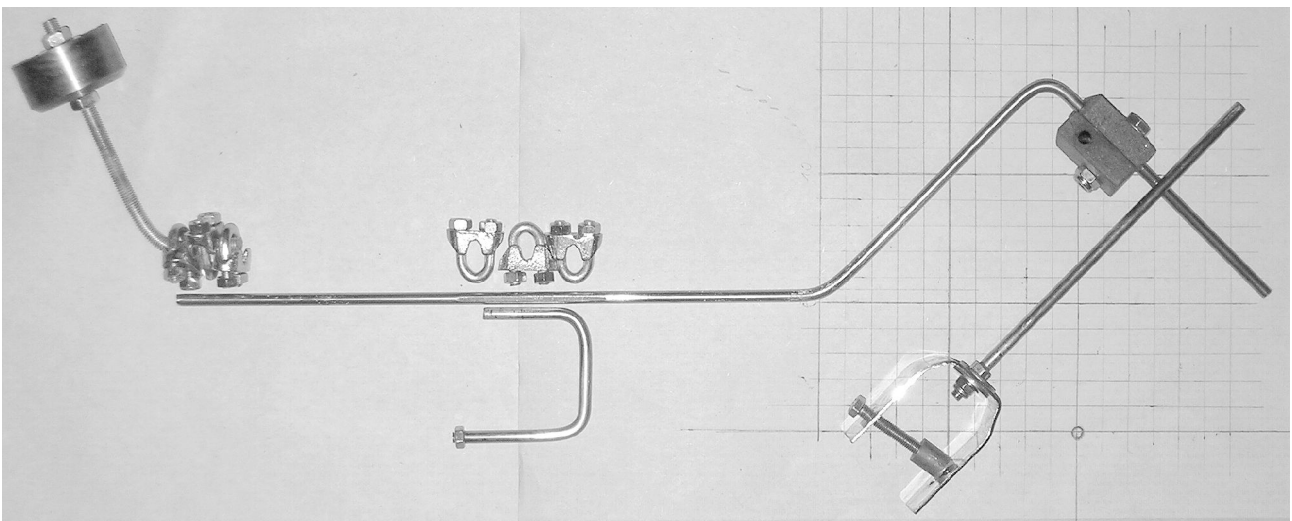


Drehschaft, Steuerstange

Der Drehschaft (D) erhält sein Steuersignal über die Schubstange und den unteren Horizontalhebel (Dh) von der Windfahne. Er dreht sich in den Lagerrollen des Servolagers um $\pm 45^\circ$.

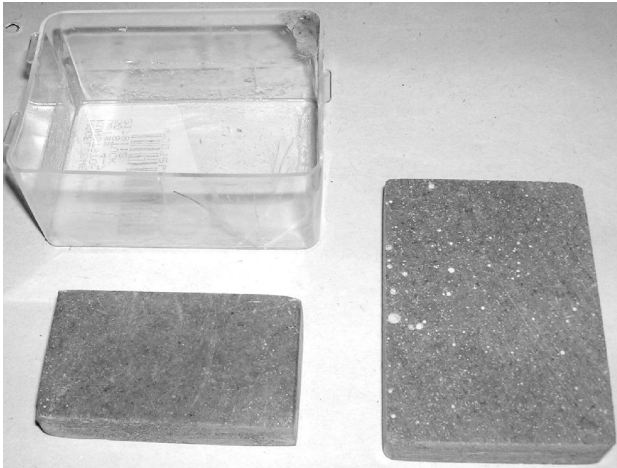
Seine Funktion ist es, das Servoruder über die Steuerstange (Ds) auszulenken. An einer flachgefeilten Auflagefläche wird der untere Horizontalhebel (Dh) mit drei Drahtseilklemmen befestigt. Zwei Stopper aus Epoxidharz (Dp) verhindern, dass der Drehschaft nach vorne oder hinten in den Lagerrollen verrutschen kann. Am geraden Ende des Drehschaftes wird eine in 70° umgebogene M6 Gewindestange (Dr) mit drei Drahtseilklemmen befestigt. Sie trägt das Balancegewicht von 150g für Horizontalhebel und unteres Schubstangensegment.

Zur Übertragung der Drehung auf die Steuerstange am Servoruder dienen zwei flache Kunststoffblöcke (Verbindungsblöcke Dv), die aus Epoxidharz gegossen werden.



Die Teile des Drehschaftes (Stopper nicht abgebildet)

Kunststoffteile gießen



Es bietet sich an, zunächst das Halbzeug für die Kunststoffteile herzustellen. Dazu braucht man zwei kleine, flache Plastikschalen (ca 4 x 6 cm), wie sie zum Verpacken von Schrauben im Baumarkt Verwendung finden. Eine Schale gießt man 10 - 11 mm hoch mit Harz aus, die andere 12-14 mm hoch. Die benötigte Harzmenge kann man leicht aus dem Volumen berechnen. Das Harz wird mit Holzmehl und kurzen Glasfaserabschnitten (bis 5 mm lang) versetzt. Das erhöht die Festigkeit - vor allem für die Gewinde. Sie sollten nicht so viel Holzmehl zumischen, dass das Harz davon zu zähflüssig wird, sonst verläuft es in der Schale nicht mehr glatt.

Alte Schraubenverpackungen aus dem Baumarkt eignen sich hervorragend als Gußform für faserverstärktes Epoxidharz: Maßgerechtes, solides Rohmaterial für die Verbindungsblöcke und die Stopper.

Fehler vermeiden:

Versuchen Sie bloß nicht, sich das Bohren der Löcher in den Kunststoffteilen dadurch zu ersparen, dass Sie gleich Edelstahlstäbe mit eingießen: Es spielt keine Rolle, ob Sie nur Haftöl oder zähes Schmierfett als Trennmittel verwenden, die Edelstahlstangen werden danach nicht mehr ohne Zerstörung des Blockes zu befreien sein.

Stopper

Ist das Harz ausgehärtet (24 h), so sägt man aus der dickeren Platte für die Stopper zwei 20x20 mm messende Blöcke aus. In die Stirnseite kommt eine 5 mm Bohrung für die Achse, senkrecht dazu eine 4 mm-Bohrung für die Klemmschraube. Letztere Bohrung sollte nur bis zur Ersteren reichen und nicht durchgehen. In die 4 mm-Bohrung wird mit einem gut geölten Gewindeschneider ein M5 Gewinde geschnitten. Sind in beiden Teilen Bohrung und Gewinde, so feilt man neben dem Schraubgewinde die Ecke herunter, bis man ein ca 14 mm messendes Stück über der Achsenbohrung übrig hat. Dieses Ende des Stoppers wird abgerundet, es liegt später außen an der Lagerrolle. Die Klemmschrauben für die Stopper muss man sich so zurechsstutzen, dass der Kopf bei eingeklemmtem Drehschaft nur einen halben Millimeter über der Auflagefläche ist.

Als Alternative für die Stopper aus Kunststoff können Sie auch Drahtseilklemmen verwenden. Deren Montage ist jedoch etwas unbequemer, man kommt schlecht an die Muttern zum Festdrehen heran.

Verbindungsblöcke

Die Verbindungsblöcke werden aus der 10 bis 11 mm dicken Epoxiplatte hergestellt. Sie brauchen zwei quadratische Stücke, die eine Kantenlänge von 30 mm haben. Jeder der Blöcke besitzt eine genau ausgeführte 5 mm-Längsbohrung für den Drehschaft - respektive die Steuerstange. Die Blöcke werden durch eine M6x25 Maschinenschraube verbunden. In den einen der Blöcke wird ein M6 Gewinde für diese Schraube geschnitten, der andere wird mit einem 6 mm Bohrer durchgebohrt.

Die Auflagefläche der beiden Blöcke sollten Sie auf einem flach auf den Tisch aufgelegten Stück 400er Nassschliffpapier sorgfältig ebnen. Die Blöcke werden so verschraubt, dass sie noch gerade

leicht gegeneinander verdrehbar sind, aber dabei das geringst mögliche Spiel aufweisen. Eine Kontermutter auf der M6 Verbindungsschraube fixiert diese.

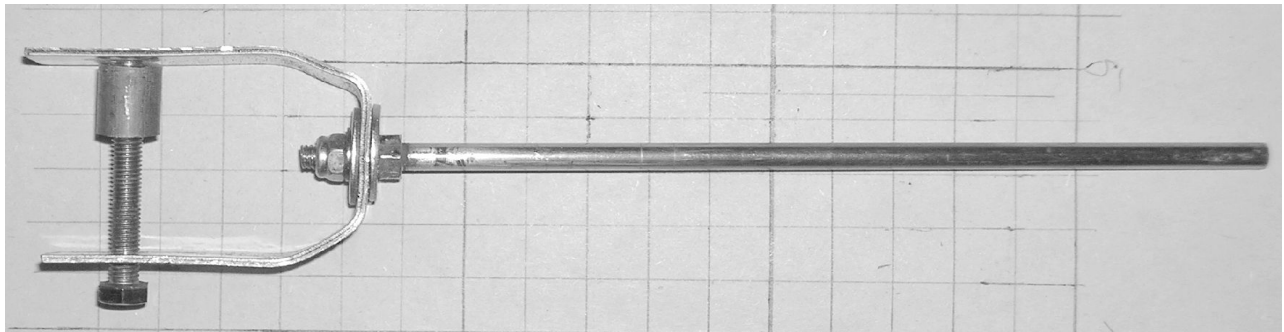
Wenn die Edelstahlstangen in den Bohrungen des Blöcke klemmen, müssen Sie diese einschleifen: Mit 800er Nassschliffpapier werden sowohl die Steuerstange als auch der Drehstangenschenkel in Längsrichtung geschliffen, bis ein schwarzen Belag auf den Stangen sitzt. Dieser besteht aus Korund und Stahlabschliff. Ohne den Belag zu entfernen, werden die Stäbe in die Bohrungen der Blöcke gesteckt, und leicht befeuchtet solange recht schnell hin- und herbewegt, bis sie in den Blöcken leichtgängig werden.

Steuerstange

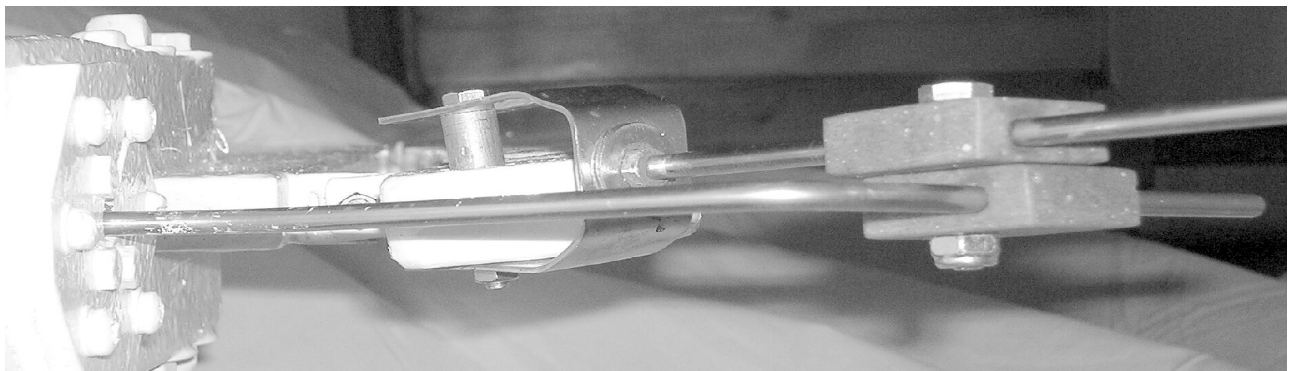
Die Steuerstange besteht aus einem Edelstahlbügel 50 x 35 mm und wird aus dem gleichen 1,5 mm dicken und 25 mm breiten Material gefertigt, wie der Trägerbügel der Windfahnensektion. er besitzt in der Schmalseite eine 5 mm-Bohrung für einen Edelstahlstab (5 mm, 160 mm lang),. Auf diesen wird an einem Ende ein 15 mm langes Endgewinde M5 geschnitten. Achten Sie darauf, dass sie zum Schneiden des Gewindes auf dem Edelstahlstab diesen sehr dicht am Gewinde-Ende in den Schraubstock spannen, damit die Lauffläche für den Verbindungsblock keine Scharten erhält.

Quer durch den Bügel geht eine 5 mm-Bohrung für die Schraube M5x40, mit der die Steuerstange am Kopf des Servoruders befestigt wird.

In der Zeichnung und auf dem Foto ist noch ein Messingstab 12 mm Länge mit Innebohrung vorhanden. Diesen ersetzen Sie durch zwei Sperrholzscheiben von etwa 30 mm Durchmesser und 5 mm Dicke. Die asymmetrische Montage am Servoruderkopf hat die Aufgabe, den Abstand auszugleichen, den die Steuerstange in den Verbindungsblöcken am Kreuzungspunkt zum Drehschaft hat.



Die Steuerstange: Den durchgebohrten Messingstab ersetzen Sie arbeitssparend durch zwei 5 mm dicke Sperrholzplatten oder -Scheiben, die auf den Servoruderkopf aufgeklebt werden.



Blick von oben auf die asymmetrische Verbindung Drehschaft-Steuerstange

Die Steuerstange wird in einem bestimmten Winkel, der die Untersetzung Windfahne-Servoruder definiert, am Servoruder festgeschraubt (*Siehe Abschnitt: Einstellung Untersetzung*).

Damit das Teil sich nicht von selber an der Schraube aus seiner Lage verdreht, können Sie die Fläche, auf der der Edelstahlbügel aufliegt, mit einer Mischung aus PU-Lack und Sand bestreichen. Wenn dann die Schraube festgezogen ist, wird die Steuerstange ihren Winkel nicht mehr ohne Lösen der Schraube verändern können. Nach der Optimierung der Anlage können sie in den Bügel auch ein zweites Loch zur endgültigen Fixierung des Winkels mit einer Schraube anbringen.

Drehschaft

der Drehschaft wird hergestellt aus 5 mm Edelstahlstab 500 mm Länge. Der Stab erhält zwei Biegungen, eine im 90° Winkel 120 mm vom Ende entfernt und eine zweite in 45° exakt 120 mm weiter. Die beiden Biegungen müssen in einer Ebene liegen. Achten Sie darauf, dass sie die Laufflächen in den Lagerrollen sowie für den Verbindungsblock nicht einspannen, damit sie dort keine Scharten verursachen.

In der Mitte des langen Arms des Drehschaftes wird mit der Feile eine Abflachung angebracht (ca 60 mm lang und 2,5 mm breit), die als Auflagefläche für den unteren Horizontalhebel dient. Stecken Sie den Drehschaft in das Servolager, lassen dabei die Abwinkelung etwa 1,5 cm weit aus dem Servolager herausstehen, und markieren mit einem Filzstift in diese Lage die Position der Innenkanten der Gegenplatten (Gehäusesektion, Gp).

Mittig zwischen diesen Markierungen wird die Abflachung angebracht. Damit sie eine perfekte Ausrichtung dieser Abflachung im 90°-Winkel zu den Abwinkelungen des Drehschaftes

bekommen, müssen Sie den Drehschaft auf den Tisch legen und mit einer Schraubzwinde festklemmen. Hinter den Drehschaft legen sie ein Stück 5 mm-Edelstahlstange als „Rollenlager“ für die breite, flache Metallfeile, die jetzt zum Einsatz kommt: Legen Sie die Metallfeile über beide Stangen, drücken leicht in der Mitte dazwischen auf die Feile, und feilen gleichmäßig, bis die Abflachung am Drehschaft 2,5 mm breit ist.



Präzises Feilen des Drehschaftes mit einem Stück Edelstahlstange als „Rollenlager“ für die Metallfeile

Unterer Horizontalhebel

Der untere Horizontalhebel wird aus einem Stück Edelstahlstange der Länge 140 mm gefertigt. Er hat zwei 90°-Abwinkelungen. Auf dem langen Schenkel von ca 50 mm Länge sitzt das Wirbelgelenk der Schubstange. Weiterhin ist dort auch ein kurzes Gewinde für eine Stoppmutter aufgeschnitten. Achten Sie sowohl beim Biegen als auch beim Gewindeschnitt darauf, dass Sie dieses Ende nicht in den Schraubstock einspannen, um Scharten zu vermeiden.

Sie sollten den Hebel so exakt fertigen, dass die beiden Schenkel genau parallel sind, und einen Achsabstand von 46 mm aufweisen. Damit hat der wirksame Hebel auf den Drehschaft dann genau 50 mm Länge.

Der kurze Schenkel von 40 mm Länge erhält eine präzise gefeilte Abflachung von 2,5 mm Breite, die auf der entsprechenden Abflachung des Drehschaftes aufliegt. Mit dieser Auflagefläche und der Kraft der insgesamt 6 Schraubverbindungen der drei Drahtseilklemmen ist es auch mit

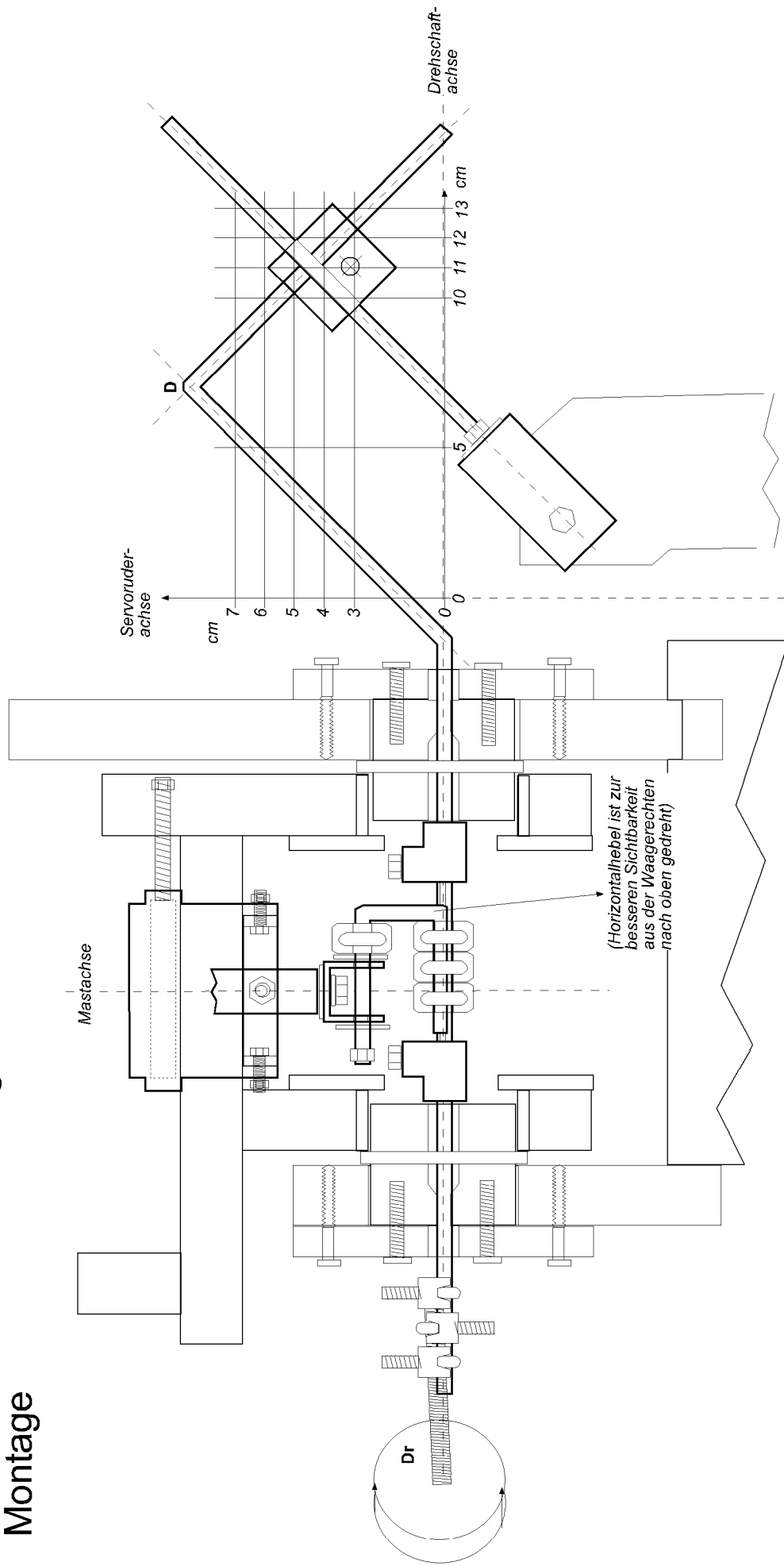
Brachialgewalt nicht mehr möglich, den Drehschaft in der Halterung gegenüber dem Hebel zu verdrehen, eher verbiegt man den Horizontalhebel.

Für die präzise Abflachung auf der gesamten Länge des kurzen Schenkels gibt es zwei Möglichkeiten:

A) Spannen Sie den Hebel mit dem kurzen Schenkel nach oben so ein, dass der Schenkel flach gerade einen halben Millimeter über die Schraubstockbacken hervorschaut. Feilen Sie mit den Schraubstockbacken als Auflagefläche, bis vom Edelstahl in diese Lage nichts mehr abzufilen ist.

B) Hängen Sie den Bügel mit dem kurzen Schenkel nach oben auf die Tischkante, und stecken Sperrholzreste zwischen den unteren Schenkel und die Tischplatte, bis der Bügel vertikal festklemmt. Dann verwenden Sie die gleiche Technik wie für den Drehschaft.

Dreherschaft und Steuerstange, Montage



Einstellung der Untersetzung, Montage der Steuerstange

Zur Einstellung der Untersetzung und zum Festlegen der Montageposition der Steuerstange am Servoruderkopf zeichnen Sie sich auf ein Blatt Papier zunächst ein cm-Raster.

Dann montieren Sie das Servoruder mit der Achse am Servoruderträger, und stecken den Drehschaft ins Servolager ein.

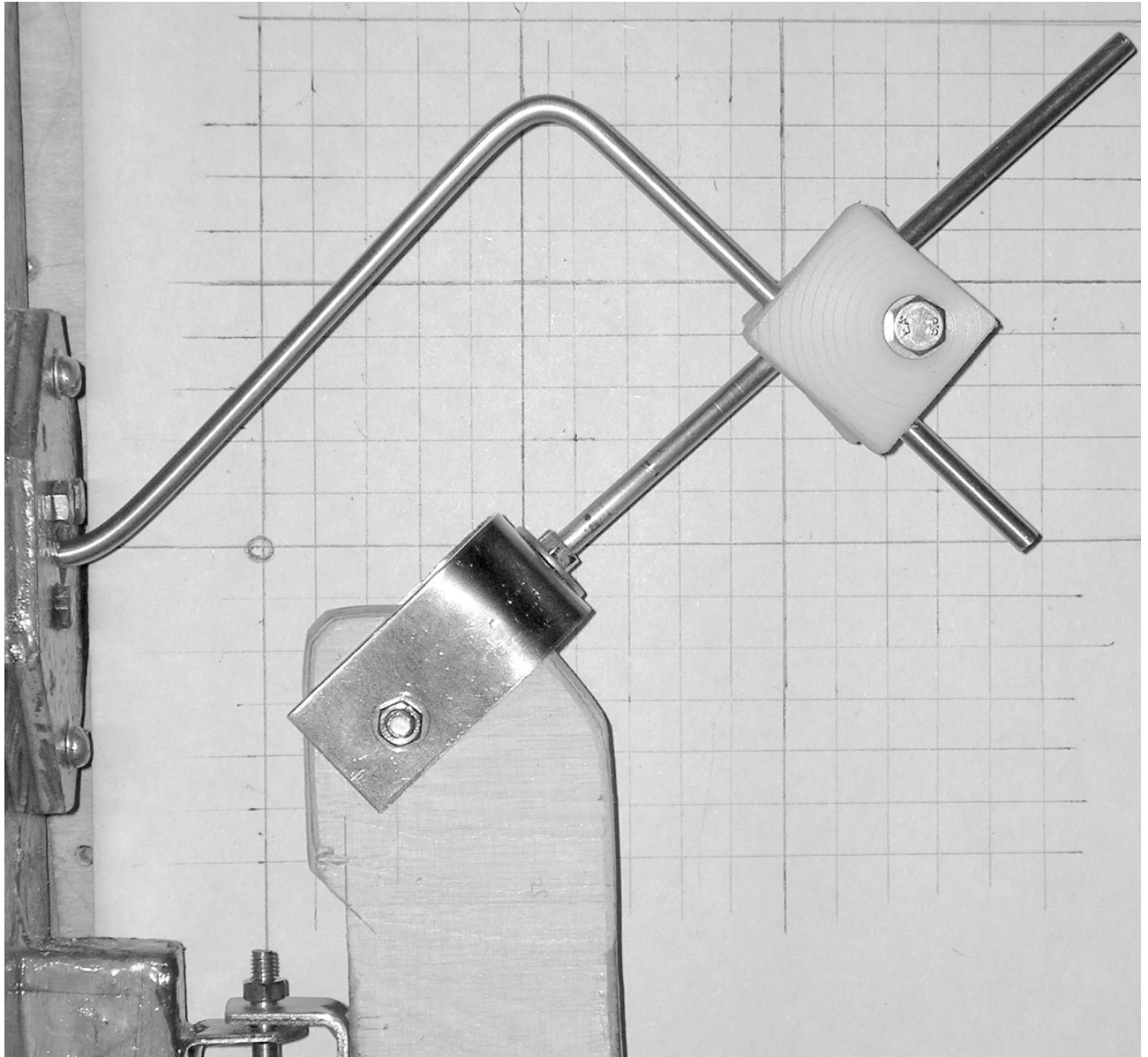
Das cm-Rasterpapier wird unter das Servoruder gelegt, und zwar so, dass eine Linie des Papiers genau in der Verlängerung der Servoruderachse verläuft, eine andere genau in Verlängerung der Servoachse (Drehschaftachse).

Der Kreuzungspunkt der beiden Achsen ist der Null-Punkt unseres Koordinatensystems. Die Untersetzung wird durch die Lage des Kreuzungspunktes von Steuerstange und Drehschaft bestimmt.

Wenn die Steuerstange den Drehschaft bei horizontal 10 cm und vertikal 5 cm Abstand vom Null-Punkt kreuzt, hat man eine Untersetzung von 2. Dies ist ein Wert, den Sie für die ersten Testfahrten nicht oder nur geringfügig unterschreiten sollten.

Die Montageposition am Servoruderkopf sollte so gewählt werden, dass sich die beiden Stangen für eine Untersetzung von 2 im 90°-Winkel kreuzen. Dies ergibt den geringsten Reibungswiderstand der Blöcke auf den Stangen.

Die Steuerstange und der innere Schenkel des Drehschaftes sollten einen Mindestabstand von 6 cm besitzen.



Die Untersetzung von Windfahnenausschlag zu Servoruderausschlag wird durch die Montageposition und den Winkel der Steuerstange eingestellt. Im obigen Bild ist die Untersetzung auf 10,5 : 4 eingestellt, dies ergibt ein Untersetzungsverhältnis von 2,6. Kommerzielle Anlagen arbeiten oft mit einer Untersetzung von 2.

Varianten und Modifikationen

Die Sperrholzanlage lässt sich beinahe beliebig an verschiedene Spiegelformen und Schiffstypen anpassen. Die folgenden Seiten sollen dazu Anregungen geben.

Katamaran-Steuerung

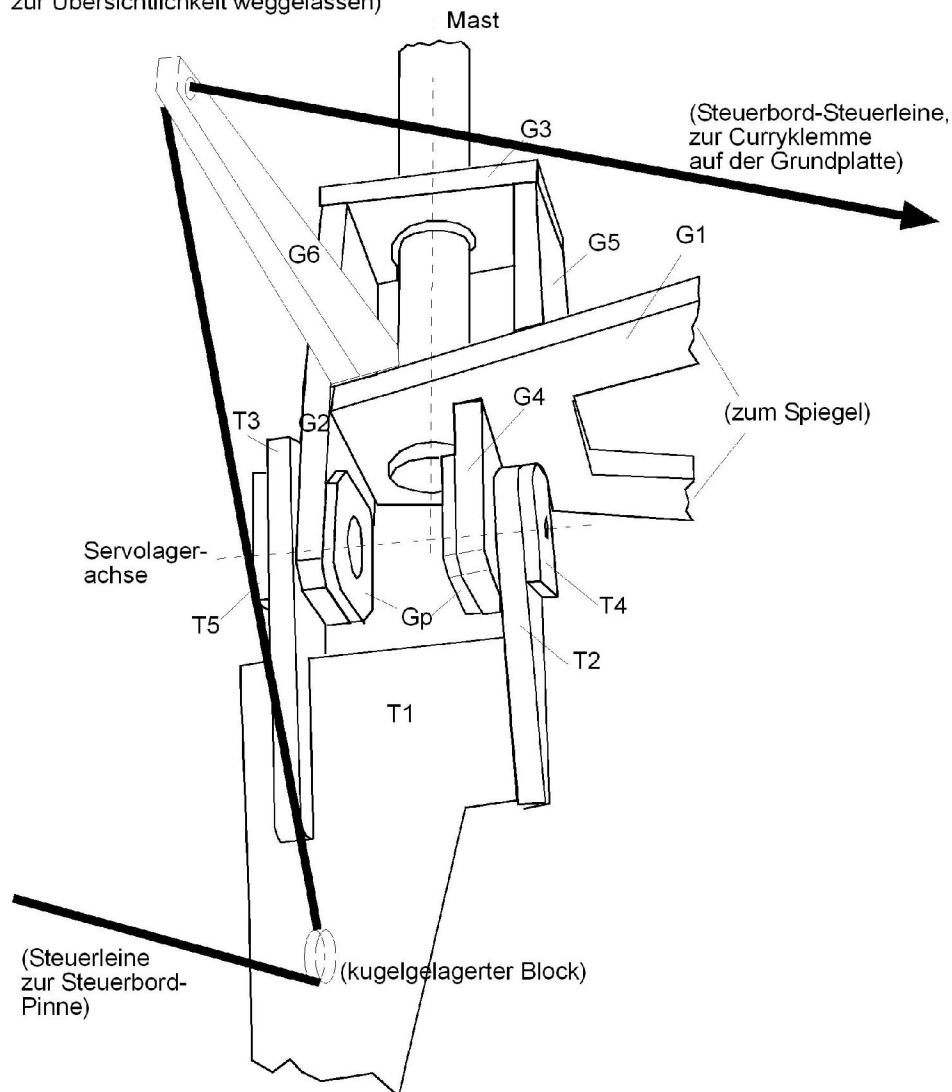
Die folgenden Modifikationen werden für einen Fahrtenkatamaran mit angehängten Rudern vorgenommen:

- Der Hebel am Servoruderträger entfällt, die Steuerleinen werden unterhalb des Servolagers angebracht.
- Das Servoruder wird nach achtern aufklappbar gestaltet.

Übersicht

Gehäusesektion und Servoruderträger

(Modifikation zur Kat-Steuerung. Befestigungsstützen zum Spiegel sind zur Übersichtlichkeit weggelassen)



Der vertikale Hebel am Servoruderträger (Teil T3) entfällt, stattdessen wird die Kraft zum Steuern direkt an der Längsplatte T1 mittels zweier beidseitig angebrachter Blöcke abgegriffen. Gespannt werden die beiden Steuerleinen zu den Pinnen über zwei Curryklemmen in der Nähe der Basis der Grundplatte oder auf dem Achtersüß des Katamarans.

Von Vorteil ist für die Optimierung, wenn die Steuerleinen-Halterungen auf den Pinnen verschiebbar sind, beispielsweise große Schlauchschellen. Nach Ermittlung des optimalen Servohebels werden diese durch feste Fixierungspunkte ersetzt.

Servoruderträger, Servoruder

Maßstab: 1:5, Maße: mm

20 mm Sperrholz, wasserf. verleimt:

T1 : Längsplatte

T2 : Vorderlagerplatte

T3 : Achterlagerplatte

SR: Servoruder

50 mm AD. PVC-Rohr,
ausgegossen mit Epoxidharz:

TL : Lagerrolle, 42 mm

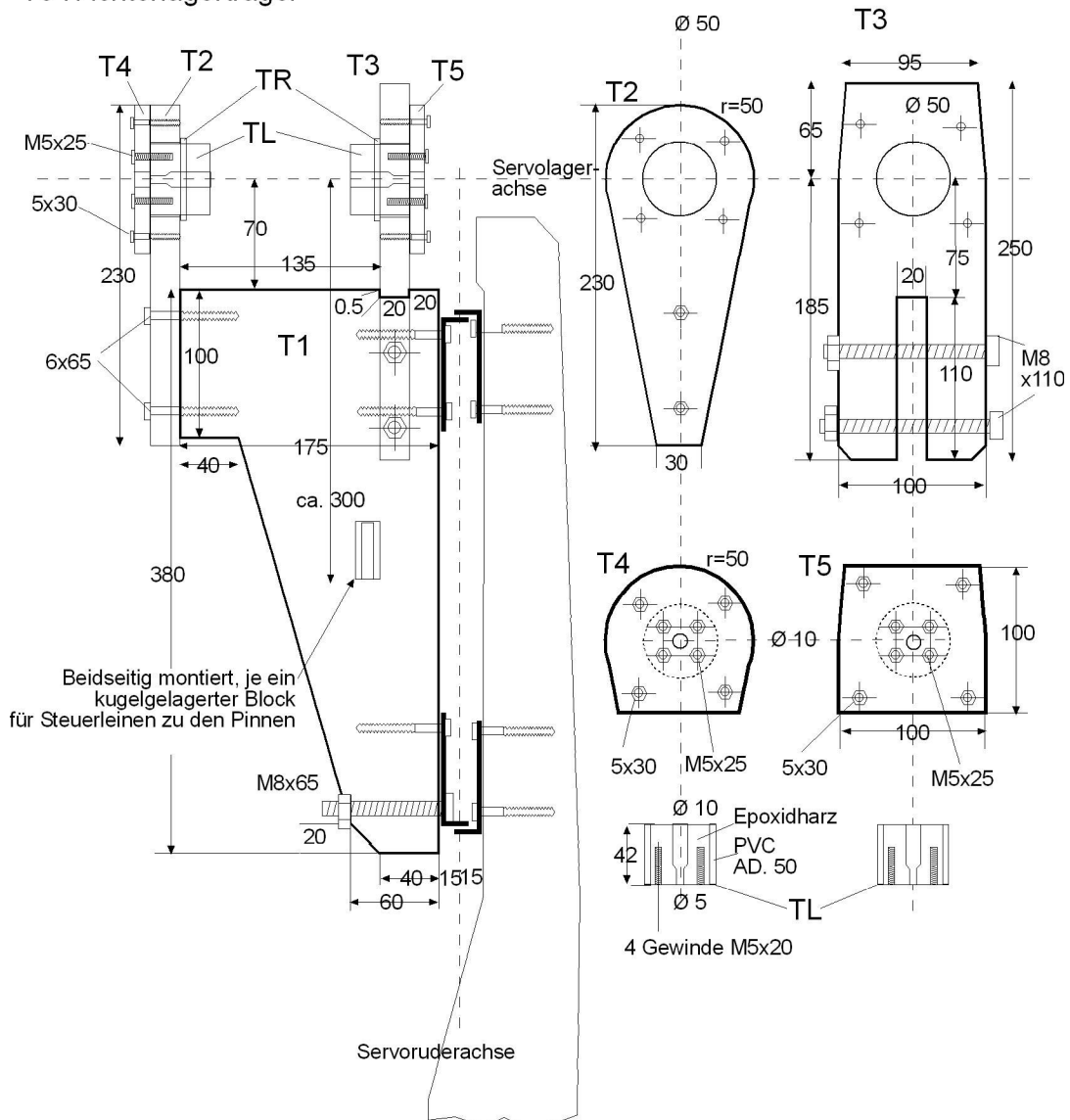
57 mm AD. PVC-Rohr:

TR: Lagerring, 3-4 mm

10 mm Sperrholz, wasserf. verleimt:

T4 : Vorderlagerträger

T5 : Achterlagerträger



Kursvorgabeglocke

Der Radius des Mastes ist etwas gering, je nachdem mit welcher Reibung sich der Mast in der Halterung drehen läßt. Daher bietet es sich an, oberhalb des Gehäuses eine größere Kunststoff- oder Holztrommel anzubringen, um die die Kursvorgabeleine gelegt ist.

Am einfachsten ist es, einen Einweg- Kunststoffbecher vom Durchmesser ca 10 cm innen zentrisch mit einem Stück Muffe für Abwasserrohre zu versehen, und den Becher dann mit einer Mischung aus Styroporkügelchen und Epoxidharz auszugießen.

Vorsicht: Es empfiehlt sich etappenweises Ausgießen, mit Mengen kleiner 50 Gramm, weil sich das Harz sonst durch die Reaktionswärme bei der Aushärtung selber entzünden kann. In Lagen größer 1 cm kann die Hitze der Reaktion nicht so schnell entweichen, wie sie entsteht, und die Reaktion wird dadurch zusätzlich beschleunigt. Wenn Sie nicht sicher sind, arbeiten Sie im Freien, und stellen Sie einen Eimer Löschwasser bereit, in den Sie den qualmenden Kunststoffrohling werfen können, wenn Ihnen das Harz wegen zu großer angesetzter Menge dennoch "durchgeht".

Man erhält nach der Entfernung des Kunststoffbechers einen Rohling mit passendem Innendurchmesser, den man auf eine Holzscheibe mit einem Loch laminiert.



Lackiert wird der Rohling mit einer Mischung aus PU-Lack und Sand. Die Montage am Mast erfolgt durch 4 kurze Edelstahlschrauben. Die Kursvorgabeleine wird an einer 5er-Maschinenschraube festgeknotet. Für die Maschinenschraube wird ins Harz eine 4mm Bohrung gesetzt, und dann eine Gewinde geschnitten.

Am Gehäuse wird eine Führungsplatte für die Kursvorgabeleinen angeschraubt – oder die Vordere Gehäuseplatte gleich 5 cm höher gefertigt (diese Anleitung).

Mastkopfträger aus Holz / GFK



Die weiter oben dargestellte Halterung des Mastkopfes am Mast mit Flachstahl -aluminium oder -messing hat sich in Kombination mit einem PVC-Mastrohr als unzweckmäßig erwiesen. Das Problem sind die einseitigen Zugkräfte am oberen Ende des Mastrohres. Dieses verformt sich langsam, aber sicher über Monate hin zu einem Oval.

Viel stabiler und leichter ist es, diese Halterung aus Holz zu fertigen: Aus 15 mm dicken Sperrholz, welches am oberen Ende mit zwei 10 mm dicken Sperrholzstreifen verdickt wird. Eine abgesägte Muffe für PVC-Rohr hält den Rohr-Querschnitt am oberen Ende des Mastes rund.

Zunächst bringt man dann die Bohrungen für die Montage des Windfahnenträgers an, und montiert diesen provisorisch. Danach wird die Muffe am Sperrholz montiert, und auf das Mastrohr aufgesteckt. Dann justiert man das Holz vertikal, fixiert es mit Klebeband. Drei große Bohrungen mit einem 14 mm-Forstnerbohrer werden auf der gegenüberliegenden Seite ins PVC-Rohr eingebracht, um später die Schrauben mit einem Steckschlüssel festziehen zu können.

Bitte nach dem Bohren der Schraubenlöcher die Imprägnierung des Holzes mit Holzschutzmittel nicht vergessen.

Nachdem das Sperrholz in der richtigen Lage am Rohr verschraubt ist (Unterlegscheiben für die Schrauben leicht rundlich biegen(!)), wird auf beiden Seiten das PVC aufgeraut und mit angedicktem Epoxidharz eine Hohlkehle verspachtelt. GFK-Streifen rund ums Rohr im oberen Teil können zur zusätzlichen Stabilisierung angebracht werden.

Die GFK-Fuge leitet das Gewicht des Mastkopfes und des Windfahnenträgers gleichmäßig ins PVC-Rohr ein. Die Hülse am oberen Ende des Mastes hält den Mastquerschnitt rund, und verteilt die einseitige horizontale Zugkraft am oberen Ende auf den gesamten Rohrquerschnitt.

Es folgen weitere Fotos:



Praktisch ist es, sich selber große Rändelschrauben- und Muttern aus faserverstärktem Epoxi-Guss herzustellen (Edelstahl-Flügelschrauben – und Muttern eingegossen) so dass man auch mit kalten, klammen Fingern keine Schwierigkeiten hat (nach K.-U Kramp, Schwerin).

Servoverstärkung - eingestellt mit der Windfahnenneigung

Die Servoverstärkung der Anlage bezeichnet den von der Anlage erzeugten Ruderausschlag-Winkel in Abhängigkeit von der Kursabweichung vom scheinbaren Wind. Die wiedergegebene Berechnungen berücksichtigen nicht die sofort einsetzende Kurskorrektur bei einer Kursabweichung, sondern geben vielmehr ein statisches Bild, welches jedoch sehr gut geeignet ist, um einerseits die Zusammenhänge deutlich zu machen, und andererseits die Grundlage für eine Optimierung der Anlage zu liefern. Die folgenden Parameter beeinflussen die Servoverstärkung:



Windfahnenneigung gegen die Horizontale

Untersetzung von Windfahne zu Servoruder (Anstellwinkel)

Hebelverhältnis Servoruderhebel zu Ruderhebel

Mit Ausnahme der Windfahnenneigung gehen alle Hebelverhältnisse linear in die Rechnung ein. Die folgende Tabelle zeigt die variable Servoverstärkung des Systems mit neigbarer Windfahnenachse. Berechnet ist der Ruderausschlag bei 5° Kursabweichung des Bootes vom scheinbaren Wind unter verschiedenen Windfahnenneigungen:

Neigung der Windfahnen-Achse gegen die Horizontale	10°	15°	20°	25°	30°
Ruderausschlag bei 5° Kursabweichung vom scheinbaren Wind	13,1°	9,0°	6,7°	5,3°	4,3°

Die obigen Daten ergeben sich aus folgenden Gleichungen (ungekrängtes Boot, Wind von achtern):

Windfahnenauslenkung = $\arctan (\tan(\text{Kursabweichung}) / \sin(\text{Neigungswinkel}))$.

Drehkraftrotationswinkel = Windfahnenauslenkung * $\cos(\text{Neigungswinkel})$

Untersetzung Drehkraft-Rotationswinkel zu Servoruder-Anstellwinkel = 2:1

Hebellängenverhältnis Servoruderhebel zu Ruder = 1:1

Man sieht, wie stark man das Steuerverhalten der Anlage durch die Windfahnenneigung den gegebenen Wind- und Seegangsbedingungen sowie der Schiffsgeschwindigkeit anpassen kann. In den meisten Fällen ist ein gedämpftes Steuern erwünscht, da dies weniger Ruderbewegung und damit Geschwindigkeitsverlust verursacht (25°-30° Windfahnenneigung).

Es gibt jedoch auch Bedingungen, in denen man sinnvollerweise eine höhere Servoverstärkung einsetzt: Bei Schwachwind von 1-3 m/s unter achterlichem bis raumem Kurs zum Wind. Hier nun die optimalen Einstellungen unter verschiedenen See- und Windbedingungen. Sie beruhen auf den Erfahrungen mit einem kleinen, agilen Kurzkieler.

Achterlicher bis raumer Wind

Spinnaker, Glattwasser, Speed 2,5-3,5kn:

Windfahnneneigung um 15°

Auf Glattwasser bei schwachwindigen Bedingungen muss bei achterlichen Winden die Servoverstärkung hoch, jedoch noch nicht maximal eingestellt sein. Das Boot läuft unterhalb der Rumpfgeschwindigkeit, und reagiert damit recht träge aufs Ruder. Unter solchen Bedingungen ist das Ziel, das Boot möglichst schnell auf Änderungen der Windrichtung- und Geschwindigkeit reagieren zu lassen, damit der Spi nicht einfällt, daher sinnvollerweise eine hohe Servoverstärkung.

Spinnaker, alte Dünung bis 0,5 m raumschots, Speed 2,5-3,5kn:

Windfahnneneigung 10°-15°

Dies nutzt die Gierdämpfung des beinahe maximal verstärkenden Servo-Systems und verursacht starke momentane Kurskorrekturen, um den Spi nicht einfallen zu lassen. Wird das Heck in einer Welle seitlich bewegt, so reagiert die Windfahne darauf im schwachen Wind sofort mit einer Gegenbewegung des Ruders in Wellenlaufrichtung.

Spinnaker, alte Dünung über 0,5 m raumschots, Speed 2,5-3,5kn:

Windfahnneneigung 15°-20°

Ist eine alte, schräg achterlich anlaufende Dünung zu hoch, so kann eine zu große Servoverstärkung das Schiff aufschaukeln und zum "Geigen" bringen- dies ist jedoch von der Periode der Wellen und der Eigenfrequenz des jeweiligen Schiffes abhängig (Periode des Mast-Kiel-"Pendels").

Speed kleiner 2,5kn:

Windfahnneneigung 10°

Ist die Wind- und Schiffsgeschwindigkeit bei raumem bis achterlichem Wind sehr gering, so kann man die maximale Servoverstärkung mit 10° Neigungswinkel ausnutzen, um die Trägheit der Reaktion des Schiffes aufs Ruder zu übersteuern. Die Grenze bei dieser Anlage ist erst dann erreicht, wenn das Schiff weniger als 1,8 kn läuft, und die Windjungfern bewegungslos nach unten hängen.

Halbwindkurs

Beim Halbwindkurs kommt es sehr auf die Seegangsbedingungen und die Segelführung (Krängung, Trimm) an, welche Windfahnneneigung optimal ist. Bei stärkerem Wind beginnt die Abdrift ebenfalls eine Rolle zu spielen, da durch sie das Servoruder tendenziell aus der Mittenstellung gedrückt wird. Ist starker seitlicher Seegang vorhanden, so addiert sich die Rollbewegung des Bootes beim Überqueren des Wellenkamms als Störfaktor.

Daher ist besonders auf Halbwindkurs ein hinsichtlich der Flächen von Vor- und Hauptsegel neutral getrimmtes Boot eine Grundvoraussetzung für eine gut funktionierende Windselbststeuerungsanlage.

Stabile Krängung (geringer Seegang)

Hat man eine stabile Krängung (geringer Seegang), so sollte man die Windfahnenneigung minimal auf 25° minus Krängungswinkel einstellen. Allerdings laufen viele Boote bei Glattwasser und gutgetrimmten Segeln auf halbem Wind bereits mit festgelaschtem Ruder mehr oder weniger geradeaus, so dass die WSA jetzt nur für geringe Kurskorrekturen gebraucht wird. Daher kann die Windfahnenachse auch auf einem größeren Neigungswinkel verbleiben - sie muss nicht notwendigerweise nachgestellt werden.

Instabile Krängung, Rollbewegung (hoher Seegang)

Beginnt das Schiff auf halbem Wind aufgrund der Seen zu rollen und zu gieren, so ändert sich dadurch bei jeder Passage eines Wellenkamms der Neigungswinkel der Windfahne gegen die Horizontale. Sehr negativ, weil übersteuernd wirkt sich dann aus, wenn die Windfahne auf einen zu kleinen Neigungswinkel justiert ist: Rolllt der Mast in die Vertikale oder sogar etwas gegen den Wind, so hat man in jenem Moment eine viel zu große Servoverstärkung. Also sollte bei rauen Seegangsbedingungen auf halbem Wind der Neigungswinkel eher bei höheren Werten (20 - 30°) liegen, auch wenn dadurch die Gierdämpfung des Systems geringer ist.

Amwindkurs

Auf einem Amwindkurs hat ein Einrumpfboot üblicherweise eine stabile, einseitige Krängung und damit entfallen die negativen Einflüsse auf die Kursstabilität durch Seegang (Rollen, gieren). Wichtig auf solch einem Kurs ist unter einer Windsteuerungsanlage, dass die Yacht nicht an der Windkante "Höhe kneifend" gesegelt wird, sondern genügend Geschwindigkeit hat.

Die Windfahne wird in ihrer Neigung so eingestellt, dass entsprechend des Seeganges die Kursänderungen des Bootes zum scheinbaren Wind gerade angesteuert werden.

Geringer Seegang und gleichmäßiger Wind

Bei **geringem Seegang und gleichmäßigem Wind** kann die Neigung der Windfahnenachse groß sein (25° - 30°), da die Yacht nur in geringem Maß von den entgegenlaufenden Wellen aus dem Kurs gebracht wird, und je nach Segeltrimm nur ein "Halten" des Ruders erforderlich ist. Bei böigem Wind und geringem Seegang sollte eine etwas höhere Servoverstärkung (Neigung Windfahnenachse 20° - 25°) gewählt werden, um das Boot schneller die Änderung der Richtung des scheinbaren Windes in den Boen zum Gewinn von mehr Höhe ausnutzen zu lassen.

Stärkerer Seegang

Bei **stärkerem Seegang** wird ggf. ein noch agileres Verhalten des Schiffes erforderlich sein und eine schnellere Kurskorrektur auf wellenbedingte Kursabweichungen notwendig.

Dann ist die Windfahnenneigung je nach mittlerer Krängung des Schiffes auf einen Bereich zwischen 10° und 20° einzustellen. Die tatsächliche Neigung der Windfahne gegen die Horizontale ist wegen der Krängung etwas höher. Damit erzielt man ein Verhalten, welches auch die kurzfristigen wellenbedingten Kursabweichungen schnell aussteuert, ohne zu übersteuern.

Allerdings ist hierbei Voraussetzung, nicht zusehr untertakelt zu segeln, damit eine Krängung von 15° - 25° nicht unterschritten wird, und die Geschwindigkeit des Bootes gegenüber der Abdrift deutlich überwiegt.

Bemerkungen zur USD (Upside-Down) Windfahne

Die USD-Windfahne (Jan Alkema) ist ein Konzept, bei dem die Windfahne nach unten und das Gegengewicht nach oben zeigt. Der Entwickler des Konzeptes, Jan Alkema, hat nachgewiesen, dass dieser Windfahnentyp unter bestimmten Voraussetzungen Vorteile gegenüber einer „normalen“ USU (Up side up) Windfahne hat.

Das USD-Konzept bewirkt, dass die Neigung der Windfahnenachse gegenüber der Horizontalen mit der Krängung des Schiffes abnimmt, während bei einer „normalen“ Windfahne die Neigung der Windfahnenachse mit der Krängung des Schiffes zunimmt.

Die USD-Windfahnenachse hat üblicherweise einen Winkel von 30° gegen die Horizontale. Diesen Winkel mit der daraus resultierenden Servoverstärkung (siehe Tabelle oben) hat die Windfahnenachse bei ungekrängtem Schiff, also mit vertikalem Mast. Krängt das Schiff, so wird die Neigung der USD-Windfahnenachse gegen die Horizontale geringer, und damit die Servoverstärkung größer.

Jan Alkema geht bei seinen Überlegungen von folgenden Voraussetzungen aus:

1. Bei achterlichem sowie raumem Wind, wenn das Schiff nur minimale Krängung hat, braucht man die geringste Servoverstärkung (d.h. geringen Ruderausschlag in Abhängigkeit von der Kursabweichung zum scheinbaren Wind).
2. Bei Halb- und Amwindkurs braucht man eine höhere Servoverstärkung, d.h. einen stärkeren Ruderausschlag in Abhängigkeit von der Kursabweichung.

Unter diesen Voraussetzungen mag das USD-Konzept schlüssig scheinen, weshalb der Entwickler auch mit einem Yacht-Innovationspreis dafür ausgezeichnet wurde.

Allerdings ergeben sich aus dem USD-Konzept eine Reihe von Problemen, weshalb das Konzept für diese Anleitung verworfen wurde:

Maststabilität, Schwerwettertauglichkeit:

Man braucht einen Mast für die Windfahne, der mindestens um Windfahnenlänge höher ist, als bei einer normalen Windfahne. Dies ergibt besonders bei schwerem Wetter erhebliche Stabilitätsprobleme.

Übersteuerung durch Krängung:

Segelt man auf Glattwasser bei halbem Wind mit 30° Krängung, so ist die Neigung der Windfahne bereits null Grad gegen die Horizontale, und die Servoverstärkung damit unendlich: Die Anlage arbeitet unter solcher Bedingung zwangsläufig instabil und steuert Schlangenlinien – obwohl man nur geringste Ruderausschläge zur Kurskorrektur bräuchte.

Übersteuerung durch Rollen im Seegang:

Segelt man bei Seegang auf halbem Wind, so wird man je nach Höhe des Seegangs wechselnde Krängungswinkel des Bootes im Bereich von -10° bis +40° erleben. Auch unter diesen Bedingungen wird man mit USD-Windfahne genau in dem Moment, wenn das Boot in einer anlaufenden seitlichen Welle stark leewärts rollt, eine heftige Überreaktion der Windfahne und damit des Ruders erleben.

Dabei ist es dann eher Zufall, in welche Richtung stark Ruder gelegt wird, lee- oder luvwärts. Dieses unvorhersehbare Verhalten kann je nach Wellenlaufrichtung unter Umständen dazu führen, dass das gekrängte Schiff entweder hart nach Lee abdreht und die Welle hinuntersurft, oder hart nach Luv abdreht und aus dem Halbwindkurs fast einen Sonnenschuss über den Wellenkamm

vollführt, dabei beinahe stehenbleibt. Die normal Windfahne verhält sich genau umgekehrt: Rollt das Schiff leewwärts, so wird das Ruder eher nur auf Kurs gehalten, während eine stärkere Kurskorrektur in dem Moment erfolgt, wenn das Boot auf oder hinter dem Wellenkamm luvwärts rollt. Damit erfolgt die Kurskorrektur bei normaler Windfahne genau dann, wenn das Ruder die geringste Belastung erfährt.

Neigung zum „in den Wind schießen“ beim Amwindkurs

Fällt auf dem Amwindkurs eine Bö ein, so bedeutet dies für das Boot zunächst eine sofortige stärkere Krängung mit nachfolgender Beschleunigung und damit vorlicher einfallendem scheinbaren Wind. Zudem ist konstruktiv bei den meisten Booten eine „gutmütige“, mit der Krängung zunehmende Luvgerigkeit vorgesehen.

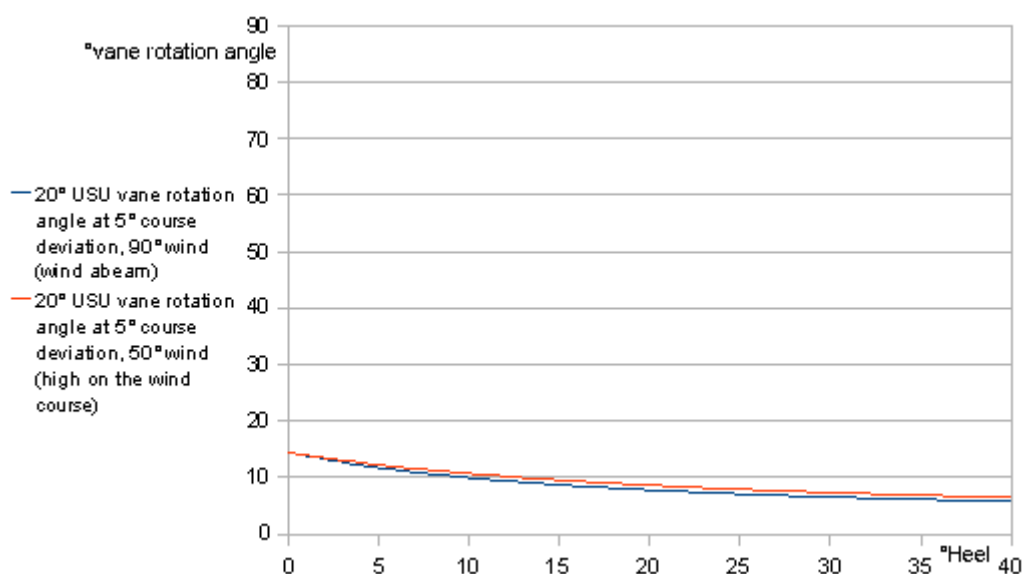
Während eine „normale“ Windfahne bei stärkerer Krängung das Schiff ruhiger auf Kurs hält, und die Beschleunigung des Bootes langsam nachsteuert, reagiert die USD-Windfahne bei der starken Anfangskrängung in einer Boe mit Hartruder - und bei genügend Krängung, z.Bsp. durch Seegang, auch ggf. in die verkehrte Richtung: In den Wind.

Die normale Windfahne dagegen, kurz nach dem Überqueren eines Wellenkamms, wenn das Boot auf Amwindkurs geringere Krängung aufweist und surfend beschleunigt, steuert mit größerem Ruderausschlag und stärker kurskorrigierend, während die USD-Windfahne in dieser Lage „einschläft“.

Im folgenden zwei Grafiken, die das unterschiedliche Steuerverhalten der beiden Konzepte USU - USD-Windfahne belegen, aufgetragen sind die Windfahnenrotation in Abhängigkeit von der Krängung (Heel) des Bootes, jeweils bei 5° Abweichung des Bootes vom richtigen Kurs zum Wind.:

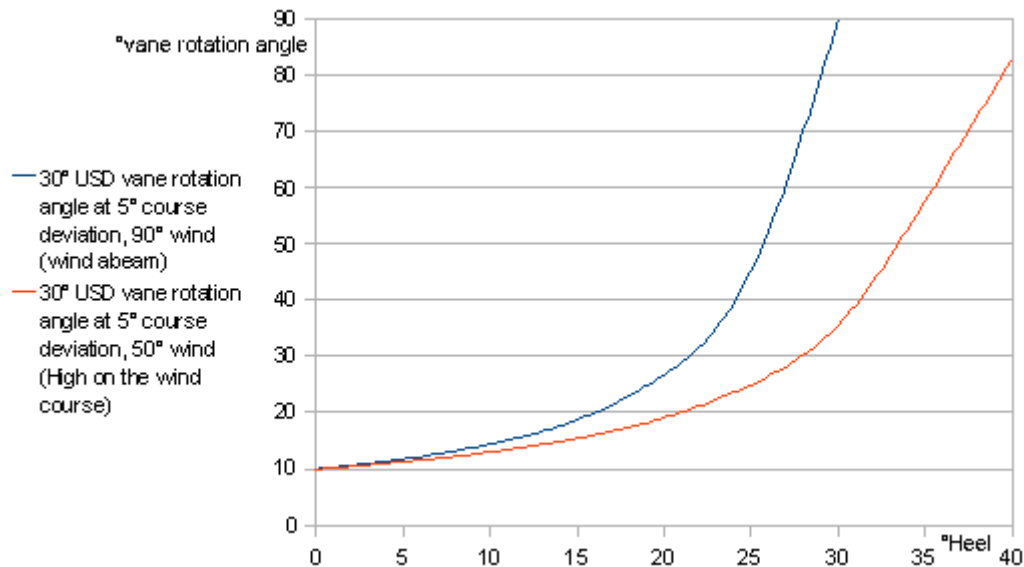
Zunächst die "normale" Windfahne, blaue Linie: Halbwindkurs, rote Linie: Amwindkurs.

Die Windfahnenrotation (und damit auch mit entsprechender Untersetzung die Kurskorrektur am Ruder) liegt beim ungekrängten Boot bei ca 14° und nimmt mit zunehmender Krängung langsam bis auf ca die Hälfte dieses Wertes ab. Es besteht dabei kein wesentlicher Unterschied zwischen Halbwind- und Amwindkurs.



Dagegen für die Upside-Down-Windfahne:

Der Halbwindkurs ist besonders kritisch. Erreicht das Boot eine Krängung (Heel), die dem (negativen) Neigungswinkel der Windfahne entspricht, so funktioniert die Windfahne nicht mehr proportional zur Kursabweichung, sondern wird zum backbord/steuerbord-Schalter, der entweder hart Backbord oder hart Steuerbord legt - soweit es die Verbindung von Servoruder zu Ruder zulässt.



Beim Amwindkurs ist das Problem immer noch vorhanden, wenn auch in etwas schwächerer Form: Verschoben zu etwas größeren Krängungswinkeln.

Fazit:

Auf einem Boot, welches zumeist mehr oder weniger aufrecht segelt (max. Krängung: 20° auch im Seegang) mag die USD-Windfahne Vorteile bieten.

Der Vorteil, bei achterlichen bis raumen Kursen einen - konstruktiv festgelegt - größten Anstellwinkel gegenüber der Horizontale zu bieten, ist nur für kursstabile Langkieler ein Vorteil. Denn dadurch fehlt die Möglichkeit, die Trägheit der Ruderreaktion bei Geschwindigkeiten weit unterhalb der Rumpfgeschwindigkeit des Bootes durch einen geringeren Winkel der Windfahnenachse auszugleichen. Das macht die USD-Windfahne weniger tauglich für schwachen Wind auch auf achterlichen bis raumen Kursen.

Das Verhalten eines Bootes im Seegang und die damit zusammenhängende momentane Belastung unter Welleneinwirkung lassen das USD-Konzept fragwürdig hinsichtlich der Belastung der Ruderanlage erscheinen: Kurskorrekturen nehmen mit der Krängung zu – genau dann, wenn das Boot stark belastet wird. Die normale Windfahne korrigiert dann stärker, wenn das Boot aufrecht ist.