

IBoaT-Report 3.4

Projekt Fit & Sail

**Konzept ComfoDrive:
Dynamik, Ergonomie und Sicherheit des
Manövrierens von Segelyachten unter Motor**

Wolf-Dieter Mell

August 2007

Dipl.-Ing. Dr. Wolf-Dieter Mell

Institut für Boots-Tourismus (IBoaT)

Jenastr. 14
D-53125 Bonn
Tel.: (+49) 228 -25 62 92
Fax: (+49) 228 -25 87 80
email: mell@iboat.de
Internet: <http://www.iboat.de>

IBoaT-Report

Arbeitsbericht des Institutes für Boots-Tourismus

- ISSN: 1860-7888 IBoaT-Report (Print)
1860-7896 IBoaT-Report (Internet)
- Herausgeber: Dipl.-Ing. Dr. Wolf-Dieter Mell
Institut für Boots-Tourismus (IBoaT), Bonn
- Druck: Dipl.-Ing. Dr. Wolf-Dieter Mell
Institut für Boots-Tourismus (IBoaT), Bonn
Printed in Germany
- Vertrieb: Dipl.-Ing. Dr. Wolf-Dieter Mell
Institut für Boots-Tourismus (IBoaT), Bonn
IBoaT-Report: Booklet geheftet,
Preis pro Heft: 10,00 € (inkl. MwSt. und Versand),
Bestellung: <http://www.iboat.de/iboat-report/index.htm>

Das Institut für Boots-Tourismus (IBoaT) ist eine private, unabhängige wissenschaftliche Forschungs- und Beratungseinrichtung.

Inhalt

1	Vorbemerkung und Dank	4
2	Ausgangslage und Ziele	8
3	Dynamische Eigenschaften typischer Antriebs- und Manövriersysteme von Segelyachten unter Motor	10
3.1	Einzelantrieb mit fester Welle und Ruder; Drehkreis, "Radeffekt"	10
3.2	Anmerkung: Abdrift durch Seitenwind	17
3.3	Querstrahlanlagen, Querschub und Drehmoment	19
3.3.1	Bug- und Heckstrahlruder im Verbund	21
3.4	Drehbare Antriebe (azimuthing thrusters), Pod-Antrieb	23
3.4.1	Ein einzelner drehbarer Antrieb plus Bugstrahlruder	27
3.5	Weitere Manövriersysteme	28
3.5.1	Drehbare (azimuthing) Doppelantriebe	28
3.5.2	Pumpjets	31
3.6	Zusammenfassende Beurteilung der Ausrüstungsoptionen für Segelyachten unter Motor	32
4	Ergonomie, intuitive Bedienung und Sicherheit	33
4.1	Problemlage	34
4.2	Typische Positionen der Bedienelemente auf Booten mit Pinnensteuerung und Radsteuerung	35
4.3	Hauptmaschine mit fester Welle und Ruder	36
4.4	Drehbare Außenbordmotore	37
4.5	Querstrahlanlagen	38
5	Das ComfoDrive-Konzept	40
5.1	Ansatz, Begründung und Umsetzung	40
5.2	Stand des Marktes: Ähnliche Konzepte	48
5.2.1	Volvo Penta IPS Joystick	49
5.2.2	Vetus Pro-Docker	50
5.3	Ausblick: ComfoDrive als Schnittstelle zu Assistenzsystemen	51
6	Zusammenfassung	53
7	Quellen	54
8	Verzeichnis der Abbildungen	55
9	Haftungsausschluss und Kontakt	56

1 Vorbemerkung und Dank

Das Institut für Boots-Tourismus (IBoaT) ist eine unabhängige wissenschaftliche Forschungs- und Beratungseinrichtung. Aufgabe des Institutes ist die Erhebung und Analyse von Daten, Strukturen und Prozessen für den Bereich des Boots-Tourismus, die Untersuchung von Zusammenhängen und die Bereitstellung handlungsrelevanter Ergebnisse für die Akteure in diesem Segment.

In Zusammenarbeit mit dem Bundesverband Wassersportwirtschaft e.V. in Köln und dem Institut für Sport und Sportwissenschaften der Universität Kiel hat IBoaT im Jahr 2005 das Forschungsprojekt "Fit & Sail" zur Untersuchung der körperlichen und mentalen Auswirkungen des Fahrtensegelns auf ältere Menschen initiiert.

Das Projekt hat folgende Ziele:

1. Sportmedizinische Beobachtung, Erfassung und Auswertung körperlicher und mentaler Belastungen männlicher und weiblicher Probanden unterschiedlichen Alters (unter besonderer Berücksichtigung der Altersgruppe 60+) bei unterschiedlichen typischen Aktivitäten auf Fahrtensegelbooten unter Segel und unter Motor. Auswertung der Ergebnisse im Hinblick auf alters- und geschlechtsabhängige Belastungsniveaus und deren gesundheits-, sport- und trainingswissenschaftliche Interpretation.
2. Vergleichende, experimentelle Erprobung innovativer konstruktiver und gerätetechnischer Maßnahmen und deren ergonomischer Optionen zur Reduzierung von Belastungsspitzen, zur Absenkung von Nutzungsschwellen und zur Verbesserung der Handhabbarkeit und der Bedienungssicherheit von Fahrtensegelbooten insbesondere durch ältere männliche und weibliche Segler.
3. Zusammenfassung der Ergebnisse zu Empfehlungen
 - einerseits für aktive und potentielle Segler zur gesundheitsrelevanten Gestaltung des Fahrtensegelns,
 - andererseits für die Käufer, Hersteller und Ausrüster von Fahrtensegelbooten zu gesundheits- und belastungsoptimierenden konstruktiven und technischen Optionen bei der Gestaltung und Ausrüstung von Booten.

Ein spezieller Aspekt der Nutzung eines modernen Fahrtensegelbootes ist das Manövrieren unter Motor bei langsamer Fahrt in Häfen, Schleusen und anderen "engen Räumen". Hier kann es auf Grund der dynamischen Fahreigenschaften von Fahrtenseglern unter Motor insbesondere bei Störgrößeneinfluss (z.B. Seitenwind oder Strömung) zu Situationen kommen, in denen der Rudergänger den Kurs seines Bootes nicht mehr ausreichend sicher unter Kontrolle hat.

Diese Situationen sind vielfach beschrieben, analysiert und mit guten Ratschlägen kommentiert worden (s. u.a. Yacht 16/2005 Seite 34-37 "Mut zur Lücke" und Seite 38-49 "Seemannschaft Hafenmanöver").

Sich abzeichnende Kontrollverluste lösen bei den betroffenen Crews i.d.R. deutlich erhöhte Pulsfrequenzen und Stresssymptome - gelegentlich bis zur Panik - aus (s. IBoaT-Report 3.1: Langzeitmessung Herzkreislaufbelastung Fahrtensegeln und Alltagsaktivitäten).

Betroffen von Manövrierproblemen sind Crews aller Altersgruppen, meist mit geringer jährlicher Fahrpraxis. Ältere Menschen neigen allerdings dazu, Situationen, die sie voraussichtlich überfordern, vorsorglich aus dem Wege zu gehen. D.h.: Ein älterer Skipper, dem das Manövrieren seiner Yacht "zu anstrengend" geworden ist, wird das Boot aufgeben und sich weniger stressreichen Beschäftigungen widmen.

Das Teilprojekt "ComfoDrive" untersucht unter diesem Gesichtspunkt die Frage, ob und wie mit Hilfe technischer Lösungen das Manövrieren einer Yacht unter Motor auf "engem Raum" und bei Störgrößeneinfluss für den Rudergänger vereinfacht und damit sicherer und weniger anstrengend gemacht werden kann.

Im Jahre 2005 wurde hierzu von IBoaT ein erster Lösungsansatz entwickelt, bei dem mit Hilfe eines zentralen Joysticks und zusätzlichen Querstrahlrudern ein sicheres und auch bei sehr langsamer Fahrt zuverlässiges "intuitives" Manövrieren ermöglicht werden soll.

Im Verlauf des Jahres 2006 wurde dieses Konzept zu einem Prototyp weiterentwickelt und für erste Untersuchungen zunächst in das kleinere Forschungsboot des Projektes "Fit & Sail", eine 7 m lange Neptun 22, eingebaut. Mit diesem Boot wurden im Sommer 2007 umfangreiche Tests gefahren.

In dem vorliegenden Bericht werden die grundlegenden dynamischen und ergonomischen Eigenschaften der Manövrieroptionen typischer Segelyachten unter Motor analysiert sowie die heute verfügbaren technischen Lösungen zur Verbesserung der Manövrierfähigkeit dargestellt und mit Messergebnissen erläutert.

Hierauf aufbauend werden dann die technischen und ergonomischen Eigenschaften des ComfoDrive-Konzeptes beschrieben und die Testergebnisse bewertet.

Wir danken folgenden Sponsoren, die das Projekt "Fit & Sail" und das Teilprojekt "ComfoDrive" mit Sach- und Dienstleistungen oder finanziellen Zuwendungen großzügig unterstützen (Stand: 7/2007):

- **HanseYachts AG**
Salinenstraße 22
D-17489 Greifswald
Telefon: 03834 - 57 92 0
e-mail: zentrale@hanseyachts.com
www.hanseyachts.com/

- **ancora Marina GmbH & Co KG**
An der Wiek 7 - 15
D-23730 Neustadt / Holstein
Telefon: 04561 - 51 71 0
e-mail: info@ancora-marina.com
www.ancora-marina.com

- **A.W. Niemeyer GmbH**
Holstenkamp 58
D-22525 Hamburg
Telefon: 040 - 89 96 97 220
e-mail: service@awniemeyer.de
www.awniemeyer.de

- **International Marine Certification Institute (IMCI)**
Rue Abbé Cuypers 3
B-1040 Brussels
Telefon: +32 - 2 - 74 16 83 6
e-mail: info@imci.org
www.imci.org

- **Volvo Penta Central Europe GmbH**
Am Kiel-Kanal 1
D-24106 Kiel
Telefon: 0431 - 39 94 0
www.volvopenta.com

Einen speziellen Dank schulden wir Herrn Rainer Laube, der im Vorfeld der ComfoDrive-Entwicklung das technische Konzept mit Joystick, Hauptmaschine, Querstrahlruder und Schaltalgorithmen in einem ferngesteuerten Modellboot für uns realisiert hat, so dass wir bereits frühzeitig prüfen konnten, wie sich das Manövrieren eines Bootes mit einem Joystick "anfühlt".

Der vorliegende IBoaT-Report wird ergänzt durch eine Gaststudie von **Prof. Dr.-Ing. Jürgen Büddefeld** und seinen Mitarbeitern am Institut für angewandte Nano- und optische Technologien der Hochschule Niederrhein, die unter dem Titel

Stand der Entwicklung von Assistenzsystemen und deren Technologien zur Unterstützung von Navigation und Manövern im Nahbereich u.a. in der Berufsschifffahrt

als IBoaT-Report 3.5 im August 2007 herausgegeben wurde. Wir danken Herrn Prof. Büddefeld und seinen Mitarbeitern sehr herzlich für die Zusammenarbeit und die fachliche Unterstützung bei der Untersuchung dieses Themenfeldes.

2 Ausgangslage und Ziele

Im Rahmen der Voruntersuchungen zum Projekt "Fit & Sail" zeigte sich bereits sehr früh, dass - nicht nur, aber auch - für ältere Segler u.a. das Manövrieren einer hochbordigen modernen Segelyacht unter Motor bei langsamer Fahrt z.B. in engen Häfen und in Schleusen vor allem bei kräftigem Wind oder bei Abdrift durch Strömung eine sportmedizinisch messbare anstrengende bis sehr anstrengende Tätigkeit darstellt.

Hinzu kommt die Beobachtung, dass vor allem Rudergängern mit geringer Fahrpraxis in diesen Situationen gehäuft Fahrfehler unterlaufen, die nicht selten die Sicherheit des eigenen Bootes und die der Nachbarboote gefährden.

Es wurde deshalb im Rahmen des Projektes nach Lösungen gesucht, mit denen dieses Manövrierproblem entschärft werden könnte.

Die begrenzten Manövriermöglichkeiten konventionell ausgerüsteter motorisierter Schiffe sind seit langem bekannt und werden vorrangig in der Berufsschiffahrt seit spätestens Mitte des 20. Jahrhunderts offensiv angegangen. Ziele sind hier einerseits die Rationalisierung und Beschleunigung der Transporte, andererseits die Verbesserung der Präzision und der Sicherheit von Manövern vor allem in den Häfen und an den Kais sowie die Herstellung größtmöglicher Autonomie und Unabhängigkeit der Schiffe, z.B. von Schlepperunterstützung, auch und besonders bei ungünstigen Randbedingungen, z.B. kleinen Manövrierräumen, starkem Wind, Seegang und Strömung.

Einen Überblick über den Stand der Technik für die Manövrierunterstützung in der Berufsschiffahrt ist in dem IBoaT-Report 3.5 von Jürgen Büddefeld zusammengestellt.

Im Bereich des Fahrtensegelns ist zum Einsatz von Technik für die Manövrierunterstützung eine eher konservative Grundhaltung festzustellen. Der Einsatz von Motoren auf Segelbooten hat auch dort, wo er unumgänglich ist, nach wie vor das Image des Unsportlichen. Für viele Segler ist das "Anlegen unter Segeln" immer noch das eigentlich Angemessene und das Anwerfen des Motors die Notlösung.

Während also einerseits z.B. bei der Navigation der Einsatz modernster Elektronik selbstverständlich geworden ist und die Autopiloten auf den meisten Fahrtenbooten nicht mehr mit mechanischen Windfahnen sondern mit GPS-gestützten Routen steuern, sind im Bereich der motorischen Antriebe auf Fahrtenseglern Bugstrahlruder selten und eher verpönt und selbst Heckstrahlruder geschweige denn elektrische Pod-Antriebe oder Pumpjets (z.Z. die Stars in der Berufsschiffahrt) praktisch unbekannt.

Es ist nicht die Aufgabe einer technischen Untersuchung, die partielle Technikdistanz der Fahrtensegler zu kritisieren. Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass gute Seemannschaft auch und besonders die vorausschauende Vorsorge für die sichere und kontrollierte Beherrschung des Schiffes unter den vorhersehbaren Bedingungen voraussetzt. Hierzu gehören ganz sicher die Manöver "auf engem Raum" und unter ungünstigen Randbedingungen.

Wie "das 3. Programm" an windigen Tagen in den Häfen und Schleusen zeigt, sind erfahrene Skipper durchaus in der Lage, "mit allen Tricks" ihre Boote unter Motor sicher an den Liegeplatz zu bringen. Ein erheblicher Anteil der weniger routinierten Rudergänger aber tut sich mit der komplizierten Dynamik von Motor und Ruder bei langsamer Fahrt (s. Kap. 3) schwer. Dieser Gruppe bleibt dann neben der Option "no risk, no fun" aus Verantwortung für die Sicherheit von Boot und Crew häufig nur die Wahl, bei schwierigen Bedingungen im Hafen zu bleiben, auch wenn das Wetter "draußen" optimalen Segelspaß verheißt.

Wir möchten zeigen, dass es technische Lösungen für dieses Problem gibt.

Die Gebrauchseigenschaften eines Mensch-Maschine-Systems - wie z.B. eines Rudergängers am Steuerstand seiner Segelyacht unter Motor - lassen sich unter vier Aspekten beurteilen:

1. Die Funktionen des technischen Systems, was kann es und welchen Handlungsspielraum hat der Benutzer unter Ausnutzung aller Bedienmöglichkeiten.
2. Die ergonomische Gestaltung des technischen Systems, also die Anpassung von Gestaltung, Position und Bedienungsaufwand der Bedienelemente an die körperlichen und sensorischen Fähigkeiten des Benutzers und an die Aufgabe, die der Benutzer mit dem System erledigen soll. "Gute Ergonomie" wird dabei i.d.R. mit komfortabler Handhabung gleichgesetzt.
3. Die intuitive Bedienbarkeit des technischen Systems, also die Anpassung der Bedienfunktionen an die vom Benutzer erwarteten Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge, die es ihm ermöglicht, spontan und ohne die Funktionsmechanismen durchdenken zu müssen, mit den Bedienelementen die gewünschten Wirkungen zu erzeugen. Die intuitive Bedienbarkeit eines Systems ist wesentlich abhängig von den alltäglichen Routine-Erfahrungen des Benutzers im Umgang mit "ähnlichen" Systemen. Eine "gute", an die Erfahrungen des Benutzers angepasste intuitive Bedienbarkeit verringert signifikant die Häufigkeit von Bedienfehlern, insbesondere in Stress-Situationen und ist damit ebenfalls ein Sicherheitsfaktor.

4. Die Sicherheit des Systems bezogen auf alle denkbaren Zustände und Randbedingungen. Unter diesem Aspekt sollen im konkreten Fall Manövrierzustände untersucht werden, in denen der Rudergänger die Bewegung des Bootes nicht mehr beeinflussen kann und das Boot autonom treibt. Ein typisches Beispiel wäre eine Konfiguration unter Motor mit starrer Welle und einer Situation, in der das Boot weder nach vorne noch rückwärts Freiraum hat und mangels Querschuboptionen seitwärts abgetrieben wird.

3 Dynamische Eigenschaften typischer Antriebs- und Manövriersysteme von Segelyachten unter Motor

In den folgenden Abschnitten sollen zunächst die Eigenschaften typischer Antriebs- und Manövriersysteme an Hand der auftretenden Kräfte und Drehmomente beschrieben werden.

3.1 Einzelantrieb mit fester Welle und Ruder; Drehkreis, "Radeffekt"

Technisches Konzept:

- Ein einzelner Propellerantrieb mit starrer Welle befindet sich im hinteren Teil des Segelbootes auf der Längsachse unter dem Schiffsboden zwischen Kiel und Ruderblatt. Die durch die Rotation des Propellers erzeugte Strömung bewirkt einen horizontalen Schub in Richtung der Längsachse, je nach Drehrichtung des Propellers mit der Schubkrafttrichtung nach vorne oder nach achtern.
- Ein Ruderblatt ist in der Nähe des Hecks auf der Längsachse unter dem Schiffsboden um eine senkrechte Achse drehbar angebracht. Wird das Ruderblatt gegenüber der Längsachse um einen Winkel angestellt, so wird ein Teil der durch den Propeller und/oder die Schiffsbewegung erzeugten Wasserströmung durch das Ruderblatt abgelenkt. Hierdurch entsteht eine quergerichtete Schubkraft, deren Richtung und Stärke u.a. vom Ruderwinkel und von der Strömungsgeschwindigkeit abhängt. In Verbindung mit dem Wasserwiderstand des Lateralplanes bewirkt die Querkraft eine horizontale Drehung des Schiffes um eine Drehachse auf dem Vorschiff in der Nähe des Bugs.

Besondere Eigenschaften:

Das Schiff ist mit dem Ruder nur manövrierbar, wenn das Ruderblatt entweder durch den Propeller des Antriebs (Fahrt voraus) und/oder durch die Schiffsbewegung im Wasser angeströmt wird.

Bei Fahrt voraus unter Motor und angestelltem Ruder entsteht ein Drehmoment in der Nähe des Bugs. Zu Beginn des Drehmanövers schwenkt dadurch das Heck deutlich "nach außen" aus.

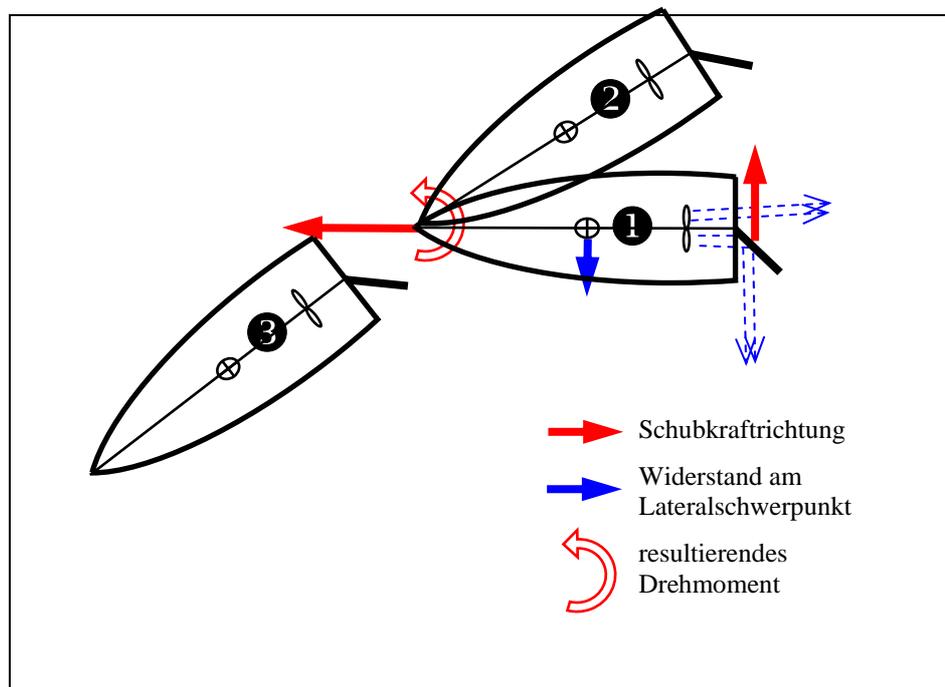


Abb. 3-1: Bewegungselemente des Drehmanövers vorwärts

Die Abb. 3-1 zeigt schematisch die Bewegungselemente des Drehmanövers:

Bei Fahrt voraus unter Motor wird das Ruderblatt (z.B. um 45° nach BB) angestellt. Der Wasserstrom wird teilweise abgelenkt, es entsteht ein Drehmoment in der Nähe des Bugs.

1. Das Heck schwenkt deutlich nach StB aus.
2. Fahrt voraus entlang der gedrehten Längsachse, Beginn eines Drehkreises.

Wird bei sehr langsamer Fahrt oder bei Stillstand des Bootes das Ruder angestellt und mit dem Motor ein kurzer, kräftiger Schubimpuls voraus gegeben, so erfolgt zunächst kurzfristig das Ausschwenken des Hecks. Erst anschließend

setzt sich das Boot, abhängig von seiner Massenträgheit und der Schubintensität, nach vorne in Bewegung.

Hinweis 1:

Wird die Vorwärtsbewegung des Bootes bei diesem Manöver durch eine Fixierung im Bereich des Vorschiffes - z.B. durch eine Spring - verhindert, so kann dieser Effekt dazu genutzt werden, das Boot horizontal zu drehen (z.B.: "Dampfen in die Spring").

Anmerkung:

Ein anstellbares Ruderblatt ist nach dem Stand der Technik die einzige praktisch nutzbare Technik, um eine Segelyacht in Fahrt unter Segeln und ohne motorische Unterstützung schnell und sicher zu manövrieren. Eine alternative Option wäre bei starrem Lateralplan die Verschiebung des Segeldruckpunktes gegenüber dem Lateralschwerpunkt, um ein gewünschtes Drehmoment zu erzeugen. Diese Technik wird bei Großsegler-Manövern auf offenem Wasser verwendet, ist aber auf Fahrtenseglern als Manövriertechnik außerhalb der Unterstützung von Wenden und Halsen unpraktikabel. Die Verschiebung des Segeldruckpunktes in kleinem Maßstab wird hier nur für den Trimm des Bootes unter Segeln eingesetzt.

Fahrt voraus, Drehkreis:

Bei einem Einzelantrieb mit fester Welle und Ruder bestimmt in Fahrt voraus der minimale Drehkreis bei optimal angestelltem Ruder den Standard-Handlungsspielraum des Rudergängers.

Der optimale Anstellwinkel des Ruders für einen möglichst kleinen Drehkreis beträgt ca. 45° , da bei diesem Winkel das anströmende Wasser angenähert rechtwinklig abgelenkt wird und dadurch eine maximale Querkraft erzeugt.

In Fahrt voraus ergaben unsere Messungen von Drehkreisen bei 45° Ruderlage mit einem kleinen Kajütkreuzer für Geschwindigkeiten zwischen 0,5 – 2 m/sec. (1 – 4 kn) keine signifikante Abhängigkeit des Drehkreisdurchmessers von der Bootsgeschwindigkeit.

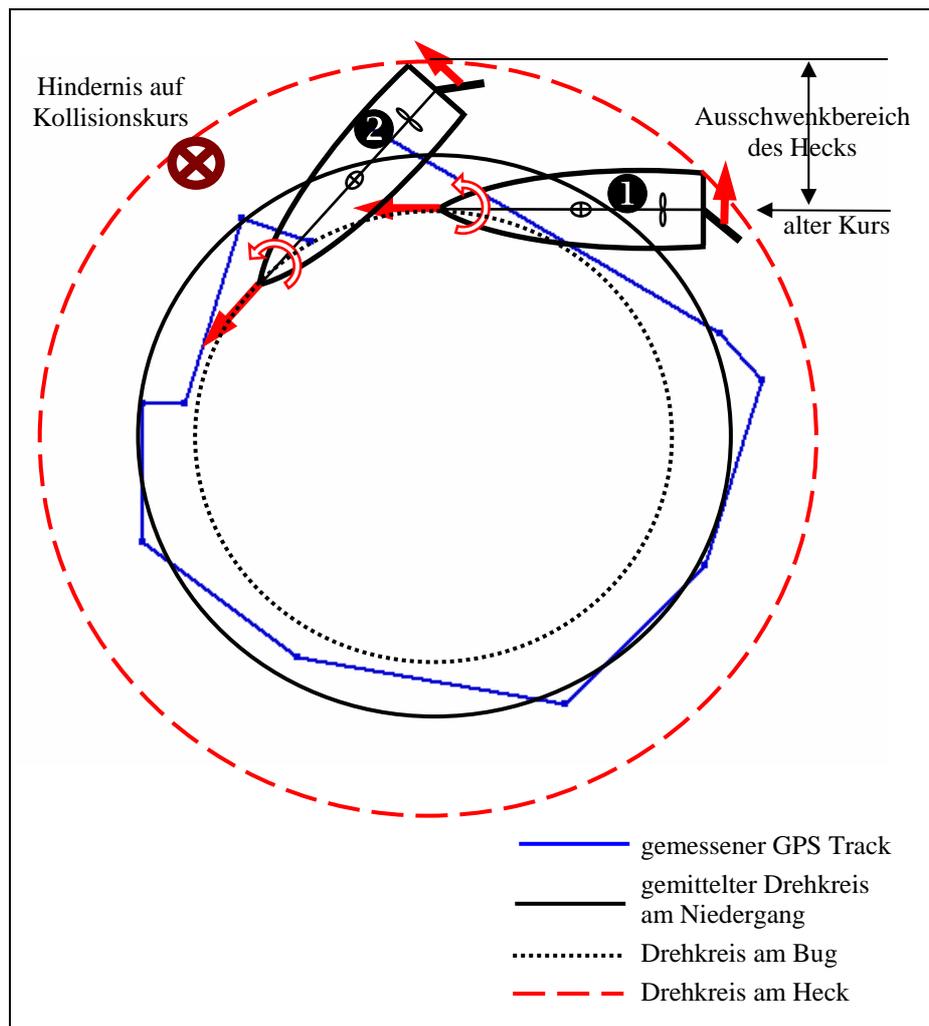


Abb. 3-2: Eigenschaften des Drehkreises vorwärts unter Motor

Die Abb. 3-2 zeigt ergänzend zu Abb. 3-1 schematisch die Vorgänge bei der Einleitung eines Drehmanövers:

Der Umfang des minimalen Drehkreises ist selbstverständlich abhängig u.a. von der Bootslänge und der Form des Unterwasserschiffes. Bei Fahrtensegelbooten mit Einzelantrieb und Ruder hat im unteren Geschwindigkeitsbereich der Durchmesser des Drehkreises - gemessen am Niedergang - eine Größenordnung von ca. 2,5-facher Bootslänge.

Das Boot kommt im Beispiel mit einem geradlinigen Kurs "von rechts" und legt an Position ① Ruder "hart Backbord" (ca. 45°). Es beginnt eine Drehung um die Achse des Drehmomentes in der Nähe des Bugs.

Der Ausschwenkbereich des Hecks aus einem minimalen Drehkreis beträgt bei typischen Fahrtenseglern bezogen auf den alten Kurs des Bootes mindestens eine halbe Bootslänge (Position ②). Der Ausschwenkwinkel während der Drehung beträgt bezogen auf den mittleren Drehkreis ca. 30–40°.

Dieser Effekt muss vom Rudergänger insbesondere bei kurzfristigen energischen Ausweichmanövern im Nahbereich berücksichtigt werden, da hier die Gefahr besteht, dass das Boot bei einem zu spät eingeleiteten Manöver zwar mit dem Bug am Hindernis  vorbeikommt, dann aber mit der Seite oder dem Heck kollidiert. (Geeignete Gegenmaßnahmen wären an Position  u.a. "Ruder Mittschiffs" oder "Ruder hart Steuerbord", wobei dann das Heck zur anderen Seite ausschwenken würde.)

Fahrt zurück, "Radeffekt":

Bisher wurde die Fahrt voraus eines Fahrtensegelbootes unter Motor untersucht. Bei Fahrt zurück verändern sich die wirksamen Kräfte und Drehmomente erheblich. Es müssen vor allem drei Effekte berücksichtigt werden:

- Der Propeller erzeugt einen Wasserstrom nach vorne zum Unterwasserschiff und zum Kiel und damit eine Schubkraft nach achtern.
- Das Ruderblatt wird nicht mehr nennenswert vom Propellerstrom beeinflusst und kann bei Anstellung erst dann eine Wirkung erzeugen, wenn es vom Wasserstrom der Bootsbeugung angestrahlt wird.
- Der Propellerstrom bewirkt durch die Strömungsverhältnisse am Unterwasserschiff den "Radeffekt", der eine Querkraft und ein Drehmoment erzeugt.

Als "Radeffekt" (s. Quellen) bezeichnet man die Beobachtung, dass bei einem Schiff mit Einzelantrieb durch den rotierenden Propeller eine zusätzliche horizontale Schubkraft quer zum Heck und damit ein Drehmoment verursacht wird. Die Kraftrichtung nach BB oder StB hängt von der Drehrichtung des Propellers ab: "als ob der Propeller wie ein Wagenrad über den Grund abrollen würde".

Der so genannte "Radeffekt" hat komplizierte hydrodynamische Ursachen, deren wichtigste der "Hovgaard-Effekt" (s. Quellen) ist:

Der sich drehende Propeller beschleunigt durch die Anstellung der Schraubenflügel das Wasser nicht nur geradlinig in Richtung der Propellerachse, sondern prägt diesem Wasserstrom zusätzlich einen Drehimpuls auf. Dieser "rotierende" Wasserstrom erzeugt dort, wo er auf das Unterwasserschiff trifft, Querkräfte. Diese sind - bei typischen Lateralplänen - im oberen Bereich des Wasserstroms stärker als im unteren, so dass bei einem "rechtsdrehenden" Propeller (von achtern gesehen) die Schubkraft nach rechts (StB) und bei einem "linksdrehenden" Propeller die Schubkraft nach links (BB) dominiert.

Die Intensität des "Hovgaard-Effektes" ist sehr stark abhängig von der Entfernung zwischen Propeller und dem angeströmten Unterwasserschiff - je näher, um so stärker - und von der Form des Unterwasserschiffes. D.h.: Der "Radeffekt" ist bei unterschiedlichen Booten und abhängig von der Position des Propellers unter dem Boot sehr unterschiedlich deutlich.

Hieraus folgt:

- Der "Radeffekt" ist bei Fahrt voraus, wenn der Wasserstrom vor allem das Ruderblatt trifft, wegen der kleineren Fläche des Ruderblattes vergleichsweise gering und kann i.d.R. gegenüber der direkten Wirkung der horizontalen Propellerströmung auf das Ruder vernachlässigt werden.
- Bei Fahrt zurück ist der "Radeffekt" umso größer, je dichter sich der Propeller am Unterwasserschiff befindet und - abhängig von der Form des Unterwasserschiffes - i.d.R. erheblich wirksamer als bei Fahrt voraus.

Hinzu kommt:

Bei Fahrt zurück kann das Ruderblatt nur Steuerkräfte proportional der Geschwindigkeit des durch die Bootsbewegung vorbeiströmenden Wassers erzeugen. Dies führt dazu, dass im Rückwärtsgang bei stehendem Boot oder bei langsamer Fahrt zurück die Ruderwirkung Null oder gering ist und der "Radeffekt" auf vielen Booten die dominierende Querkraft darstellt.

In Abb. 3-3 werden die bei Fahrt zurück unter Motor auftretenden Kräfte und Drehmomente mit ihren Wirkungen schematisch verdeutlicht. Das Boot im Beispiel habe einen bei Fahrt voraus "rechtsdrehenden" Propeller, der bei Rückwärtsfahrt "linksdrehend" arbeitet:

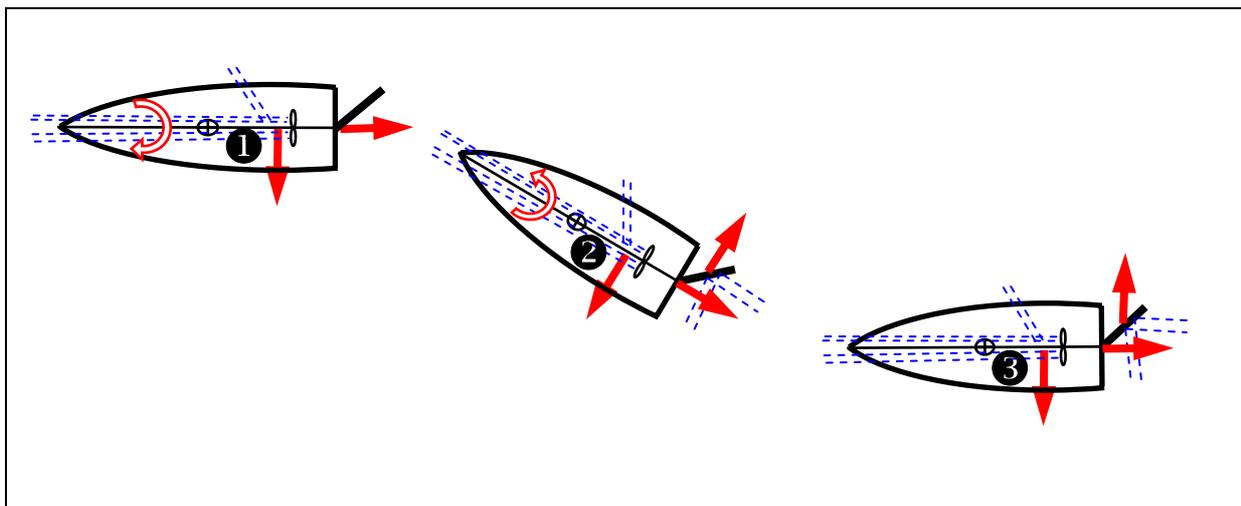


Abb. 3-3: Fahrt zurück unter Motor mit Radeffekt ("linksdrehender" Propeller)

Position ①:

Das Schiff steht, es wird der Rückwärtsgang eingelegt und Gas gegeben, das Ruder sei hart nach Steuerbord gelegt.

Der Wasserstrom des Propellers nach vorne erzeugt eine nach achtern gerichtete Schubkraft. Der "Radeffekt" mit "linksdrehender" Schraube erzeugt eine Schubkraft am Unterwasserschiff vor dem Propeller nach links/BB (und eine turbulente Strömung auf der anderen Seite des Bootes), die in Verbindung mit dem Wasserwiderstand am Lateralschwerpunkt ein Drehmoment mit der Drehachse in Höhe des Vorschiffs erzeugt:

Das Schiff bewegt sich nach achtern, das ausgestellte Ruder hat wegen der (noch) zu geringen Bootsgeschwindigkeit keine Wirkung, gleichzeitig dreht das Drehmoment des "Radeffektes" das Schiff nach Backbord.

Position ②:

Das Schiff hat nach achtern Fahrt aufgenommen und sich dabei nach Backbord gedreht. Bei ausreichender Bootsgeschwindigkeit erzeugt die Anströmung des Ruders jetzt das gewünschte Drehmoment nach Steuerbord, welches das Drehmoment des "Radeffektes" überlagert.

Position ③:

Das Schiff hat jetzt ausreichend Fahrt, um trotz des "Radeffektes" über das Ruder den Kurs zu kontrollieren.

Hinweis 2:

Der "Radeffekt" ist eine direkte Folge der Propellerrotation. Wird der Motor auf Leerlauf gestellt, so verschwindet das ablenkende Drehmoment und das Boot gehorcht auch bei langsamer Fahrt wieder dem Ruder. Durch kurze Rückwärts-Impulse des Motors mit anschließendem Leerlauf und Gegenruder ist es damit auch bei Booten mit starkem "Radeffekt" möglich, das Schiff bei Rückwärtsfahrt einigermaßen (in "Schlangenlinie") auf Kurs zu halten.

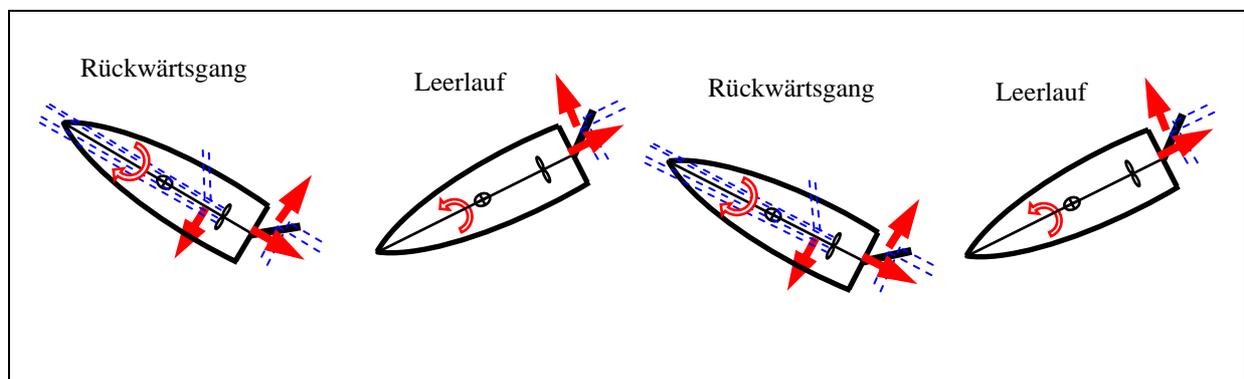


Abb. 3-4: Fahrt zurück mit starkem "Radeffekt" und Impuls-Schub

Hinweis 3:

Abhängig von den speziellen Eigenschaften des Schiffes kann ggf. mit Hilfe des Drehmomentes eines deutlichen "Radeffektes" bei einem kurzen Rückwärtsschub in Abwechslung mit einem gleichgerichteten Ausschwenken des Hecks bei einem kräftigen Vorwärtsschub und entsprechender Ruderanstellung (z.B. "linksdrehender Propeller => Ruder hart Steuerbord) ein Schiff auf sehr engem Raum ("auf dem Teller") gewendet werden (s. Abb. 3-5). Dieses Manöver funktioniert allerdings nur in die Drehrichtung des "Radeffektes" bei Rückwärtsfahrt.

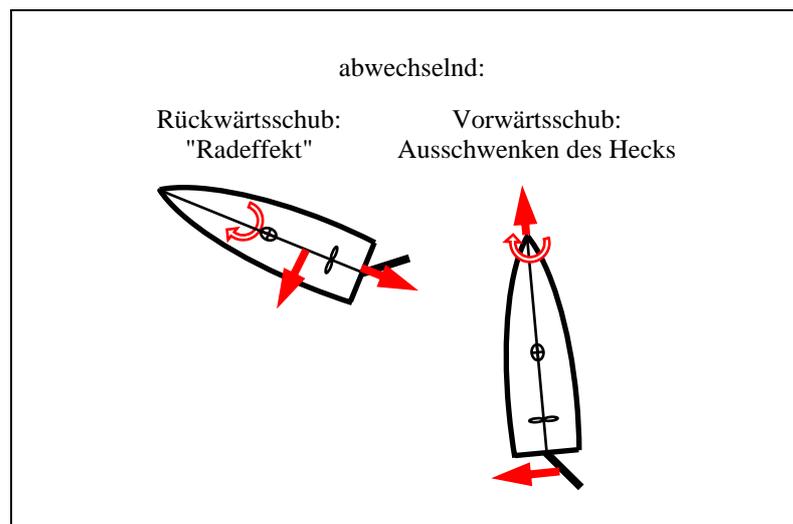


Abb. 3-5: "Drehen auf dem Teller"

3.2 Anmerkung: Abdrift durch Seitenwind

Die Abdrift durch Seitenwind gehört bei den Manövern "auf engem Raum" zu den wichtigsten Störgrößen.

Trifft der Wind quer auf ein stillliegendes Schiff, so wird - abhängig von der Form des Lateralplanes unter Wasser und der Windangriffsfläche des Überwasserschiffes - bei einem typischen Fahrtensegelboot i.d.R. zweierlei passieren:

- Der Bug wird durch den Wind nach Lee gedrückt.
- Das Boot wird durch den Wind in Lee-Richtung abgetrieben.

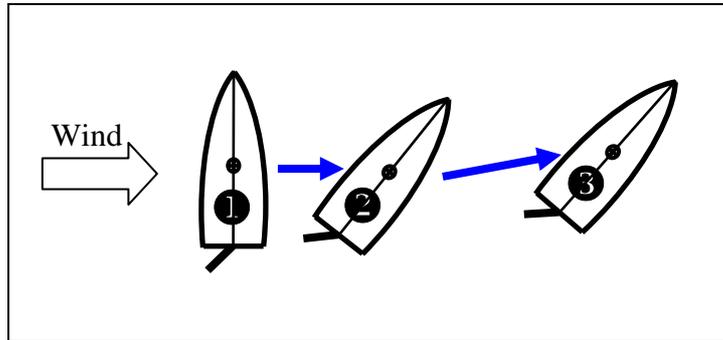


Abb. 3-6: Abdrift eines Fahrtensegelbootes durch Seitenwind

Die Abb. 3-6 zeigt schematisch die typische Entwicklung bei einem quer zum Wind liegenden Schiff ohne Antrieb durch Motor oder Segel:

1. Das vom Wind quer angeströmte Schiff wird seitwärts abgetrieben, gleichzeitig dreht sich der Bug nach Lee. Der Rudergänger reagiert mit Gegenruder.
2. Wegen des veränderten Windeinfallswinkels, des angeströmten Lateralplanes und der Ruderwirkung verändert sich - abhängig von den Eigenschaften des Schiffes - die Fahrtrichtung i.d.R. geringfügig um ca. 10°.
3. Es hat sich ein Gleichgewicht der Windkräfte auf das Schiff und der Wasserwiderstände auf den Lateralplan eingestellt. Das Schiff treibt "beigedreht" "vor Top und Takel" mit raumem Wind an Bord und einem Kurs von i.d.R. ca. 10° vor dem Wind.

Die Driftgeschwindigkeit hängt naturgemäß von vielen Faktoren ab, u.a. sowohl von der Gestaltung des Schiffes über und unter Wasser und von der Richtung des Schiffes quer zum Wind, als auch von dem Seegang, den höhere Windgeschwindigkeiten auf offenem Wasser erzeugen und der die Driftgeschwindigkeit bremst.

Unsere Messungen der Driftgeschwindigkeit auf geschlossenen Wasserflächen (also z.B. in Häfen) mit geringer Wellenhöhe und Windgeschwindigkeiten zwischen 8 - 14 kn (4-7 m/sec., 3-4 Bft) ergaben für einen 7 m langen Kajütkreuzer älterer Bauart eine Driftgeschwindigkeit in Abhängigkeit zur Windstärke von angenähert 10% der Windgeschwindigkeit:

$$v_{\text{Drift}} \approx 0,1 * v_{\text{Wind}}$$

Wegen der ähnlichen Proportionen großer und kleiner Fahrtensegler kann man mit guter Näherung davon ausgehen, dass Fahrtensegelyachten zwischen 7 und 15 m Länge auf kurze Distanzen etwa gleich schnell treiben.

Die Beschleunigung des quer angewehten Schiffes, also Zeit und Weg bis zur vollen Driftgeschwindigkeit, ist primär vom Gewicht des Schiffes abhängig (Kraft = Masse mal Beschleunigung). Bei unseren Messungen mit dem Kajüt-kreuzer (Gewicht rund 1.200 kg) wurde die Driftgeschwindigkeit relativ schnell, im Mittel nach rund 5 sec. und ca. 2 m Abdrift erreicht.

Für das Manövrieren bei Seitenwind in langsamer Fahrt bedeutet das z.B.:

Bei einem Anlauf in eine Box mit 2 kn (= 1 m/sec.) und einem Seitenwind von 7 m/sec. = 4 Bft muss mit einer Abdrift von rund 0,7 m/sec. gerechnet werden.

Auf eine Anlaufstrecke von 20 m wäre das in den rund 20 Sekunden eine Abdrift von etwa 10-12 m (unter Berücksichtigung der Startbeschleunigung).

Fährt der Skipper (ohne Leinen an den Luv-Dalben) in eine 10 m lange Box mit einer Geschwindigkeit von 2 kn (1 m/sec.), so benötigt er bis zum Steg rund 10 Sekunden. Bei einer Seitenböe von 7 m/sec (4 Bft) treibt sein Schiff in dieser Zeit rund 5-6 m nach Lee (oder auf das Nachbarboot).

Typischer oberer Grenzwert in Häfen:

Ein Seitenwind der Stärke 5 Bft mit einer Windgeschwindigkeit von 10 m/sec. erzeugt eine Driftgeschwindigkeit von etwa 1 m/sec. = 2 kn.

Als Gegenmaßnahmen bei Hafenmanövern (s. Quellen) wird einerseits empfohlen, möglichst gegen die Windrichtung zu fahren und der Abdrift - so gut es geht - gegenzusteuern (bei viel Wind mit Vorhaltewinkeln von bis zu 45°). Bei der Einfahrt z.B. in eine Box sollte andererseits der Luv-Festmacher so schnell wie möglich über den Dalben geworfen werden. Die Schwierigkeit bei Seitenwind: Wenn der Rudergänger das Boot dicht an den Dalben gebracht hat, wird eine kräftige Böe das Boot innerhalb von 2 Sekunden wieder um 1-2 m abgetrieben haben, was nicht selten zu Problemen führt.

3.3 Querstrahlanlagen, Querschub und Drehmoment

Technisches Konzept:

Querstrahlanlagen bestehen in ihrer einfachen Form auf Wassersportfahrzeugen i.d.R. aus einem starren, auf beiden Seiten offenem Rohr (Durchmesser je nach Bootsgröße 10-30 cm), das unter der Wasserlinie im Vorschiff ("Bugstrahlruder") oder achtern ("Heckstrahlruder") quer durch das Schiff und

die Bordwand geführt ist. In diesem Tunnel erzeugt ein Propeller einen Wasserstrom durch das Rohr, der je nach Drehrichtung des Propellers an der Öffnung des Tunnels in der Bordwand eine quergerichtete Schubkraft nach Backbord oder Steuerbord erzeugt.

Sofern das Unterwasserschiff für ein innen liegendes Rohr zu flach oder zu breit ist, kann der Tunnel auch unter dem Schiff montiert sein. Etwas aufwändiger kann ein solcher außen liegender Tunnel mit einer geeigneten Mechanik bei Nichtgebrauch in einen Schacht im Unterwasserschiff eingefahren und bei Bedarf herausgefahren werden.

Der Propeller zur Erzeugung des Wasserstroms wird bei kleinen Anlagen elektrisch, bei größeren häufig auch hydraulisch angetrieben. Die Bedienung von Querstrahlrudern auf Wassersportfahrzeugen erfolgt i.d.R. durch Ein-/Aus-Schalten der Drehrichtung des Propellers über einen 3-Punkt Schalter (bzw. entsprechende Joysticks oder Taster): "Schub nach BB" / Aus / "Schub nach Stb". Bei großen Systemen - u.a. in der Berufsschifffahrt - ist auch die Drehzahl des Propellers und damit die Schubstärke regelbar.

Querschub und Drehmomente:

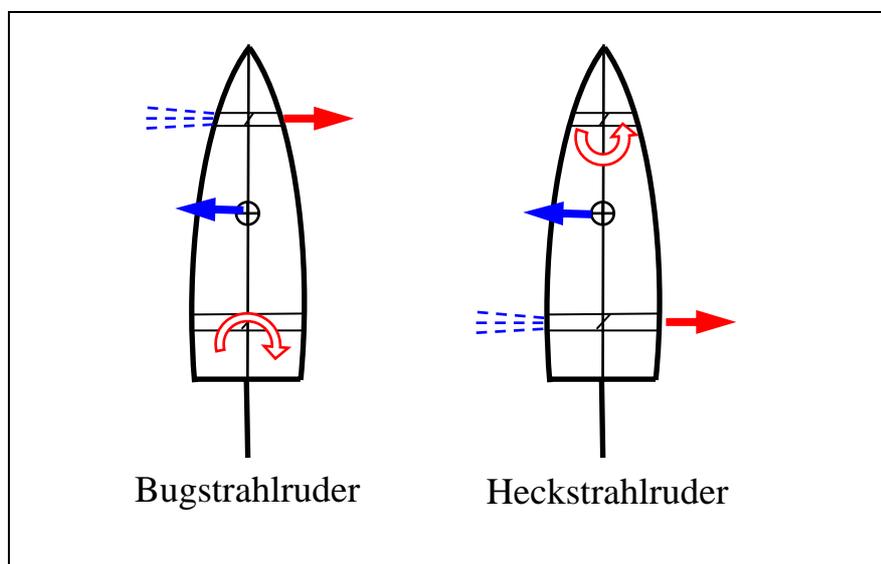


Abb. 3-7: Kräfte und Drehmomente von Bug- und Heckstrahlruder

Die Kräfte und Drehmomente einer Querstrahlanlage sind einfach und übersichtlich (s. Abb. 3-7):

- Der Wasserstrom eines Querstrahlruders bewirkt eine quergerichtete Schubkraft, die einerseits das Boot zur Seite schiebt und andererseits in Verbindung mit dem Wasserwiderstand am Lateralschwerpunkt ein Drehmoment erzeugt. Beide Bewegungen lassen sich zu einem

resultierenden Drehmoment zusammenfassen, dessen Drehachse bei Bugstrahlrudern typischerweise in Höhe des Cockpits, bei Heckstrahlrudern in Höhe des Vorschiffs liegt.

- Die Lage der Drehachse des resultierenden Drehmomentes hängt maßgeblich vom Abstand des Querstrahl tunnels zum Lateralschwerpunkt ab:

Liegt z.B. das Bugstrahlruder sehr weit vorne, so verlagert sich die Drehachse des resultierenden Drehmomentes nach vorne in Richtung Lateralschwerpunkt. Bei einem Strahlschub dreht sich dann das Boot schneller und bewegt sich nur wenig zur Seite.

Wird dagegen das Bugstrahlruder näher am Kiel montiert, so verlagert sich die Drehachse nach achtern. Durch einen Strahlschub wird dann eine langsamere Drehbewegung und dafür eine deutlichere Seitwärtsbewegung des Bootes erzeugt.

Querstrahlruder funktionieren am besten bei Stillstand oder langsamer Fahrt. Aufgrund von hydrodynamischen Effekten können sie nur bis zu einer Fahrtgeschwindigkeit von ca. 5 kn eingesetzt werden. Bei höheren Geschwindigkeiten verlieren sie ihre Wirkung (s. Quellen).

Auf Wassersportfahrzeugen werden überwiegend Bugstrahlruder eingesetzt, um die Richtung und die Drehung des Bootes bei geringer Fahrt oder bei Seitenwind zu kontrollieren. Deshalb ist es dann zweckmäßig, das Bugstrahlruder so weit wie möglich vorne zu montieren.

3.3.1 Bug- und Heckstrahlruder im Verbund

Spezielle Effekte lassen sich erzielen, wenn auf einem Schiff Bug- und Heckstrahlruder eingebaut und im Verbund betrieben werden (s. Abb. 3-8).

Entwickeln Bug- und Heckstrahlruder ihren Schub gleichzeitig zur gleichen Seite des Schiffes, so überlagern sich die gegenläufigen Drehmomente zu einem (im Idealfall) reinen Querschub ohne eine horizontale Drehung.

Entwickeln Bug- und Heckstrahlruder ihren Schub gleichzeitig in entgegengesetzte Richtung, so ergänzen sich die beiden Drehmomente zu einer schnellen horizontalen Drehung (im Idealfall) um den Lateralschwerpunkt und damit auf engstem möglichem Raum.

Der Idealfall ist dann gegeben, wenn beide Querstrahlruder bezogen auf den Lateralschwerpunkt ein gleich großes Drehmoment erzeugen. Entweder indem beide Systeme bei gleicher Schubkraft gleichweit nach vorne und nach achtern vom Lateralschwerpunkt entfernt sind, oder indem bei unterschiedlichen Abständen des Bug- und des Heckstrahlruders vom Lateralschwerpunkt das

System mit dem größeren Abstand eine entsprechend geringere Schubkraft entwickelt.

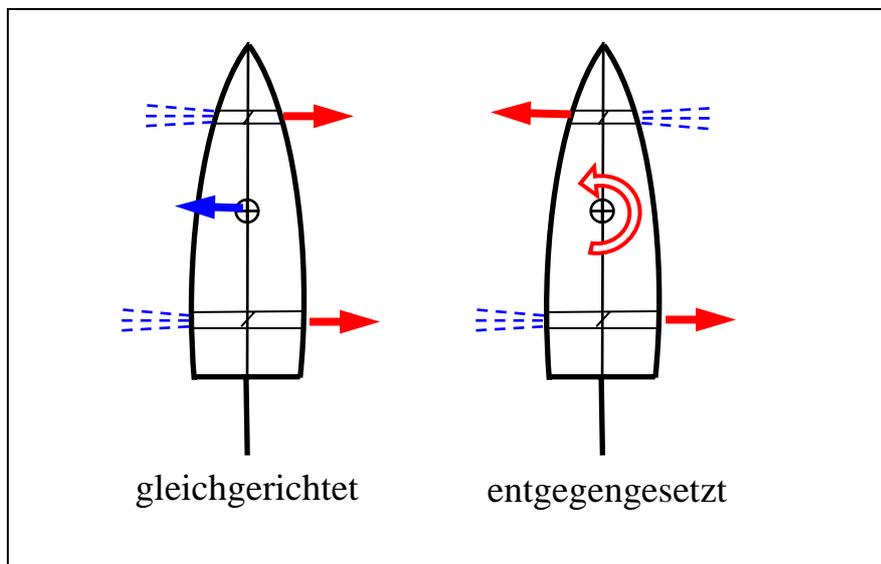


Abb. 3-8: Bug- und Heckstrahlruder im Verbund

Eine der Schwächen vieler gemeinsam eingebauter Bug- und Heckstrahlssysteme besteht darin, dass eines der Systeme ein deutlich höheres Drehmoment erzeugt als das andere, sodass das Schiff insbesondere bei gemeinsamem Seitwärtsschub nicht - wie gewünscht - nur seitwärts versetzt, sondern sich zusätzlich dreht.

Trotzdem: Wer einmal mit Unterstützung eines Bug- und Heckstrahlsystems bei Wind in einem engen Hafen ganz langsam einen gerade noch passenden Liegeplatz angesteuert hat, der wird die sichere Kontrolle der Quer- und Drehbewegungen des Schiffes durch diese Verbundtechnik zu schätzen wissen.

Die seitliche Schubgeschwindigkeit angemessen dimensionierter Querstrahlruder liegt nach unseren Messungen in der Größenordnung von etwa 1 m/sec. (2 kn). Das würde (s. oben) ausreichen, einem Seitenwind von 5 Bft Stand zu halten.

Bei elektrisch betriebenen Querstrahlrudern ist zur Vorbeugung von Überhitzung die maximale ununterbrochene Laufzeit auf etwa 3 Minuten (180 sec.) begrenzt. In dieser Zeit könnte das Boot rund 180 m quer gefahren werden.

Weitere technische Daten und Messergebnisse zu Bug- und Heckstrahlrudern berichten wir in Kap. 5.

3.4 Drehbare Antriebe (azimuthing thrusters), Pod-Antrieb

Technisches Konzept:

Drehbare Antriebe (azimuthing thrusters, Azimut = horizontaler Winkel zwischen zwei Linien) sind dadurch gekennzeichnet, dass die Propellerachse und damit die Richtung der Schubkraft um eine vertikale Achse horizontal gedreht werden kann, i.d.R. um bis zu $\pm 90^\circ$, bezogen auf die Längsachse des Schiffes. Mit Vorwärts- und Rückwärtsgang sind damit Schubkräfte in alle Richtungen möglich.

Es sind drei Bauformen üblich:

- **Außenbordmotor:**
Der Motor, die vertikale Welle nach unten und das Getriebe mit der horizontalen Propellerachse sind in ein gemeinsames Gehäuse eingebaut. Das System wird als Ganzes über Scharniere am Gehäuse mit dem Boot verbunden und kann um die Scharnierachsen gedreht werden. Außenbordmotoren werden entweder in einem Schacht zwischen Kiel und Ruder gefahren, oder am Heck des Bootes montiert. Der konkrete Drehwinkel eines Außenbordmotors hängt i.d.R. vom Freiraum um die Scharnierachsen am Einbauort ab.
- **Z-Antrieb:**
Der Motor treibt ebenfalls über ein Getriebe eine vertikale Welle, die unter dem Boot an die horizontale Propellerachse gekuppelt ist. Im Gegensatz zum Außenbordmotor ist beim Z-Antrieb der Motor fest im Boot eingebaut. Horizontal drehbar ist entweder das Gehäuse der vertikalen Welle oder unter dem Boot die Kupplung mit der Propellerachse. Z-Antriebe können ebenfalls zwischen Kiel und Ruder oder am Heck montiert werden.
Die Drehwinkel verfügbarer kleiner Z-Antriebe für Wassersportfahrzeuge sind bei einigen Produkten (aus mechanischen Gründen) geringer als $\pm 90^\circ$ und liegen dann bei $\pm 25-60^\circ$.
- **Pod-Antrieb:**
Ein Pod-Antrieb (pod (engl.) = Gondel) besteht aus einem Motor - i.d.R. einem Elektromotor - der in einer wasserdichten "Gondel" drehbar unter dem Schiff aufgehängt ist und dessen Welle direkt einen Propeller antreibt. Die Antriebsleistung kommt i.d.R. von einem Dieselgenerator im Schiff. Elektrische Pod-Antriebe sind häufig um 360° drehbar, sie können an beliebigen, geeigneten Positionen unter dem Schiff angebracht werden,

haben einen besseren Wirkungsgrad als Dieselmotoren mit fester Welle, sind leiser und erzeugen weniger Vibration.

Außenbordmotore sind auf kleineren Segelyachten weit verbreitet. Z-Antriebe werden überwiegend in Motorboote eingebaut. Pod-Antriebe für Wassersportfahrzeuge werden auf dem europäischen Markt angeboten, auf Segelyachten aber bisher nur selten eingesetzt.

Die Hydrodynamik drehbarer Antriebe ist in den Details eine komplizierte Angelegenheit. U.a. befasst sich ein hochrangig besetztes "Specialist Committee on the Azimuthing Podded Propulsion" der ITTC (International Towing Tank Conference) mit Fragen der Cavitation, den diversen Kräften an den beweglichen Motoren, der Vibration und der mechanischen Stabilität sowie der zusammenfassenden Modellierung der Systemeigenschaften.

Im Folgenden werden "in erster Näherung" nur die dominierenden Schubkräfte und die daraus resultierenden Drehmomente betrachtet.

Kräfte und Drehmomente:

Die Kräfte und Drehmomente eines einzelnen, auf der Längsachse des Schiffes positionierten drehbaren Antriebs sind ähnlich denen eines angeströmten Ruderblattes (s. Abb. 3-9):

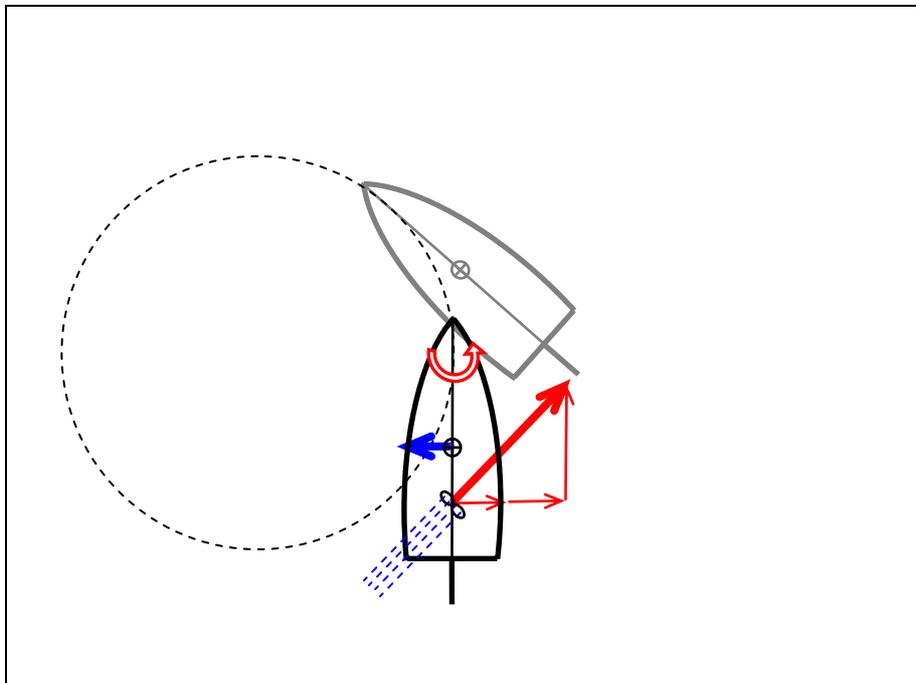


Abb. 3-9: Kräfte und Drehmomente eines drehbaren Antriebs

Der Motor in Abb. 3-9 sei nach BB angestellt und erzeuge eine Schubkraft schräg nach StB voraus.

- Diese Kraft am Antrieb lässt sich vektoriell zerlegen in eine Kraft voraus und in eine Querkraft.
- Die Querkraft erzeugt mit dem Wasserwiderstand des sich bewegenden Schiffes am Lateralschwerpunkt ein Drehmoment und einen Schub des Schiffes zur Seite. Das resultierende Drehmoment hat seine Drehachse in Höhe des Vorschiffes.
- Das Heck schwenkt aus und das Schiff bewegt sich auf einem Drehkreis, dessen Radius einerseits vom Abstand zwischen Antrieb und Lateralschwerpunkt und andererseits von dem Anstellwinkel des Antriebs aber nur geringfügig von der Schubkraft abhängt.

M.a.W.: Mit einem drehbaren Antrieb lässt sich das Schiff nicht nur antreiben sondern über den Anstellwinkel auch wie mit einem Ruder manövrieren.

Die zusätzliche Option gegenüber einem Ruder besteht darin, dass der drehbare Antrieb bei einer Anstellung von 90° ein resultierendes Drehmoment ohne Vortrieb erzeugt und damit eine Drehbewegung des Schiffes "auf dem Teller" ermöglicht (s. Abb. 3-10), d.h.: der Durchmesser des minimalen Drehkreises beträgt am Lateralschwerpunkt (durch das Ausschwenken des Hecks) weniger als eine halbe Schiffslänge.

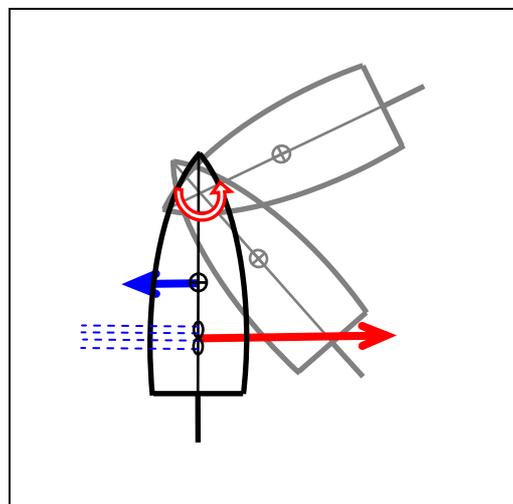


Abb. 3-10: Drehung eines drehbaren Antriebs bei 90° Anstellwinkel

Wie beim Manövrieren mit dem Ruder kann allerdings auch beim Manövrieren mit einem einzelnen drehbaren Antrieb ein Ziel grundsätzlich nur auf einem Kurs über Bug oder Heck des Schiffes angesteuert werden. Ein Versetzen des Schiffes seitwärts oder travers (vorwärts plus seitwärts) mit konstanter Bugpeilung ist nicht möglich.

Selbstverständlich erzeugt auch ein drehbarer Antrieb am Unterwasserschiff einen "Radeffekt". Durch die flexible Anstellung des Antriebs kann aber dessen Drehmoment ohne Aufwand kompensiert werden, so dass "Radeffekte" bei drehbaren Antrieben auch und besonders bei Rückwärtsfahrt in der Praxis vernachlässigt werden können.

Ein spezielles Problem von drehbaren Antrieben - z.B. Außenbordmotoren - an Bord von Segelyachten ist die Koordination der Bedienung und der Anstellungen von Ruderblatt und beweglichem Motor. Folgende Optionen sind möglich:

- Die Motoranstellung wird in Mittellage fixiert, manövriert wird mit dem Ruder:
Standardoption, das System funktioniert wie ein Antrieb mit fester Achse.
- Das Ruder wird in Mittellage fixiert, manövriert wird mit dem drehbaren Antrieb:
"Motorbootoption", ermöglicht Manöver mit kleinen Drehkreisen auf engem Raum.
Auf Motorbooten wird häufig auf ein separates Ruder verzichtet und die Anstellung des drehbaren Antriebs über ein Steuerrad bedient.
Da auf Segelyachten z.B. mit Außenbordmotoren - die (s. oben) in jedem Fall ein anstellbares Ruderblatt benötigen - i.d.R. eine gesonderte Anstellkontrolle des Motors am Steuerstand fehlt, ist das Manövrieren z.B. mit der Pinne eines achtern aufgehängten Außenbordmotors häufig unergonomisch und mühsam.
- Ruder und Motoranstellung werden "zweihändig" parallel bedient:
Auf kleinen Segelbooten die gängige Methode, aber in aller Regel unergonomisch und mühsam.
- Die Mechanismen zur Anstellung des Antriebs und des Ruders werden miteinander gekoppelt:
Beide Komponenten werden bei Bedienung z.B. der Ruderpinne oder des Steuerrades synchron gedreht.
Mechanische Kopplungen z.B. der Pinne des Außenbordmotors mit der Ruderpinne auf kleineren Segelyachten wären technisch möglich, werden aber nur selten realisiert.
Bei (elektrischen) Pod-Antrieben für Segelfahrzeuge wird von einigen Herstellern empfohlen, den Pod-Antrieb auf einer Achse mit dem Ruderblatt zu integrieren.

3.4.1 Ein einzelner drehbarer Antrieb plus Bugstrahlruder

Einzelne drehbare Antriebe haben die Eigenschaft, bei Anstellung grundsätzlich ein Drehmoment zu erzeugen. Dies ist in den meisten Fällen erwünscht. In einigen Situationen wäre es aber zweckmäßig, das Schiff ohne Drehung quer oder travers zu versetzen.

Dies ist u.a. mit Hilfe eines zusätzlichen Bugstrahlruders realisierbar, welches das Drehmoment des angestellten Antriebs kompensiert und einen reinen Querschub ermöglicht, bei Traversfahrt überlagert durch den Vorwärtsschub (s. Abb. 3-11).

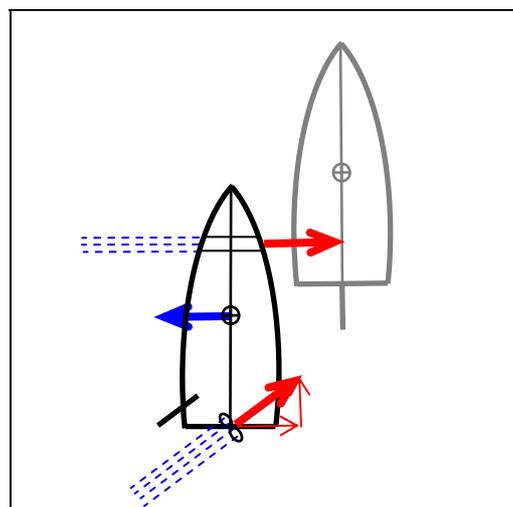


Abb. 3-11: Drehbarer Antrieb plus Bugstrahlruder

Das ergonomische Problem bei dieser Systemkonfiguration besteht darin, dass typische (elektrische) Bugstrahlruder für Wassersportfahrzeuge i.d.R. nur vollen Schub in die eine oder die andere Richtung, maximal für die Dauer von ca. 3 Minuten erzeugen können. Der Rudergänger muss also einerseits die Schubdauer schalten und andererseits äquivalent zu diesem Schub durch die Anstellung seines Antriebs und Einstellung der Antriebsleistung den gewünschten Effekt "mit der Hand" einregeln.

Diese Kombination von steuerbar drehbarem Antrieb und Bugstrahlruder wird inzwischen häufig auf größeren Motorbooten (ohne Ruder) eingesetzt, um u.a. den Drehwinkel zu verbessern, der Abdrift durch Seitenwind entgegen zu wirken oder um seitwärts "einparken" zu können.

3.5 Weitere Manövriersysteme

3.5.1 Drehbare (azimuthing) Doppelantriebe

Doppelantriebe bestehen aus zwei Motoren, die nebeneinander im Heck eingebaut sind.

Doppelantriebe werden - u.a. wegen der Gestaltung des Unterwasserschiffes im Heck - in Segelyachten nur sehr selten verwendet, sind aber in schnellen Motorbooten und vor allem in der Berufsschiffahrt "Standard".

Technische Konzepte:

Drehbare Doppelantriebe haben zwei wesentliche Vorzüge gegenüber Einzelanlagen:

- Die Antriebsleistung wird verdoppelt, die Technik ist redundant, zwei kleinere Einheiten sind platzgünstiger einzubauen und häufig kostengünstiger, als eine einzelne, doppelt so leistungsfähige Einheit.
- Zwei BB und StB außerhalb der Mittschiffslinie im Heck positionierte drehbare Antriebe ermöglichen wichtige zusätzliche Manövrieroptionen.

Es sind zwei Steuerungs-Konzepte üblich:

- a) Parallele Drehung der Antriebe z.B. über ein gemeinsames Steuerrad, aber Einzelansteuerung der Schubrichtung (vorwärts / rückwärts) und Schubintensität pro Motor.
- b) Für jeden Motor wird individuell sowohl die Anstellung der Propellerachse als auch der Schub angesteuert.

Parallel drehbare Doppelantriebe:

Dies ist für schnelle Motorboote die Standardmotorisierung: Die Drehachsen der beiden Z-Drives oder Außenborder am Heck des Bootes sind mechanisch miteinander gekoppelt und werden über ein gemeinsames Steuerrad bedient. Bei Motorbooten fehlt dann in aller Regel ein gesondert anstellbares Ruderblatt. Die Fahrhebel der beiden Motoren sind i.d.R. als nebeneinander liegende Doppelhebel konzipiert, die sowohl synchron gemeinsam als auch pro Motor individuell bedient werden können.

Werden die beiden Motoren synchron - also gleichzeitig in gleiche Richtung und mit gleichem Schub - gefahren, so verhält sich der drehbare Doppelantrieb dynamisch genauso wie ein drehbarer Einzelantrieb (s. Kap. 3.4).

Die zusätzlichen Manövrieroptionen werden dann genutzt, wenn die Schübe der beiden Motoren unterschiedlich angesteuert werden.

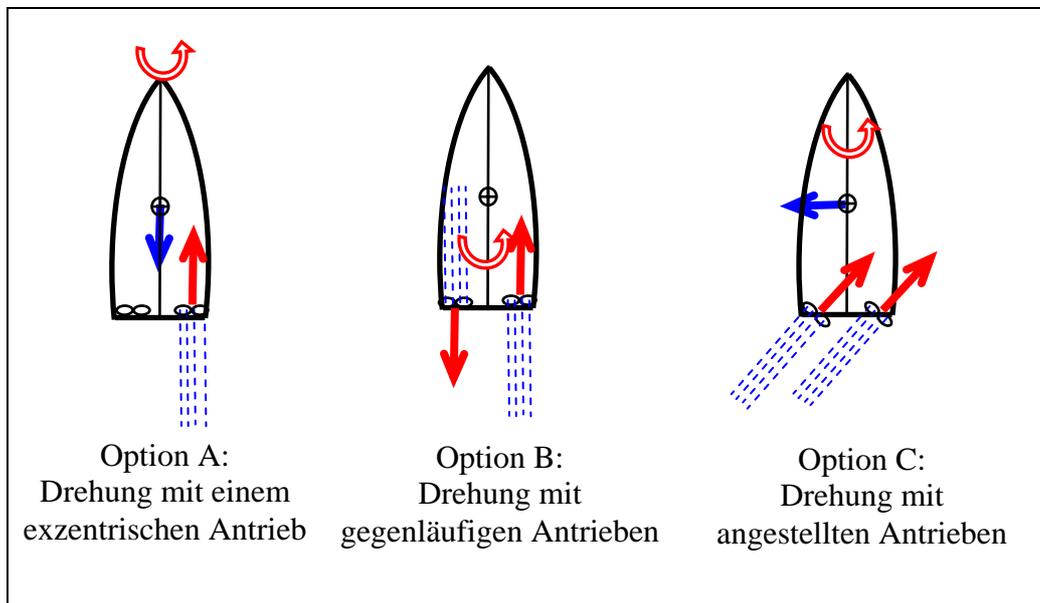


Abb. 3-12: Parallel drehbare Doppelantriebe: Drehbewegungen

Am Beispiel der Drehbewegungen (s. Abb. 3-12): Die Optionen unterscheiden sich u.a. durch die Intensität der Drehmomente und die Lage der Drehachse:

Option A:

Der Schub eines einzelnen seitwärts neben der Mittschiffslinie wirkenden Antriebs erzeugt in Verbindung mit dem Wasserwiderstand des Lateralplanes ein relativ schwaches, aber wirksames Drehmoment und einen vergleichsweise großen Drehkreis.

(Dieser Effekt tritt u.a. auch dann auf, wenn ein Außenbordmotor (auf kleineren Segelbooten) seitwärts am Heck montiert wird und muss dann bei Fahrt voraus durch das angestellte Ruderblatt kompensiert werden.)

Option B:

Die Schubkräfte von zwei gegenläufig arbeitenden Antrieben erzeugen - abhängig vom Abstand der beiden Antriebe - ein vergleichsweise starkes Drehmoment um eine Drehachse im Cockpitbereich. Mit dieser Option kann "auf dem Teller" gedreht werden.

Option C:

Die Standardoption für "normale" Manöver: Der synchrone Schub der angestellten Antriebe erzeugt u.a. eine Querkraft und in Verbindung mit dem Wasserwiderstand des Lateralplanes ein Drehmoment mit der Drehachse in Höhe des Vorschiffs (s. auch Abb. 3-9).

Individuell ansteuerbare Doppelantriebe:

Doppelantriebe, bei denen für jeden Motor nicht nur Schubstärke und Schubrichtung, sondern auch der Schubwinkel individuell geregelt werden kann, sind aufwendig zu bedienen, bieten dafür aber die volle Kontrolle über die Schiffsbewegung in alle Richtungen.

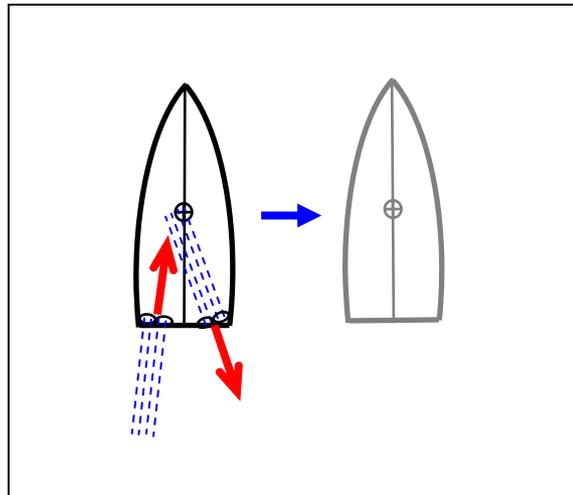


Abb. 3-13: Individuell ansteuerbare Doppelantriebe: Querschub

Die Abb. 3-13 zeigt als Beispiel eine Einstellung der beiden Antriebe, mit der sich sowohl die Drehmomente als auch die Längskräfte der beiden Antriebe gegenseitig aufheben lassen und die als Resultat eine reine Querbewegung bewirkt.

Individuell ansteuerbare Doppelantriebe sind umso wirksamer, je weiter außen sie an einem Schiff positioniert werden. Wegen der vielen Freiheitsgrade des Systems (pro Motor: Schubwinkel / Schubrichtung / Schubstärke) und wegen der extrem un-intuitiven Kombinationsmöglichkeiten dieser Parameter erforderte die Bedienung der frühen Installationen solcher Doppelantriebe in der Berufsschifffahrt ein erhebliches Maß an Erfahrung. Inzwischen werden moderne Anlagen (überwiegend mit Pod-Antrieben) nach dem Stand der Technik i.d.R. mit einer Elektronik gesteuert, welche die z.B. über Joysticks eingegebenen Manövrierwünsche des Steuermanns in die geeigneten Drehwinkel und Schubkräfte der Motoren umsetzt.

Individuell ansteuerbare Doppelantriebe werden inzwischen mit einer ergonomisch ausgefeilten Joysticksteuerung auch für Wassersportfahrzeuge angeboten.

3.5.2 Pumpjets

Pumpjets wurden Mitte des vergangenen Jahrhunderts entwickelt und sind eine technische Erweiterung des Prinzips der Querstrahlssysteme (s. Kap. 3.3).

Technisches Konzept:

Es gibt mehrere grundsätzlich unterschiedliche Bauarten, u.a.:

- Bei der auf Binnenschiffen üblichen Form wird über eine Pumpe unter dem Schiff Wasser angesaugt und über sternförmig um die Pumpe angeordnete horizontale Kanäle - durch Klappen gesteuert - mit hohem Druck in die gewünschte Richtung ausgestoßen, wodurch als "Rückstoß" eine Schubkraft in entgegengesetzte Richtung erzeugt wird. Mit dieser Bauart können zum Manövrieren Schubkräfte in alle Richtungen, nicht nur seitwärts, sondern auch vorwärts und rückwärts erzeugt werden.
- Bei der auch für Wassersportfahrzeuge technisch geeigneten Form wird mit einer Pumpe an einer Stelle unter dem Schiff Wasser angesaugt und über Ventile und Rohrleitungen mit hohem Druck gezielt durch eine oder mehrere Düsen seitwärts oder achtern in der Bordwand unter der Wasserlinie herausgedrückt. Dieser Wasserstrahl erzeugt wie ein Querstrahlssystem entsprechende Schubkräfte an der Auslassstelle.

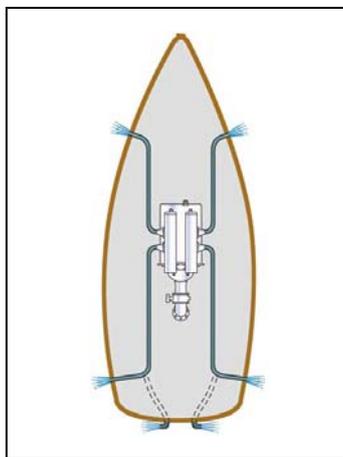


Abb. 3-14: Pumpjet für Wassersportfahrzeuge
(Quelle: Broschüre der Fa. Willdo)

Die von Pumpjets erzeugten Kräfte und Drehmomente sind grundsätzlich die gleichen wie bei Querstrahlssystemen.

Der technische Vorzug von Pumpjets mit Rohrleitungen und Düsen gegenüber Querstrahlssystemen besteht vor allem darin, dass diese Technik im Schiffsrumpf einfacher und weniger störend installierbar ist als die durchgehenden horizontalen Querstrahlentunnel, und dass die Wasseransaugpumpe an einer

geeigneten Stelle unten im Schiff ohne Rücksicht auf die gewünschten Positionen der Düsen in den Bordwänden eingebaut werden kann.

Pumpjets sind in der Berufsschifffahrt - besonders auf Binnenschiffen und auf Wasserfahrzeugen mit einem hohen Bedarf an präziser Manövriersicherheit - inzwischen "Standard". Kleine, kompakte Systeme werden seit kurzem auch für Wassersportfahrzeuge angeboten.

3.6 Zusammenfassende Beurteilung der Ausrüstungsoptionen für Segelyachten unter Motor

Ein Schiff hat für die horizontalen Bewegungen im Wasser grundsätzlich drei Freiheitsgrade:

- Bewegung in Längsachse des Schiffes vorwärts - rückwärts,
- Querbewegung des Schiffes nach Backbord - Steuerbord
- Drehung der Bugpeilung des Schiffes.

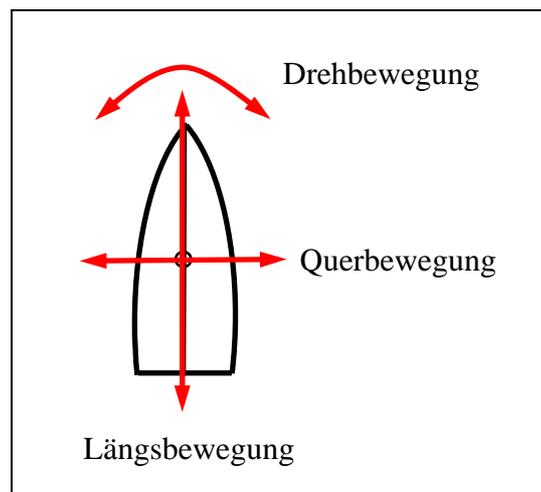


Abb. 3-15: Die 3 Freiheitsgrade horizontaler Schiffsbewegung

Um diese Freiheitsgrade auch bei Stillstand oder sehr langsamer Fahrt vollständig kontrollieren zu können, sind Antriebskonfigurationen erforderlich, deren Schubkräfte und Drehmomente zusammen diese drei Bewegungen ermöglichen.

Hierzu sind von den oben dargestellten Systemen in der Lage:

- Einzelantrieb mit fester Welle plus Bug- und Heckstrahlruder im Verbund oder Einzelantrieb mit fester Welle plus z.B. Yacht-Pumpjet,
- ein einzelner drehbarer Antrieb plus Bugstrahlruder,
- zwei drehbare, individuell ansteuerbare Antriebe.

Von diesen drei prinzipiellen Optionen sind die ersten beiden "eindeutig bestimmte Konfigurationen", d.h. jede geforderte Bewegung kann (ohne Berücksichtigung der Geschwindigkeit) durch genau eine Anstellungskombination der Teilsysteme erzeugt werden. Die Konfiguration mit zwei drehbaren Antrieben ist "überbestimmt", d.h. sie kann die gleiche Bewegung mit mehreren unterschiedlichen Ansteuerungen der Teilsysteme bewirken.

Zwei individuell drehbare Antriebe sind aus konstruktiven Gründen dann für Segelyachten ungeeignet, wenn die beiden Motoren parallel im Heck montiert werden sollen (s. Kap. 3.5.1). Es wäre allerdings technisch denkbar, einen der beiden Motoren im Achterschiff und einen - z.B. einziehbar in einem Schacht - im Vorschiff zu installieren, was ebenfalls eine vollständige Kontrolle der Schiffsbewegungen ermöglichen würde.

Eine weitere Voraussetzung für eine ergonomisch befriedigende Bedienung der Systeme besteht darin, dass die Ansteuerung der Teilsysteme - nach dem Stand der Technik - elektrisch/elektronisch erfolgen sollte, um komplexe Anforderungen - z.B. die Einstellung der Anstellwinkel von Pod-Systemen für einen Querschub oder für Traversfahrt - durch elektronische Vorschaltgeräte erledigen zu lassen.

Dies würde z.B. bei der Option mit einem drehbaren Antrieb im Heck, der zur Verringerung des Aufwandes mit der Ruderachse gekoppelt ist (s. Kap. 3.4), bedeuten, dass die Bedienung des Ruders hydraulisch/elektrisch erfolgen müsste, um sie elektronisch mit der Ansteuerung der Systeme im Bugbereich koordinieren zu können.

Nach dem aktuellen Stand der Technik und des Marktes und unter Berücksichtigung der gegenwärtigen Kosten der Teilsysteme ist für ein Fahrtensegelboot eine Konfiguration mit einem Einzelantrieb und fester Welle plus Bug- und Heckstrahlruder (ggf. alternativ einen Yacht-Pumpjet) eine technisch einfache und kostengünstige Lösung, die alle geforderten Bedingungen erfüllt.

4 Ergonomie, intuitive Bedienung und Sicherheit

In dem vorliegenden Arbeitsbericht geht es um die Frage, mit welchen Mitteln das Manövrieren von Segelyachten unter Motor auf engem Raum und bei ungünstigen Randbedingungen einfacher und sicherer gestaltet werden kann.

In Kapitel 3 wurden zu diesem Zweck die grundlegenden technischen Eigenschaften der verfügbaren Antriebsoptionen beschrieben.

Im Folgenden sollen ergänzend die Ergonomie der Bedienungselemente in ihrer typischen Anordnung auf Fahrtensegelbooten im Hinblick auf eine "komfortable Handhabung" und die intuitive Bedienbarkeit, also der Zusammenhang zwischen der Handhabung eines Bedienelementes und der damit ausgelösten Bootsbevewegung betrachtet werden. Ergänzend soll geprüft werden, wie weit die Sicherheitsreserven der Manövrierfähigkeit einer Konfiguration reichen, und ob die Gefahr besteht, in komplexen Situationen die Kontrolle über die Bootsbevewegungen zu verlieren.

4.1 Problemlage

Die ergonomischen und intuitiven Probleme des Manövrierens heutiger Segelyachten unter Motor sollen an einem Beispiel verdeutlicht werden:

Ein wenig routinierter Skipper (mit einigen Wochen Fahrpraxis pro Jahr) soll mit seinem Schiff unter Motor bei heftigem Seitenwind in einem unbekanntem, engen Hafen in einer Box anlegen.

Als erfahrener Autofahrer würde er intuitiv langsam fahren, um den Überblick zu behalten, je schwieriger die Situation ist, umso langsamer. Wie auf einem vollen Parkplatz würde er gerne anhalten und sich zunächst orientieren.

Genau dies darf er auf einer hochbordigen Segelyacht nicht tun. Im Gegenteil: Er muss, um sein Schiff manövrierfähig zu halten, bis zum Moment des Anlegens ständig in Fahrt bleiben, je stärker der Seitenwind, umso schneller.

Das intuitive Kernproblem: Das Schiff bleibt nicht "auf der Spur". Bei Fahrt voraus muss die Abdrift durch den Seitenwind mit einem geschätzten Vorhaltewinkel ausgeglichen werden, und bei Rückwärts-Schub ist eine Drehung des Bootes durch den Radeffekt zu berücksichtigen.

Auf vielen Segelyachten kommt hinzu, dass der Motor-Schalthebel an einer unauffälligen Stelle unten an der Cockpitwand montiert ist. Zur Bedienung mit der Hand (z.B. beim Umschalten von Schub voraus auf Schub zurück) muss der Rudergänger sich bücken und verliert für diese Zeit den Überblick über das Geschehen.

Stoppt der Rudergänger das Boot, dann wird durch den Seitenwind innerhalb weniger Sekunden der Bug aus dem Wind gedreht und das Boot seitwärts versetzt. D.h.: Im Gegensatz zum Autofahren gibt es beim Manövrieren auf engem Raum keine "Ruhe-Optionen", der Rudergänger kann erst aufatmen, wenn seine Luvleinen belegt sind.

Unter Sicherheitsgesichtspunkten stellt sich dabei u.a. die Frage, welchen Freiraum nach vorne, nach achtern und seitwärts sich der Rudergänger in jedem

Fall erhalten muss, um unter allen möglichen Randbedingungen die Kontrolle zu behalten.

Zunächst einige Bemerkungen zu den üblichen Orten an denen die Schalter und Hebel der Motoren an Bord eines Seglers montiert werden.

4.2 Typische Positionen der Bedienelemente auf Booten mit Pinnensteuerung und Radsteuerung

Auf vielen Segelbooten werden unter optischen Gesichtspunkten die ergonomischen Anforderungen der Positionierung von Motor-Schalthebel und ggf. des Schalters für das Bugstrahlruder vernachlässigt.

Auf Schiffen mit **Pinnensteuerung** fehlt bei modernen Yachten i.d.R. die Steuersäule.

Die navigatorisch wichtigen Anzeigen und Bedienelemente werden meist vorne im Cockpit neben oder über dem Niedergang positioniert, auf größeren Booten i.d.R. zu weit vorne, um direkt und schnell vom Rudergänger erreicht werden zu können.

Der Motor-Schalthebel ist in den meisten Fällen rechts oder links hinten an der unteren Cockpitseitenwand montiert. Viele Rudergänger haben sich deshalb angewöhnt, den Gashebel mit dem Fuß zu bedienen. Bei modernen Schalthebeln wird allerdings aus Sicherheitsgründen die "Null-Position" (Ausgekuppelt / Leerlaufgas) häufig mit einer Sperrklinke eingerastet, die zum Schalten des Motors manuell entriegelt werden muss.

Aus ergonomischer Sicht ist diese Anordnung mangelhaft, da der Rudergänger sich zur manuellen Bedienung des Schalthebels herunterbeugen muss, wenn er eigentlich hoch aufgerichtet die Umgebung des Bootes im Auge behalten sollte.

Bugstrahlruder sind auf Booten mit Pinnensteuerung selten. Sofern sie vorhanden sind, befindet sich der Bedienschalter entweder vorne im Cockpit neben dem Niedergang oder in der Nähe des Motor-Schalthebels unten an der Cockpitwand, wo er ebenfalls nur gebückt bedient werden kann.

Bei Schiffen mit **Radsteuerung** werden auf modernen Yachten i.d.R. die wichtigen Anzeigen und Bedienelemente in ein Panel auf der Steuersäule vor dem Rad eingebaut. Der Motor-Schalthebel wird häufig seitwärts an der Steuersäule positioniert.

Die Ergonomie dieser Anordnung ist bei sorgfältigem Design wesentlich besser, als bei der Pinnensteuerung. Allerdings sind auch hier - besonders bei nachträglichem Einbau z.B. von Querstrahlrudern - häufig Mängel zu

beobachten, wenn z.B. die Schalter durch die Speichen des Rades hindurch bedient werden müssen, die Querstrahlruder nicht mit der gleichen Hand wie der Motor-Schalthebel bedient werden können oder der Motor-Schalthebel zu weit vorne oder zu weit unten montiert wurde.

4.3 Hauptmaschine mit fester Welle und Ruder

Dies ist die Standardausstattung typischer Fahrtensegelyachten.

Neben den oben beschriebenen ergonomischen Gesichtspunkten ist diese Konfiguration mit spezifischen - und für wenig geübte Skipper mühsam zu handhabenden - intuitiven Problemen verbunden, die z.T. bereits in Kap. 3.1 und 3.2 angesprochen wurden:

- Das System verfügt als Bewegungskraft nur über Fahrt voraus und Fahrt zurück und hat einen verhältnismäßig großen Drehkreisdurchmesser. Ziele sind (mit Ausnahme sehr kleinräumiger Effekte) nur über Bug- oder Heck-Kurse erreichbar und müssen über Kreisbögen oder durch "Rangieren" (abwechselnd vor und zurück) angesteuert werden.
- Das Schiff fährt nicht - wie bei Landfahrzeugen gewohnt - "spurtreu", sondern "rutscht" abhängig von den Manövern und den Störeinflüssen auf der Wasseroberfläche aus der vorgesehenen Spur. Diese Bootsbewegungen sind extrem unintuitiv:
- Bei engen Kreisbögen voraus schwenkt das Heck deutlich aus. Die tatsächliche Bootsbewegung verläuft nicht - wie an Bord "gefühl" - über die Bugpeilung, sondern driftet im "Powerslide" mit einem Winkel von ca. 40° den Drehkreis entlang.
- Bei Rückwärtsfahrt wird durch den "Radeneffekt" das Boot gedreht.
- Bei Seitenwind oder Strömung wird das Boot durch an Bord nur grob kalkulierbare Kräfte aus der Spur gedrückt, insbesondere bei engen Kreisbögen ist der tatsächliche Ankunftsort schwer vorhersehbar und unerwartete Abweichungen vom Sollkurs sind kaum korrigierbar.
- Bei Stillstand oder sehr langsamer Fahrt besitzt der Rudergänger keine Handlungsoptionen gegen unerwünschte Seitwärts- oder Drehbewegungen des Schiffes z.B. durch Seitenwind. Die Abdriftgeschwindigkeiten sind auf engem Raum erheblich.

Bei Fahrt unter Motor (ohne Leinen- oder Anker-Unterstützung) besteht der wesentliche Sicherheitsmangel dieser Konfiguration darin, dass der Rudergänger die Kontrolle über das Boot dann verliert, wenn er keinen ausreichenden

Freiraum (in der Größe eines halben Drehkreises, rund 1-2 Bootslängen) für Vorwärts- oder Rückwärtsmanöver hat. Das Boot ist in dieser Lage externen Quer- und Drehkräften weitgehend hilflos ausgeliefert.

Diese systemspezifischen Probleme sind natürlich bekannt und mit Erfahrung und Training beherrschbar. Der erfahrene Skipper wird z.B. immer dafür sorgen, dass er bei Bedarf aus jeder Position über Bug oder Heck herausfahren kann, wenn er ein Manöver abbrechen muss.

Aber: Obwohl die Segelpresse sich regelmäßig bemüht, die Segler durch Handlungsanleitungen auf diese Situationen vorzubereiten, zeigt der Augenschein in den Häfen und die sportmedizinischen Untersuchungen zum Stress an Bord, dass einem großen Teil der Rudergänger - mangels Training und Fahrpraxis - der Umgang mit diesen unintuitiven Situationen ungeläufig ist und sie deshalb vielfach mit Angst und Stress reagieren.

4.4 Drehbare Außenbordmotore

Drehbare, am Heck aufgehängte Außenbordmotore sind eine typische Lösung zur Motorisierung kleinerer Segelboote.

Der ergonomisch-intuitive Vorteil der direkten Steuerung eines Außenborders über die Motorpinne gegenüber dem Manövrieren mit fester Welle und Ruder besteht in zwei Effekten:

- Der Drehkreis ist sehr viel kleiner (Drehachse im Bugbereich) und erlaubt deshalb Manöver auf wesentlich kleinerer Fläche.
- Der Schub, die Schubrichtung und die resultierende Bootsbewegung wird von Rudergänger intuitiv und sachlich richtig auf den Motor und seinen Anstellwinkel bezogen und deshalb i.d.R. präziser eingeschätzt, als das "Driften" um den Drehkreis.

Dies führt dazu, dass Boote mit direkt bedientem Außenborder über eine deutlich höhere Sicherheitsreserve für Manöver in schwierigen Situationen verfügen.

Die Handhabbarkeit wird allerdings bei größeren Motoren häufig dadurch eingeschränkt, dass auch Außenborder zur Vereinfachung der "Standard-Bedienung" mit einem elektrischen Anlasser und mit einer (mechanischen) Fernbedienung für Schaltung und Gas über Bowdenzüge ausgestattet werden. Dies erleichtert die Motorbedienung vom Cockpit aus erheblich, die starren Bowdenzüge verringern aber den verfügbaren Drehwinkel der Motoren deutlich. Hinzu kommt, dass bei vielen derart ausgerüsteten Motoren eine Pinne zur Drehung des Motors nicht mehr mitgeliefert wird.

Die speziellen ergonomischen Probleme der angemessenen Handhabung von drehbaren Außenbordern auf Segelbooten wurden bereits in Kap. 3.4 beleuchtet.

Das verbleibende prinzipielle Sicherheitsdefizit besteht darin, dass zwar (bei ausreichendem Freiraum in die gewünschte Richtung) das Boot als Ganzes mit einem angestellten Außenbordmotor aus fast jeder Position "herausgezogen" oder in einen Liegeplatz "hineingedreht" werden kann, dass aber die Richtung des Bootes - die Bugpeilung - eine automatische Folge der Bootsbewegung ist und nicht unabhängig kontrolliert werden kann.

Aus diesem Grunde werden vor allem größere Motorboote mit drehbarem Antrieb häufig zusätzlich mit einem Bugstrahlruder ausgerüstet (s. Kap. 3.4.1).

4.5 Querstrahlanlagen

Querstrahlanlagen auf Wassersportfahrzeugen sind keine eigenständigen Antriebsaggregate (im engeren Sinne und im Unterschied zu z.B. Pumpjets auf Berufsfahrzeugen), sondern Zusatzsysteme zur Unterstützung von Manövern.

Speziell Bugstrahlruder werden dazu genutzt, die Bugpeilung und die Drehung eines Schiffes zu kontrollieren.

Das intuitive Problem für den Rudergänger besteht dabei darin, dass das Schiff sich bei Einsatz eines Bugstrahlruders nicht nur dreht, sondern sich auch seitwärts bewegt mit einer resultierenden Drehachse im Heck des Schiffes (s. Kap. 3.3).

Werden - heute auf Wassersportfahrzeugen noch selten - Bug- und Heckstrahlruder eingebaut, so sind bei gemeinsamer Bedienung Querbewegungen und Drehungen technisch problemlos kontrollierbar (s. Kap. 3.3.1). In soweit können mit diesen Hilfsmitteln wichtige Sicherheitsdefizite für das Manövrieren behoben werden.

Wichtig ist es hierbei allerdings, dass Bug- und Heckstrahlruder nicht als unabhängige Antriebe zur Erzeugung von Drehungen des Bugs oder des Hecks betrachtet werden, sondern dass beide Systeme als integrierte Verbund-Funktion zur Erzeugung von Querschub und von Drehungen um die Schiffsachse verstanden werden.

Dies erfordert die Berücksichtigung folgender ergonomischer und intuitiver Gesichtspunkte:

- Die Drehmomente von Bug- und Heckstrahlruder müssen so aufeinander abgestimmt werden, dass bei gemeinsamem Schub in die gleiche Richtung ein sauberer Querschub ohne Drehung der Bugpeilung resultiert. Das ist

mit den für Wassersportfahrzeuge üblichen Querstrahlssystemen für die Werften ein aufwendiges technisches Problem, denn es erfordert bei gegebener Position der Querstrahl-tunnel im Schiff die (ggf. experimentelle) Abstimmung der Schubleistungen von Bug- und Heckstrahlmotor aufeinander, was häufig, wegen fehlender "Tuningoptionen" an den Motoren und grober Staffelung der Motorleistungen, nicht zufriedenstellend realisiert werden kann.

- Übliche Querstrahlssysteme für Wassersportfahrzeuge werden in aller Regel mit 3-Punkt-Schaltern bedient ("Schub nach BB" / Aus / "Schub nach StB"). Um diese Funktionen für beide Ruder gleichzeitig und mit einer Hand bedienen zu können, müssen die Schalter dicht nebeneinander liegen, aus "intuitiven" Gründen der Bugstrahl-Schalter "vorne/oben", der Heckstrahl-Schalter "hinten/unten". Hierfür gibt es auf dem Markt ergonomisch gute Lösungen, z.B. Doppel-Wipp-Schalter oder Joystick-ähnliche Konstruktionen, bei denen mit einem einzelnen länglichen Bedien-Knebel beide Schalter einzeln oder gemeinsam in die gleiche Richtung oder gegenläufig aktiviert werden können.
Sind allerdings - z.B. aus technischen Gründen - Bug- und Heckstrahl-systeme unterschiedlicher Hersteller erforderlich, so werden in vielen Fällen aus Kostengründen die beiden unterschiedlichen herstellereigenen Schalter verwendet und auf den Einbau einer ergonomisch zweckmäßigen integrierten Lösung - ggf. von einem Drittanbieter - verzichtet.
- Bug- und Heckstrahlruder erzeugen nach unseren Messungen gemeinsam einen Querschub mit einer Geschwindigkeit von etwa 2 kn. Gegenläufig angesteuert erfolgt eine Drehung um die Schiffsachse mit etwa 30 Sekunden für eine volle Umdrehung, das entspricht einer Winkelgeschwindigkeit von rund $10^\circ/\text{sec}$.
Diese Geschwindigkeiten sind für Detailmanöver auf engem Raum häufig zu schnell. Die intuitive (und technisch korrekte) Lösung zur Erzeugung langsamerer Bewegungen ist unter diesen Voraussetzungen die "Impulsbedienung", bei der die Querstrahlruder im Rhythmus von 1-2 Sekunden jeweils nur kurz für wenige Zehntelsekunden aktiviert werden. Geglättet durch die Trägheit des Schiffes entsteht hierdurch eine langsame, praktisch ruckfreie Bewegung.
Eine direkte, "lineare" Regelung der Schubstärke von Querstrahlmotoren wird für Geräte im unteren Leistungssegment für Wassersportfahrzeuge nicht angeboten.
- Trotz der erheblichen technischen Verbesserung der Manövrierfähigkeit beinhaltet die Ausrüstung einer Segelyacht mit Motor und zusätzlichen Querstrahlrudern eine grundsätzliche ergonomische Schwäche: Die Segmentierung der Bedienung auf bis zu vier von einander unabhängigen

Bedienelemente:

Ruderpinne / Ruderrad,
Motor,
Bugstrahlruder,
ggf. Heckstrahlruder

mit z.T. überlappenden, sich gegenseitig verstärkenden oder abschwächenden Funktionen. Der Rudergänger muss selbsttätig abschätzen, welche Kombination dieser vier Kräfte auf das Boot die gewünschte Wirkung erzeugt, was ihn u.U. gelegentlich überfordert.

Wie bei fast allen modernen Mensch-Maschine-Systemen, in denen viele technischen Variablen zur sicheren Einhaltung eines gewünschten "Kurses" koordiniert werden müssen, ist man auch in der Berufsschiffahrt deshalb längst dazu übergegangen, die unmittelbare Kontrolle der einzelnen Motor- und Steuerfunktionen durch eine Elektronik erledigen zu lassen, der über eine ergonomisch zweckmäßige Eingabeeinheit - z.B. einen Joystick - auf intuitiv möglichst unmissverständliche Weise mitgeteilt wird, welchen Kurs der Steuermann mit welcher Geschwindigkeit fahren will.

5 Das ComfoDrive-Konzept

5.1 Ansatz, Begründung und Umsetzung

Aus den Darlegungen ergibt sich:

1. Die Standard-Motorisierung von Fahrtsegelyachten (ohne Querstrahlruder) enthält bei Manövern auf engem Raum und unter Störgrößeneinfluss ernsthafte Sicherheitsdefizite. D.h. Bewegung und Richtung des Schiffes können in bestimmten Situationen nicht mehr kontrolliert werden.
2. Es gibt eine Reihe technischer Konzepte, mit denen durch die Kombination mehrerer Antriebe diese Defizite ganz oder teilweise behoben werden können.
3. Mit zunehmender Anzahl von Komponenten und deren Ansteuerungsmöglichkeiten zur Kontrolle der Bootsbewegung wird es für den Rudergänger unübersichtlicher und schwieriger ("unintuitiver"), die für die konkrete Situation angemessene/beste Kombination der Bedienoptionen zu entscheiden.

In Anbetracht der dargestellten Probleme und vor dem Hintergrund der Beobachtung, dass die durch Schwierigkeiten bei Manövern erzeugten Belastungen der Crew mit zunehmendem Alter der Segler zu Vermeidungsreaktionen führen, wurde im Rahmen des Forschungsprojektes "Fit

& Sail" das Teilprojekt "ComfoDrive" aufgesetzt, um Lösungskonzepte zu entwickeln und prototypisch zu überprüfen.

Aus den dargestellten Eigenschaften der z.Z. verfügbaren Antriebs- und Manövriersysteme ergab sich folgender Ansatz einer Manövrierunterstützung für Fahrtsegelyachten, welche die dargestellten Sicherheitsdefizite behebt:

- Das Konzept soll in marktüblichen Fahrtsegelyachten herstellerunabhängig und möglichst kostengünstig nachgerüstet werden können.
- Es wird vorausgesetzt, dass die Boote über eine Hauptmaschine mit fester Welle und einer Schraube vor dem Ruder sowie über eine Fernbedienung des Motors mit Hilfe von Bowdenzügen für Schaltung und Gas verfügen.
- Als Kernproblem wird die Kontrolle der horizontalen Quer- und Drehbewegungen des Bootes vor allem bei sehr langsamer Fahrt betrachtet.
- Um die Bedienungsergonomie und die intuitive Bedienbarkeit zu verbessern, soll die Steuerung der horizontalen Bewegungen des Bootes in alle Richtungen, also die Bedienung sowohl der Hauptmaschine als auch der Quer- und Drehkontrollen, integriert "single-hand" z.B. über einen einzelnen 3-Achsen-Joystick erfolgen.
- Eine Realisierung soll mit Hilfe marktüblicher Systeme und - so weit wie möglich - unter Verwendung von deren Bedienschnittstellen, also ohne technische Eingriffe in die Systeme, erfolgen.

Um einerseits die Kinetik des Bootantriebes (Bewegung unter dem Einfluss von Schub- und Zugkräften) physikalisch und mathematisch übersichtlich zu gestalten und um andererseits einfache und relativ preiswerte Standardkomponenten verwenden zu können, wurde eine Lösung mit drei Antrieben konzipiert:

- Hauptmaschine für Schub in Vorwärts- und Rückwärts-Richtung.
Zur Bedienung des Motors (Schaltung, Gas) ist an Stelle der üblichen mechanischen Fernbedienung eine handelsübliche Elektronische Motorfernbedienung vorgesehen, die mit Hilfe von 2 Servomotoren die beiden Bowdenzüge für Schaltung und Gas bedient und deren Funktionen elektrisch durch ein Potentiometer im Schalhebel angesteuert werden.
- Je ein elektrisches Bugstrahlruder mit fest eingebautem Quertunnel im Bug und im Heck des Bootes und einfacher elektrischer Ein/Aus-BB/StB-Schaltung zur Erzeugung von Schub in Querrichtung oder von horizontalen Drehmomenten.

Als Bedienelement ist ein 3-Achsen-Joystick mit Potentiometer-Sensoren vorgesehen, mit den Bewegungsachsen

- Kippen des Joysticks vorwärts - rückwärts (Y-Achse),
- Kippen des Joysticks rechts - links / StB-BB (X-Achse),
- Drehung des Joystick-Kopfes im Uhrzeigersinn - gegen den Uhrzeigersinn (Z-Achse)

zur Steuerung der "intuitiv" zugehörigen Bootsbewegungen (vorwärts-rückwärts / seitwärts / Drehung).

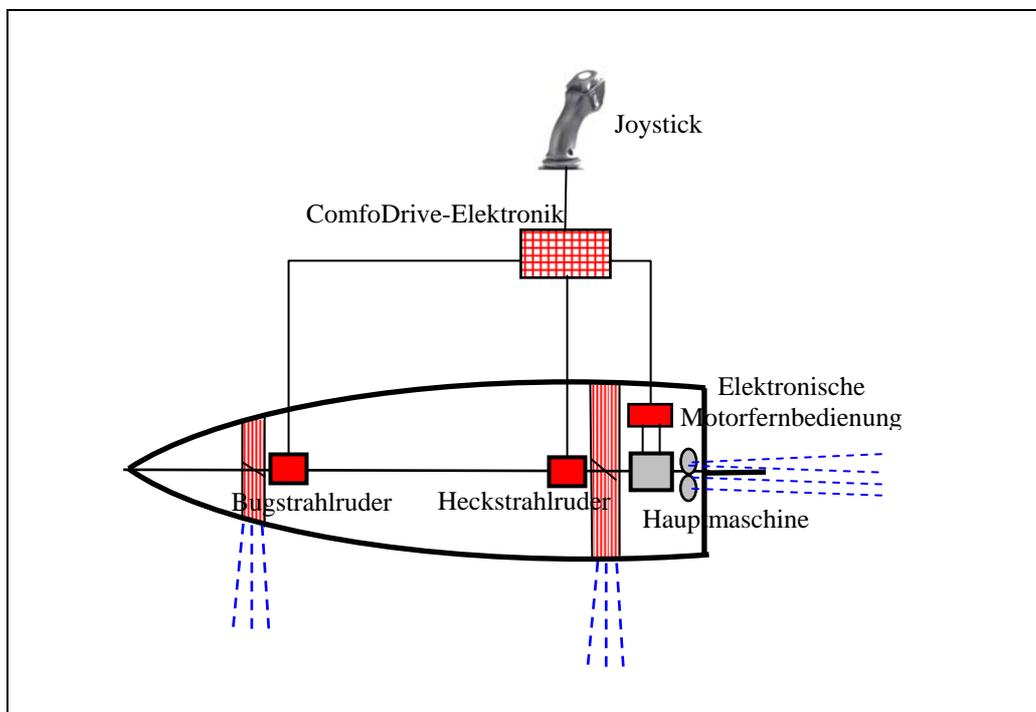


Abb. 5-1: Technisches ComfoDrive-Konzept

Anmerkung

zur Steuerung von Bewegungsgeschwindigkeiten mit einem Joystick:

Soll über den Kippwinkel eines Joysticks die Geschwindigkeit und die Drehrichtung eines Motors gesteuert werden, so sind für die Interpretation der Joystick-Positionierungen mehrere grundsätzlich unterschiedliche Verfahren möglich, u.a.:

a) Proportionale Steuerung:

Die Drehrichtung und die Geschwindigkeit des Motors werden proportional zum Kippwinkel geregelt.

Joystick Mittelstellung: Motor ausgekuppelt, Leerlauf

Joystick Kippwinkel vorwärts: Fahrt voraus
Joystick Kippwinkel rückwärts: Fahrt zurück.

Um bei längerfristig konstantem Motorzustand hierbei den Joystick nicht ständig in der Hand halten zu müssen, sollte der Joystick für diese Kippebene keine automatische Federrückholung in die Mittelstellung haben, sondern statt dessen eine Reibbremse, die den eingestellten Joystick-Kippwinkel nach dem Loslassen hält.

Die Abbildung des Geschwindigkeitsbereiches zwischen Leerlauf und voller Kraft auf den Kippwinkel kann dabei linear (z.B. halber Kippwinkel = halbe Kraft) aber auch nicht-linear z.B. progressiv (z.B. halber Kippwinkel = 1/4 Kraft) oder degressiv (z.B. halber Kippwinkel = 3/4 Kraft) erfolgen.

Bei einer proportionalen Steuerung benötigt ein Joystick i.d.R. größere maximale Kippwinkel (nach unseren Beobachtungen mindestens $\pm 35^\circ$), um den Geschwindigkeitsbereich zwischen Leerlauf und voller Kraft über den Kippwinkel ausreichend sensibel bedienen zu können.

b) Steuerung der Veränderung:

Wird der Joystick gekippt, so wird die Geschwindigkeit des Motors kontinuierlich verändert:

Kippen nach vorne: die Geschwindigkeit wird erhöht

Kippen zurück: die Geschwindigkeit wird verringert.

Geht der Joystick in die Mittelstellung, so wird die aktuelle Geschwindigkeit gehalten.

Das Tempo, mit dem die Geschwindigkeit verändert wird, ist proportional dem Kippwinkel:

großer Kippwinkel: die Geschwindigkeit wird schnell verändert,

kleiner Kippwinkel: die Geschwindigkeit wird langsam verändert.

Bei diesem Verfahren sollte der Joystick eine automatische Federrückholung in die Mittelstellung haben, damit bei Loslassen des Joysticks die Geschwindigkeit gehalten wird.

Da über den Kippwinkel des Joysticks das Tempo der Geschwindigkeitsveränderung geregelt wird und der Joystick bei diesem Verfahren i.d.R. mit kurzen "Kipp-Impulsen" bedient wird, sind kleinere maximale Kippwinkel (z.B. im Bereich um $\pm 25^\circ$) zweckmäßig.

Ein ergonomisches Problem bei diesem Verfahren ist der Übergang von "Fahrt voraus" in "Fahrt zurück" (und umgekehrt) und der Übergang von "Fahrt" in "Ausgekuppelt/Leerlauf". Dieser Wechsel des Betriebszustandes kann grundsätzlich durch das entsprechende Kippen des Joysticks gesteuert (und durch eine nachgeschaltete Elektronik umgesetzt) werden:

z.B. bei Fahrt voraus:

Joystick zurück gekippt:

"Fahrt voraus"

=> "Leerlauf/Ausgekuppelt", "Umschaltung"

=> "Fahrt zurück"

Da aber die Herstellung des Zustandes "Ausgekuppelt/Leerlauf" beim Manövrieren eines Bootes unter Motor ein besonders wichtiger und sensibler Zustand ist, sollte dieser spezielle "Grundzustand" zusätzlich z.B. durch einen Druckknopf auf dem Joystick hergestellt werden können.

Für das ComfoDrive-System wurde eine Joystick-Bedienung mit proportionaler Steuerung gewählt, da für diese eine bessere intuitive Bedienbarkeit vermutet wird und u.a. die Schalthebel der typischen Motorfernsteuerungen nach dem gleichen Prinzip arbeiten.

Die Umsetzung der Joystick-Position in die Motor-Ansteuerungen erforderte die Entwicklung einer Schnittstellen-Elektronik mit folgenden Eigenschaften:

- Umsetzen der vorwärts - rückwärts Kippwinkel (Y-Achse) in ein Ausgangssignal, welches die Potentiometer-Schnittstelle des Schalthebels der Elektronischen Fernsteuerung nachbildet.
Diese Umsetzung erfolgt für die Prototypen linear, kann aber bei Bedarf auch mit einer nicht-linearen Funktion erfolgen.
- Umsetzen der links - rechts Kippwinkel (X-Achse) und der Drehwinkel (Z-Achse) mit Hilfe eines Schalt-Algorithmus in StB/BB - Ein/Aus - Signale auf Relais, welche das Bug- und das Heckstrahlruder schalten.
Der Schaltalgorithmus sorgt dafür, dass ein links - recht Kippen des Joysticks einen gleichsinnigen Querschub, die Drehung des Joysticks einen entsprechenden gegensinnigen Schub der Querstrahlruder erzeugt, wobei ein gleichzeitiges Kippen und Drehen des Joysticks zu einer "intuitiv" entsprechenden Überlagerung der Ruderansteuerungen umgerechnet wird.
Die Elektronik erzeugt dabei in einem konstanten (einstellbaren) Takt (bei den Prototypen 1 Impuls/Sekunde) pro Querstrahlruder Schaltimpulse, deren Dauer vom Schalt-Algorithmus proportional zum Kipp- und Drehwinkel des Joysticks berechnet wird. Diese Funktion ermöglicht eine quasilineare Kontrolle der Schubkräfte.
- Ergänzend ist in der Elektronik pro Querstrahlruder die maximale Impulsdauer pro Takt (in Prozent der Taktzeit) einstellbar. Hierdurch kann die mittlere Schubkraft z.B. des Bugstrahlruders gegenüber dem Heckstrahlruder reduziert werden, um die Drehmomente beider Systeme für einen sauberen Querschub aufeinander abstimmen zu können.

Bei der Gestaltung des Joysticks waren folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

- Der Joystick wurde als einziges, zentrales Bediengerät für alle motorischen Antriebe des Bootes konzipiert. Er soll sowohl die Taster der Querstrahlruder als auch den Schalthebel der Hauptmaschine ersetzen.
- Hieraus ergeben sich an die Gestaltung der Y-Achse des Joysticks folgende Anforderungen:
 - Die Y-Achse des Joysticks ersetzt dauerhaft die Funktionen des Standard-Schalthebels der Hauptmaschine, deshalb benötigt diese Achse analog zu Standard-Schalthebeln eine Reibbremse, um nach Einstellung des gewünschten Motorzustandes den Joystick loslassen zu können.
 - Der Joystick muss mechanisch robust so dimensioniert sein, dass er auch bei unruhigen Schiffsbewegungen und z.B. mit Handschuhen sicher bedient werden kann.
 - Bei der Bedienung eines Verbrennungsmotors über Bowdenzüge mit Hilfe eines Schalthebels/Joysticks sind 3 Zustände wichtig und müssen sicher positioniert werden können:
 - Null-Punkt, Mittellage:
 - Schaltung: Ausgekuppelt,
 - Gas: Leerlauf,
 - Gang eingelegt, Schalthebel definiert gekippt:
 - Schaltung: Vorwärts- bzw. Rückwärtsgang ein
 - Gas: Leerlauf
 - Fahrt, Schalthebel weiter gekippt bis zum Maximalwinkel:
 - Schaltung: Vorwärtsgang (bzw. Rückwärtsgang) ein
 - Gas: zwischen Leerlauf und Vollgas

Um die "Null-Position" und die Positionen "Vorwärts- bzw. Rückwärtsgang eingelegt" sicher einstellen zu können, sollten diese drei Positionen auf der Reibbremse des Joysticks durch leicht einrastende Kerben deutlich spürbar erkannt werden können.
 - Ergonomische Voruntersuchungen zu den erforderlichen Handbewegungen ergaben für diese 3 Zustände folgende zweckmäßigen Maße, die mit den Prototypen überprüft werden sollen:
 - Handbewegung "Null-Position" ⇔ "Gang eingelegt": 2-5 cm
 - Handbewegung "Leerlauf" ⇔ "Vollgas": 5-10 cm

Sind die Schaltpunkte exakt (also ohne Hysterese) z.B. durch Kerben markiert, dann sind voraussichtlich die kleineren Werte für eine ergonomische Handbewegung ausreichend.

Aus diesen Maßen folgt, dass bei einem Joystick mit einer Hebellänge von 14 cm

- die Position "Gang eingelegt" bei einem Kippwinkel von $\pm 10-15^\circ$ liegen sollte und
 - für eine ausreichende Strecke "Leerlauf" \Leftrightarrow "Vollgas" ein maximaler Kippwinkel von mindestens $\pm 35^\circ$ benötigt wird.
- Für die Bedienung der Querstrahlruder mit Hilfe der X-Achse und Z-Achse des Joysticks wurde bei den Tests beobachtet, dass die Funktionen "Querschub" und "Drehung" jeweils in manuellen Impulsen von selten mehr als 3 Sekunden Dauer und meist mit maximaler Leistung der Querstrahlruder aktiviert wurden. Die "großräumige" Steuerung des Segelbootes erfolgte nach wie vor mit Hilfe des Ruders. Bei diesen kurzzeitigen Aktivierungen ist für die X- und die Z-Achse eine automatische Federrückholung des Joysticks in seine Null-Position nach dem Loslassen ergonomisch zweckmäßig. Als ergonomisch gute maximale Kipp- und Drehwinkel für diese Achsen ergaben die Tests Werte von jeweils rund $\pm 25^\circ$.

Ein weiterer wichtiger ergonomischer Gesichtspunkt ist die Bedienposition des Joysticks auf dem Schiff: Der Joystick sollte möglichst aufrecht stehend in unmittelbarer Nähe der Pinne oder des Rades bedient werden können.

Bei den Untersuchungen auf einer kleineren Kajütyacht mit Pinnensteuerung erwies sich die Position auf der Heckbank unter der Pinne als besonders geeignet.



Abb. 5-2: Position des ComfoDrive-Joysticks auf einem Boot mit Pinnensteuerung

Bei Yachten mit Radsteuerung wird eine Position rechts oder links auf einem Panel an der Steuersäule, die ohne Behinderung durch das Rad erreichbar ist, favorisiert.

Abschließend eine tabellarische Zusammenfassung von Daten und Messergebnissen der Tests des ComfoDrive-Systems auf einer 7 m langen Neptun 22 im Sommer 2007 sowie einige ergänzende Kapazitätsberechnungen:

Technische Daten und Messergebnisse der Tests:

Testboot	
Typ	Neptun 22, Kielschwert
L / B / T	7,0 / 2,5 / 1,1 m
Motor	AB im Schacht, 8 PS / 6 kW
Leistung der Lichtmaschine (12 V)	ca. 6 A
Batteriekapazität:	
Hauptbatterie	70 Ah
Bugstrahlruder	70 Ah
Heckstrahlruder	70 Ah
Bug- und Heckstrahlruder	
Typ	Volvo Penta QL BP 300
Leistung	2 kW
Abstand Bugstrahlruder vom Lateralschwerpunkt	ca. 2,40 m
Abstand Heckstrahlruder vom Lateralschwerpunkt	ca. 1,90 m
Messwerte	
Leistungseinstellung Bugstrahlruder / Heckstrahlruder für saubere Querfahrt	0,7 / 1,0
Geschwindigkeit Querschub	ca. 2 kn (1 m/sec.)
Zeit für eine volle Drehung	ca. 30 sec.
Laufzeit der Querstrahlruder pro typischem Anlegemanöver	ca. 30 sec.

Verbrauchs- und Batteriedaten	
Stromstärke pro Querstrahlruder	ca. 150 A
maximale Betriebszeit mit einer Batteriekapazität von 70 Ah / Querstrahlruder bis zu 50% Entladung	rund 14 min.
Stromverbrauch pro Querstrahlruder für ein typisches Anlegemanöver (30 sec. Betriebszeit)	ca. 1,25 Ah
Summe Stromverbrauch für beide Querstrahlruder	ca. 2,5 Ah
Anzahl von typischen Anlegemanövern ohne Nachladen (70 Ah * 0,5 / 1,25 Ah)	ca. 28
Ladezeit der Lichtmaschine (6 A) für ca. 2,5 Ah	ca. 25 min.

5.2 Stand des Marktes: Ähnliche Konzepte

Auf dem europäischen Wassersportmarkt werden - Stand August 2007 und abgesehen von einzelnen Individuallösungen - zwei Systeme zur Kontrolle der Bootsbewegungen mit Hilfe eines Joysticks angeboten:

- Die IPS-Joystick-Steuerung von Volvo Penta (seit etwa 2006) und
- das Pro-Docker System von Vetus (seit 2007)

Beide Systeme verwenden - wie ComfoDrive - 3-Achsen-Joysticks zur proportionalen Steuerung der horizontalen Bootsbewegungen. Die Einsatzkonzepte und damit die Gestaltung und die Eigenschaften des Joysticks unterscheiden sich aber wesentlich von dem ComfoDrive-Konzept:

Beide Anbieter positionieren ihre Joystick-Steuerung als ergänzende Funktion neben den Standard-Bedienelementen (Motor-Schalthebel etc.) ihrer Systeme. Der Rudergänger schaltet bei Bedarf auf die Joystick-Bedienung um.

Die Joysticks beider Anbieter verfügen für alle drei Achsen über eine Federrückholung in die Null-Stellung, sodass der Joystick während der Aktivierungszeit grundsätzlich in der Hand gehalten werden muss. Vetus bietet deshalb zusätzlich einen Druckknopf auf dem Joystick, mit dem die aktuelle Joystick-Funktion fixiert werden kann.

Die Kippwinkel beider Joysticks liegen - soweit sich das bisher feststellen ließ - auch für die Y-Achse (der Kontrolle der Vorwärts-/Rückwärtsbewegung) bei etwa $\pm 25^\circ$.

Wie bei unseren Untersuchungen zur Joystick-Ergonomie festgestellt (s. oben Kap. 5), ist ein so kleiner Kippwinkel zur sensiblen Kontrolle der Motorleistung von "Vollgas voraus" bis "Vollgas zurück" mit einer proportionalen Kennlinie vermutlich zu gering. In den Produktinformationen von Volvo Penta wird deshalb darauf hingewiesen, dass bei Joystick-Betrieb die maximale Motorleistung auf 900 bzw. 1.500 U/min. begrenzt ist. Es konnte bisher nicht eruiert werden, wie das Vetus-Konzept dieses Problem behandelt.

Eine "single-hand" Kontrolle der horizontalen Bootsbewegungen mit Hilfe eines 3-Achsen-Joysticks und der zugehörigen Antriebstechnik verbessert nach unseren Beobachtungen die Sicherheit der Handhabung eines Bootes unter erschwerten Bedingungen ganz erheblich.

Es soll allerdings auch darauf hingewiesen werden, dass es zur Förderung einer verbesserten, intuitiv zuverlässigen Bedienung der Bootsantriebe aus ergonomischer Sicht zweckmäßig ist, die Anzahl der im konkreten Fall zur Auswahl stehenden Bedienelemente soweit wie möglich zu verringern und im Idealfall auf ein Einzelnes, z.B. einen Joystick zu reduzieren.

Für diesen Ansatz besitzt das ComfoDrive-Konzept - soweit wir das zum Stand Ende 2007 übersehen - ein Alleinstellungsmerkmal.

5.2.1 Volvo Penta IPS Joystick

Das Volvo Penta IPS-System ist in der z.Z. angebotenen Form für den Einsatz auf Segelyachten nicht geeignet, wird aber an dieser Stelle erwähnt, weil es (nach unserer Kenntnis) eines der ersten Produkte war, das eine Joystick-Steuerung der horizontalen Bootsbewegungen für Wassersportfahrzeuge anbot. Es handelt sich im Kern um ein Antriebs-Konzept für schnelle Motorboote mit (mindestens) zwei im Heck nebeneinander angeordneten speziell entwickelten Z-Drive-Motoren mit drehbaren Propellerachsen (s. Kap. 3.5.1) und elektronischer Steuerung. Der horizontale Drehwinkel der Propellerachsen beträgt 27°.

Der IPS Joystick ist eine Ausstattungsvariante für Boote mit Volvo Penta IPS Antrieb.

Die zwei IPS-Motoren werden im "Standard-Betrieb" parallel über ein Steuerrad und die üblichen Motorschalthebel bedient. Nach einem Umschalten der Kontrolle auf den Joystick können die Anstellwinkel und Drehzahlen der Antriebe individuell kontrolliert werden. Die Umsetzung der Joystick-Befehle auf die Einstellungen der Antriebe erfolgt durch eine Elektronik. Die Drehzahlen der Motoren sind dabei auf maximal 900 U/min. im Normalmodus bzw. 1.500 U/min. im "Buster-Modus" begrenzt.

Das Volvo Penta IPS Joystick System ist z.Z. nur für Motorboote mit IPS-Antrieb verfügbar. Volvo Penta hat auf Anfrage allerdings angedeutet, dass auch an einer Version für Hauptmaschine und Querstrahlruder mit diesem Joystick gearbeitet werde.

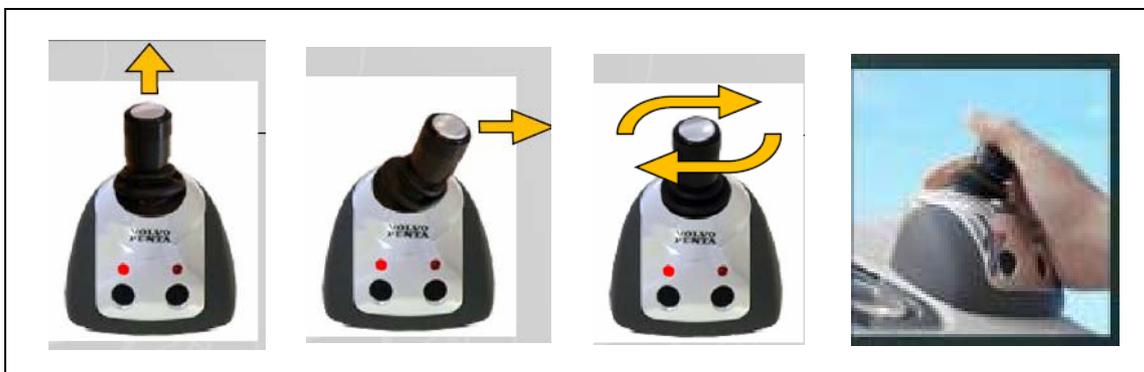
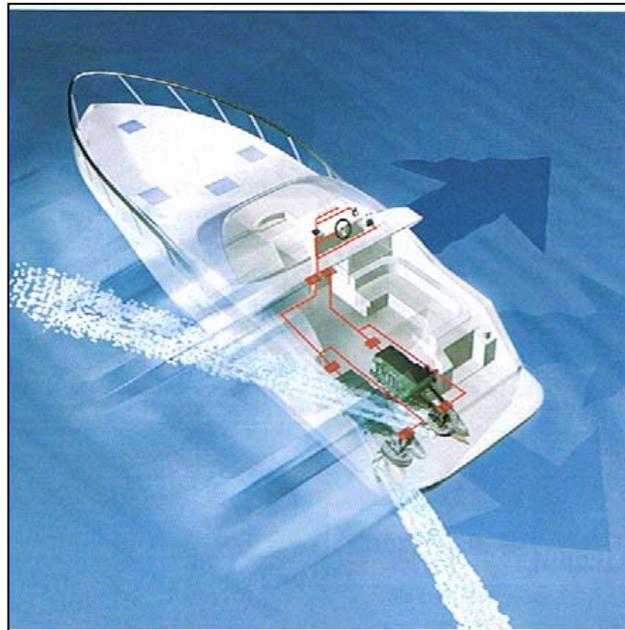


Abb. 5-3: Volvo Penta IPS Joystick (Quelle: Volvo Penta)

5.2.2 Vetus Pro-Docker

Das Pro-Docker System von Vetus wurde im Sommer 2007 angekündigt und ergänzt das Vetus-Sortiment aus Antriebssystemen, Anzeigen und Steuerungen für Wassersportfahrzeuge.

Kern des Konzeptes ist eine Elektronische Steuereinheit, welche einerseits die Zustandinformationen der angeschlossenen Systeme sammelt und anzeigt und andererseits Steuersignale der unterschiedlichen Bedienelemente koordiniert, umrechnet und an die entsprechenden Antriebe weiterleitet.

Mit dem Pro-Docker-Joystick sollen in diesem Rahmen bei Bedarf durch die integrierte Kontrolle der Hauptmaschine und der Querstrahlruder die horizontalen Bootsbewegungen gesteuert werden.

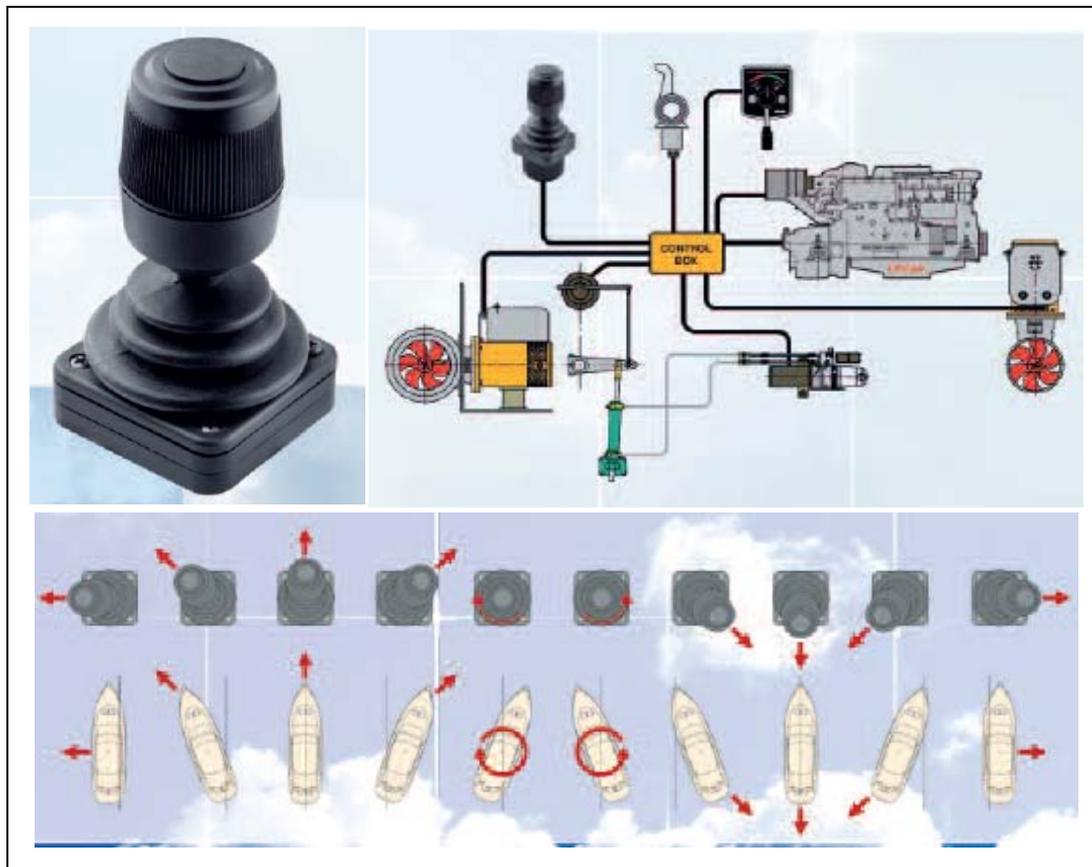


Abb. 5-4: Vetus Pro-Docker System (Quelle: Vetus)

Bis August 2007 lagen uns noch keine Berichte über Details des Funktionsumfangs und über praktische Erfahrungen mit dem System vor.

5.3 Ausblick: ComfoDrive als Schnittstelle zu Assistenzsystemen

Assistenzsysteme auf Schiffen sind technische Hilfen, mit denen u.a. die Navigation und das Manövrieren ganz oder teilweise automatisiert werden. Ein typisches Beispiel ist ein Autopilot, der nach Routenpunkten selbsttätig einen Kurs abfährt.

Ein interessanter Teilbereich sind hierbei "Dynamic-Positioning Systeme" (DP-Systeme), deren Aufgabe es ist, ein Schiff automatisch auf einer vorgegebenen Position (mit einer vorgegebenen Bugpeilung) zu halten oder es automatisch auf

einem vorgegebenen (oder an Hand von Kartendaten berechneten) Kurs an eine vorgegebene Position z.B. an einen Liegeplatz zu bringen und dort "zu parken".

Der Unterschied von "DP" zu z.B. Autopiloten besteht darin, dass nicht nur die Position und die Fahrtrichtung des Schiffes sondern auch die Peilung und die Geschwindigkeiten bzw. Drehungen in alle Richtungen durch das System kontrolliert werden müssen.

Die konkreten Anforderungen von Manövern auf engem Raum erfordern es zudem, dass Positionsbestimmungen und Bootsbewegungen zentimetergenau durchgeführt werden müssen.

Die technische Herausforderung der Entwicklung brauchbarer DP-Systeme für Wassersportfahrzeuge besteht u.a. in der Verfeinerung der Sensoren und ihrer Auswertungstechnik zur Messung z.B. der Position, der Winkel und der Geschwindigkeiten eines Wasserfahrzeuges.

Ein weiteres Defizit für den Einsatz solcher Systeme auf Wassersportfahrzeugen war bisher das Fehlen von Schnittstellen, mit denen auf einfache Weise die Position und die Bewegung des Schiffes auf dem Wasser in alle Richtungen kontrolliert werden konnte.

Hier bietet die Joystick-Schnittstelle des ComfoDrive eine für die Entwicklung solcher Verfahren besonders einfache und technisch komfortable Option: Die Soll-Geschwindigkeiten werden an der Potentiometer-Schnittstelle orthogonal geregelt: Y-Rechtung (vor-zurück) / X-Richtung (links-rechts) / Z-Richtung (Drehung), und die Steuerung erfolgt linear durch analoge elektrischen Signale.

Es bietet sich an, diese Schnittstelle z.B. für die Entwicklung und den Test von Prototypen neuer Assistenzsysteme für Wassersportfahrzeuge zu nutzen.

Entsprechende Arbeiten werden u.a. bereits unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Jürgen Büddefeld am Forschungsinstitut für Nano- und Optische Technologien der Hochschule Niederrhein durchgeführt (s. Quellen).

6 Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsprojektes "Fit & Sail" werden in Zusammenarbeit des Bundesverbandes Wassersportwirtschaft e.V. (Köln) mit dem Institut für Sport und Sportwissenschaften der Universität Kiel und dem privaten Institut für Boots-Tourismus in Bonn die Aktivitäten und Belastungen älterer Segler auf Fahrtensegelyachten untersucht.

Ein spezieller Teilaspekt des Fahrtensegelns ist das Manövrieren der Yachten unter Motor bei langsamer Fahrt in Häfen, Schleusen und anderen "engen Räumen". Hier kann es auf Grund der dynamischen Fahreigenschaften von Fahrtenseglern unter Motor insbesondere bei Störgrößeneinfluss (z.B. Seitenwind oder Strömung) zu Situationen kommen, in denen der Rudergänger den Kurs seines Bootes nicht mehr ausreichend sicher unter Kontrolle hat.

In dem Teilprojekt "ComfoDrive" wurden technische Lösungen zum sicheren und stressarmen Manövrieren von Fahrtenseglern unter Motor untersucht und an Hand von Prototypen getestet.

Der vorliegende Arbeitsbericht stellt in diesem Zusammenhang zunächst die typischen Antriebs- und Manövriersysteme von Segelyachten dar und beschreibt deren Kräfte und Drehmomente sowie die daraus resultierenden dynamischen Eigenschaften. Zusätzlich werden die ergonomische Gestaltung der Bedienelemente und deren intuitive Bedienbarkeit beleuchtet.

Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Analyse von möglichen Sicherheitsdefiziten der einzelnen Antriebs- und Manövrierkonzepte im Hinblick auf denkbare Zustände und Randbedingungen ("enger Raum", Wind, Abdrift etc.), bei denen der Rudergänger in Gefahr laufen könnte, die Kontrolle über die Bootsbewegungen zu verlieren.

Aufsetzend auf diese Überlegungen wird das ComfoDrive-Konzept mit Hauptmaschine, Querstrahlrudern und Joystick beschrieben. Die einzelnen Systementscheidungen werden an Hand von Untersuchungsergebnissen und Messdaten begründet. Die Ergebnisse der Tests mit ersten Prototypen werden tabellarisch dargestellt und kommentiert.

Zum Vergleich werden die Konzepte ähnlicher Joystick-basierter Manövriersysteme für Wassersportfahrzeuge an Beispielen der Produkte von Volvo Penta und Vetus beschrieben und gegen das ComfoDrive-Konzept abgegrenzt.

In einem Ausblick wird abschließend auf weiterführenden Einsatzmöglichkeiten der ComfoDrive-Bedienschnittstelle u.a. bei der Entwicklung fortgeschrittener Assistenzsysteme hingewiesen.

7 Quellen

Literatur und Printmedien:

Anlegen einfach und sicher, in Wassersport-Wirtschaft, 4/2006

Bate, J., Redhead, P., A Feasibility Study for the Upgrade of the Manoeuvring Performance of the Hunt Class MCMV's, 11th Ship Control System Symposium, University of Southampton, 1997

Büddefeld, J., Projekt Fit & Sail - Studie: Stand der Entwicklung von Assistenzsystemen und deren Technologien zur Unterstützung von Navigation und Manövern im Nahbereich u.a. in der Berufsschiffahrt, IBoAT-Report 3.5, 2007

Greytak, M., High performance path following for marine vehicles using azimuthing podded propulsion, MIT, 2006

Hafenmanöver - wie Skipper noch die Kurve kriegen, in Yacht 12/2006

Hafenmanöver Praxis: Manöver an der Leine, in Yacht 6/2007

Howard-Williams, J., Das Segel, Verlag Delius Klasing & Co, 1973

Marconi, K., Wie konstruiert und baut man ein Boot, Verlag Klasing & Co, 1975

Mell, W.-D., Senioresegeln - Studie: Langzeitmessungen Herz-Kreislaufbelastung Fahrtsegeln und Alltagsaktivitäten, IBoAT-Report 3.1, 2005

Müller, M., Den Leuten den Stress nehmen, in Yacht 21/2006

Müller, M., Gesünder segeln, in Yacht 5/2006

Niedoba, M., Hard- und Softwareentwicklung eines satelliten- und inertialgestützten Assistenzsystems für die Sportschiffahrt, Diplomarbeit Fachbereich Elektronik und Informatik Hochschule Niederrhein, 2007

Römisch-katholische Manöver, in Yacht 17/2007

Schumann, Ch., Anlege-Beratung, in Yacht 16/2005

Schürmann, P., Mut zur Lücke, in Yacht 16/2005

Stettler, J.W., Hover, F.S., Triantafyllou, M.S., Preliminary results of testing on the dynamics of an azimuthing podded propulsor relating to vehicle maneuvering, MIT, 2001

The Specialist Committee on Azimuthing Podded Propulsion, Final Report and Recommendation to the 24th ITTC, 2005

Internet:

de.wikipedia.org/wiki/Ergonomie

de.wikipedia.org/wiki/Kategorie:Schiffbau

de.wikipedia.org/wiki/Mensch-Maschine-Schnittstelle

de.wikipedia.org/wiki/Pod-Antrieb

de.wikipedia.org/wiki/Radeffekt

nl.wikipedia.org/wiki/Azimuth_thruster

www.fischerpanda.de/products/deu/182

www.vetus.com

www.volvo.com/volvopenta/germany/de-de/marineengines/powerforleisureboats/ips/

8 Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 3-1:	Bewegungselemente des Drehmanövers vorwärts	11
Abb. 3-2:	Eigenschaften des Drehkreises vorwärts unter Motor	13
Abb. 3-3:	Fahrt zurück unter Motor mit Radeffekt ("linksdrehender" Propeller)	15
Abb. 3-4:	Fahrt zurück mit starkem "Radeffekt" und Impuls-Schub.....	16
Abb. 3-5:	"Drehen auf dem Teller"	17
Abb. 3-6:	Abdrift eines Fahrtensegelbootes durch Seitenwind	18
Abb. 3-7:	Kräfte und Drehmomente von Bug- und Heckstrahlruder.....	20
Abb. 3-8:	Bug- und Heckstrahlruder im Verbund	22
Abb. 3-9:	Kräfte und Drehmomente eines drehbaren Antriebs	24
Abb. 3-10:	Drehung eines drehbaren Antriebs bei 90° Anstellwinkel.....	25
Abb. 3-11:	Drehbarer Antrieb plus Bugstrahlruder	27
Abb. 3-12:	Parallel drehbare Doppelantriebe: Drehbewegungen	29
Abb. 3-13:	Individuell ansteuerbare Doppelantriebe: Querschub.....	30
Abb. 3-14:	Pumpjet für Wassersportfahrzeuge (Quelle: Broschüre der Fa. Willdo).....	31
Abb. 3-15:	Die 3 Freiheitsgrade horizontaler Schiffsbewegung.....	32
Abb. 5-1:	Technisches ComfoDrive-Konzept.....	42
Abb. 5-2:	Position des ComfoDrive-Joysticks auf einem Boot mit Pinnensteuerung ...	46
Abb. 5-3:	Volvo Penta IPS Joystick (Quelle: Volvo Penta)	50
Abb. 5-4:	Vetus Pro-Docker System (Quelle: Vetus).....	51

9 Haftungsausschluss und Kontakt

Irren ist menschlich, daher muss folgendes gesagt werden:

Die in diesem Arbeitsbericht dargestellten Daten und Informationen wurden mit größter Sorgfalt erhoben, analysiert und ausgewertet. Dennoch ist es möglich, dass bei den Messungen, Interpretationen oder beim Schreiben Fehler gemacht worden sind.

Der Autor übernimmt die volle inhaltliche Verantwortung für diese Arbeit, muss aber jeden Haftungsanspruch aus Schäden, die möglicherweise durch die Verwendung der Informationen aus diesem Arbeitsbericht entstehen, ablehnen.

Bei Hinweisen und Fragen zum Inhalt dieser Untersuchung bitten wir um formlose Kontaktaufnahme:

Dipl.-Ing. Dr. Wolf-Dieter Mell
Institut für Boots-Tourismus (IBoaT)
Jenastr. 14
D-53125 Bonn
Tel.: (+49) 228 - 25 62 92
e-mail: mell@iboat.de