

IBoAT-Report 3.5

Projekt Fit & Sail

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

Jürgen Büddefeld

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	Einleitung	6
1.1	Fahrerassistenzsysteme	6
1.2	Im Focus: Senioresegeln	7
1.3	Projektpartner	7
2	Welche Assistenzsysteme zur Manövrierung sind in der Berufsschifffahrt und der Sportschifffahrt bereits auf dem Markt oder sind angekündigt?	9
2.1	Dynamic Positioning (DP) System, Historie	10
2.2	Dynamic Positioning, Definitionen	13
2.3	Dynamic Positioning, Technik	16
2.3.1	Positionsreferenzsysteme	18
2.4	Marktübersicht über verfügbare Systeme	18
2.4.1	ABB Marine	19
2.4.2	Kongsberg Maritime	20
2.4.3	Cummins MerCruiser: Skyhook Electronic Anchor	23
3	Welche Antriebstechnik wird verwendet?	25
3.1	Moderne Antriebstechnik für Sportboote	27
4	Wie sind ggf. derartige Systeme in anderen Bereichen, z.B. Luft/Raumfahrt, Cargo, Lagerwesen, Logistik, aufgebaut?	31
4.1	Eine kurze Einführung zur Inertialen Navigation	31
4.2	Einige ausgewählte Anwendungsbeispiele	34
4.2.1	Stabilisierung und Geo-Tracking von Luftbildkameras	34
4.2.2	Der Moven-Anzug von Xsens	35
4.2.3	Unbemannte Mini-Flugobjekte: Microdrones	36
4.2.4	Unbemanntes Regattaboot	37
5	Können einige der recherchierten Konzepte ggf. auf Basis der Mikrosystemtechnik miniaturisiert und technisch seniorengerecht auf eine Segelyacht übertragen werden?	39
6	Welcher Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht noch?	39
7	Zusammenfassung und Ausblick	40
8	Verzeichnis der Abbildungen	42
9	Haftungsausschluss und Kontakt	43

Über den Autor

Der Autor ist seit 1992 Professor an der Hochschule Niederrhein und lehrt Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik sowie Mikro- und Nanotechnik im neuen Masterstudiengang. Daneben leitet er das Forschungsinstitut „iNano“, Institut für Nano- und Optische Technologien der Hochschule Niederrhein.

Der Autor ist verheiratet und hat 3 Kinder im Schulalter. Er begeistert sich für das Fahrtensegeln und beschäftigt sich in der Freizeit mit den technischen Aspekten des Segelsports.

Danksagung

Dank sagen möchte ich

- den Kollegen und dem Dekan des Fachbereichs Elektrotechnik und Informatik der Hochschule Niederrhein, die während der Arbeit an dieser Studie meine Aufgaben in der Lehre übernommen haben,
- dem Rektorat der Hochschule, das mich für ein Semester freigestellt hat,
- dem Ideengeber und Unterstützer, Herrn Dr. Mell vom Institut für Boots-Tourismus (IBoaT) in Bonn, ohne den ich nicht auf dieses interessante und hoch spannende Thema gestoßen wäre,
- dem Bundesverband Wassersportwirtschaft e.V. (BVWW) in Köln, namentlich Herrn Tracht, für die Kooperationsbereitschaft und Übernahme der Reisekosten,
- Herrn Penski und den beteiligten Studenten, für die organisatorische, fachliche und praktische Unterstützung,
- Herrn Kollegen Wallnig, für wertvolle Diskussionsbeiträge
- Frau Renate Romberg-Büddefeld für Ihre Geduld und die Bearbeitung meiner Texte.

Vorwort

Warum geben 70-Jährige - nach Beobachtungen des Institutes für Boots-Tourismus und des Bundesverbandes Wassersportwirtschaft - den Segelsport und ihre Yacht auf, fahren aber weiterhin sehr gut und sicher Auto?

Stellen Sie sich vor: Ihre Segelyacht bleibt unter Motor genau wie ein Auto auf der Stelle stehen, wenn Sie aufstoppen - trotz Wind und Strömung! Und beim Anlegen assistiert Ihnen genau wie beim Auto eine Einparkhilfe!

Das Auto wurde durch die Mikrosystemtechnik revolutioniert: es wurde sparsamer, sicherer, schneller, bequemer und preiswerter. Auch Yachten werden dank Mikro- und Nanotechnik diesem Weg folgen.

Damit sich die zukünftigen 67-jährigen Rentner endlich ihrem Segelsport widmen können, muss das Manövrieren von Segelyachten in engen Häfen bei Wind und Strom revolutioniert werden: Wer ein Auto einparken kann, soll auch eine Yacht einparken können!

Die vorliegende Studie gibt einen Überblick über den Stand der Technik.

1 Einleitung

Assistenzsystem – ein Begriff, der im Brockhaus von 2004¹ oder „Meyers Lexikon online“² noch nicht nachzuschlagen ist. Wikipedia hilft dem Interessierten weiter: Unter dem Begriff „Fahrerassistenzsystem“^{3,4} kurz FAS findet man einen ausführlichen und aktuellen Artikel. Zusammenfassend kann man sagen:

Fahrerassistenzsysteme unterstützen den Fahrzeugführer in bestimmten Fahrsituationen zur Steigerung von Sicherheit und Komfort, wobei dieser der verantwortlich Handelnde bleibt.

1.1 Fahrerassistenzsysteme

FASe haben sich in der mobilen Konsumgesellschaft fast unbemerkt flächendeckend ausgebreitet: Wer fährt heute noch ein Auto der Mittelklasse ohne ABS⁵ und Einparkhilfe? Auch das Navigationssystem ist ein FAS, das in den Regalen der Lebensmittel-Discounter an der Ecke für Jedermann feilgeboten wird.

Unter dem Suchwort „Skipperassistenzsystem“ findet man leider noch nichts – und schon ist man mitten im Thema:

In den alternden Gesellschaften westlicher Prägung steht den Assistenzsystemen eine goldene Zukunft bevor: Senioren mit und ohne Handicap wollen und müssen in der Gesellschaft aktiver denn je mitwirken, mobil und sportlich aktiv bleiben. Assistenzsysteme werden helfen, diesen Anforderungen und Wünschen trotz altersbedingt degenerierender physischer Leistungsfähigkeit bis ins hohe Alter entsprechen zu können.

¹ Palm OS Ausgabe 2004, Bibliografisches Institut & F.A. Brockhaus AG

² Stand 8.5.07

³ <http://de.wikipedia.org/wiki/Fahrerassistenzsystem>

⁴ FAS - engl.: Advanced driver assistance systems (ADAS)

⁵ Antiblockiersystem. „Aufgrund einer Selbstverpflichtung der europäischen Automobilindustrie (ACEA) werden seit dem 1. Juli 2004 alle Fahrzeuge mit weniger als 2,5 t zulässigem Gesamtgewicht serienmäßig mit ABS ausgestattet. Die japanischen Automobilverbände haben gleichlautende Verpflichtungen abgegeben.“ Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Antiblockiersystem>

1.2 Im Focus: Seniorens Segeln

Die Konsumgüter-Industrie stellt sich also auf die alternde Industriegesellschaft westlicher Prägung und deren Bedürfnisse als Kunden ein. Dabei bedarf es bei Produkten, die ein aktives sportliches aber zugleich zahlungskräftiges Klientel ansprechen, ganz besonderer Anstrengungen: Hochwertige und teure Luxusartikel wie Segelyachten können in der Regel erst nach einer gewissen Lebensarbeitszeit mit steigender Prosperität konsumiert werden. Häufig sind die Kunden 50 Jahre oder älter und wollen ihr Hobby auch noch im Ruhestand also zukünftig ab 67 Jahren weiter ausüben. Die sportliche Leistungsfähigkeit nimmt dann aber altersbedingt ab. So fanden Untersuchungen des Instituts für Boots-Tourismus heraus, dass viele Segler ihr Hobby altersbedingt bereits mit 70 Jahren aufgeben, also in Zukunft 3 Jahre nach dem Eintritt in den Ruhestand!

Die Wassersport-Industrie ist in Deutschland eine umsatzstarke Branche: Allein der Branchenprimus Bavaria verkauft im Jahr 3000 Yachten ab 28 Fuß aufwärts. Selbst eine 28 Fuß Yacht kostet ausgerüstet ab 40.000 EUR, die größeren Modelle 250.000 EUR oder mehr. Neben Bavaria gibt es in Deutschland noch weitere sehr bekannte Werften (z.B. Hanse, Dehler), die z.T. auch deutlich luxuriösere und teurere Yachten herstellen. Der Umsatz der deutschen Bootsbranche liegt bei rund 1,5 Milliarden EUR/Jahr.

Angesichts der gesellschaftlichen Entwicklung stehen diese Werften unter großem Druck, ihre Produkte seniorengerecht zu bauen. Neben rein ergonomischen Verbesserungen in der Gestaltung der Schiffe (Stehhöhe, barrierefreier Zugang, Niedergang etc.), kann auch moderne Hochtechnologie zu diesem Ziel beitragen: Pflegeleichte Oberflächen auf Basis der Nanotechnologie, die nicht verschmutzen und nicht aufwändig poliert werden müssen, machen den Sport nicht nur für Senioren angenehmer.

Mechatronik, Elektrotechnik, Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik sind Technologien, die – wie es die Autoindustrie mit ihren Fahrerassistenzsystemen vorgemacht hat – das Führen von Schiffen sicherer und einfacher machen können und so das „Seniorens Segeln“ möglichst auf eigenem Kiel bis nach heutigen Maßstäben ins hohe Alter hinein ermöglichen.

1.3 Projektpartner

Das Institut für Sport- und Sportwissenschaften an der Universität zu Kiel, das Institut für Boots-Tourismus (IBoAT) in Bonn, die French "Connect to Sailing" task force Fédération Française de Voile (FFVoile) in Paris und der Bundesverband Wassersportwirtschaft (BVWW) in Köln sowie einige Mitgliedsunternehmen erarbeiten daher seit Anfang 2006 die wissenschaftlichen

Grundlagen für das Seniorens segeln in dem Forschungsprojekt „Fit and Sail“. Das Projekt fand in der einschlägigen Fachpresse bereits große Resonanz (vgl. „Yacht“ 21/2006 S. 50ff und Leserbriefe in den folgenden Ausgaben). Die Projektpartner werden durch Sponsoren aus der Wassersportbranche, u.a. die Hanse AG, ancora Marina, Awn, Volvo Penta, und IMCI großzügig unterstützt.

2 Welche Assistenzsysteme zur Manövrierung sind in der Berufsschifffahrt und der Sportschifffahrt bereits auf dem Markt oder sind angekündigt?

Sicheres, komfortables, zügiges und damit kostengünstiges Manövrieren ist bei Großschiffen der Berufsschifffahrt ein wichtiger Wettbewerbsvorteil. Mussten früher vergleichsweise kleine Berufsschiffe mit Lotsen- und Schlepperbooten an die Reeden und Landungsbrücken bugsiert werden, ist das heute aus eigener Kraft nur mit einem Lotsen an Bord möglich.

Für den maritim interessierten Zuschauer wird dies besonders eindrucksvoll als Medienspektakel sichtbar, wenn große und berühmte Kreuzfahrtschiffe z.B. den Hamburger Hafen besuchen oder in ein Reparaturdock müssen, so die Queen Mary II am 6.5.06.



Dann ist in den Medien zu lesen und zu hören, dass der Kapitän den Ozeanriesen mit einem Joystick millimetergenau in das enge Becken bugsieren kann. Kann er, muss er aber nicht!

Auf der Webseite der Meyer-Werft findet man Folgendes über die Norwegian Dawn (Stapellauf 2002)⁶:

⁶ Meyer-Werft, Papenburg, Textauschnitt siehe <http://www.meyerwerft.de/page.asp?lang=d&main=3&subs=0&did=999>

„Manövrierhilfen:

Für eine optimale Manövrierfähigkeit wurde die “Norwegian Dawn” mit zwei Azipods (...) und mit drei Bugstrahlern ausgerüstet, die alle über einen Joystick bedient werden können. Darüber hinaus kann das Schiff über ein Dynamic Positioning System (DP-System) gesteuert werden. Hierbei behält das Schiff stets die vorgegebene Position bei und kann so anhand der definierten Position beispielsweise *automatisch* an einer Pier anlegen.”

Das Assistenzsystem der Traumschiffkapitäne heißt also Dynamic Positioning System – ist das auch etwas für das Traumschiff des kleinen Mannes?

Bevor wir dieser Frage nachgehen, steht zunächst die Wissensrecherche zum Thema.

2.1 Dynamic Positioning (DP) System, Historie

Soweit die Recherchen im Internet^{7,8} und Patentdatenbanken gezeigt haben, wurde DP für die Offshore Ölgewinnung entwickelt. In Wassertiefen von mehr als 2000 Fuß (600 m) konnten die Plattformen nicht mehr statisch mit Ankern in Position gehalten werden (vgl. Tabelle 1). So findet man erste US-Patente⁹ in den sechziger Jahren, die Bohrschiffe und Plattformen dynamisch, also mit laufenden Maschinen ohne Anker auf der vorgegebenen Position und in der vorgegebenen Bugpeilung halten.

Das erste Schiff wurde 1961 mit einem DP-System ausgerüstet und hieß Eureka. Entwickler war Howard L. Shatto⁹. In der Zeit vor GPS wurde als Positionsreferenz ein Fixpunkt auf dem Meeresgrund benutzt und der Positionsfehler über die Zugspannung und -richtung sowie den Zugwinkel der Verbindungstrosse ermittelt (Abb. 2-1).

⁷ Meyers Lexikon online: <http://lexikon.meyers.de/meyers/Offshoretechnik>

⁸ Historie von DP auf der IMCA-Seite:
[Http://www.imca-int.com/documents/core/imca/promotion/IMCA-MarineDPHistory.pdf](http://www.imca-int.com/documents/core/imca/promotion/IMCA-MarineDPHistory.pdf)

⁹ Beispielhaft seien hier die US-Patente US000003176645A und US000003280311A erwähnt. Insgesamt wurden mit dem Stichwort DP 41 Treffer erzielt von denen sich 25% auf den maritimen Bereich bezogen.

Comparison position-keeping options		
Jack-up Barge	Anchoring	Dynamic Positioning
<p>Advantages:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No complex systems with thrusters, extra generators and controllers. • No chance of running off position by system failures or blackouts. • No underwater hazards from thrusters. 	<p>Advantages:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No complex systems with thrusters, extra generators and controllers. • No chance of running off position by system failures or blackouts. • No underwater hazards from thrusters. 	<p>Advantages:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Maneuvering is excellent; it is easy to change position. • No anchor handling tugs are required. • Not dependent on water depth. • Quick set-up. • Not limited by obstructed seabed.
<p>Disadvantages:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No maneuverability once positioned. • Limited to water depths of ~150 meters. 	<p>Disadvantages:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limited maneuverability once anchored. • Anchor handling tugs are required. • Less suitable in deep water. • Time to anchor out varies between several hours to several days. • Limited by obstructed seabed (pipelines, seabed). 	<p>Disadvantages:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Complex systems with thrusters, extra generators and controllers. • High initial costs of installation. • High fuel costs. • Chance of running off position by system failures or blackouts. • Underwater hazards from thrusters for divers and ROVs. • Higher maintenance of the mechanical systems.

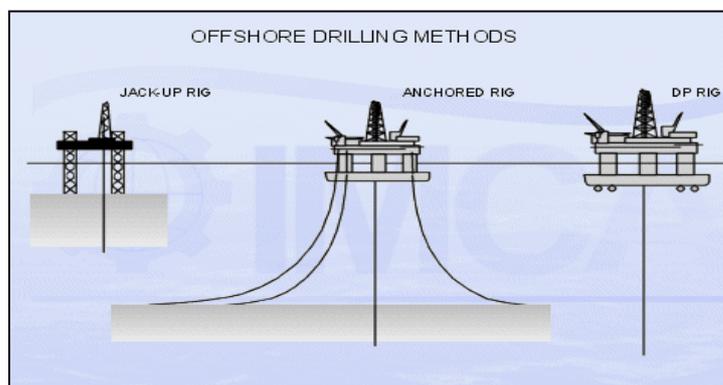


Tabelle 1: Gegenüberstellung verschiedener positionserhaltender Systeme (Quelle: www.imca-int.com)

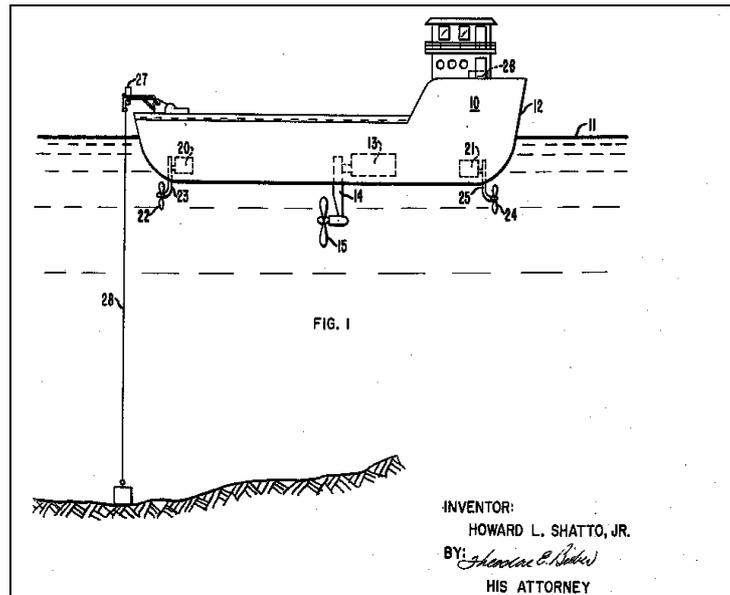


Abb. 2-1: DPS mit Fixpunkt auf dem Meersboden, US000003176645A von 25.4.63

Alternativ und dem GPS bereits sehr ähnlich erfolgte die Peilung zu 2 festen, bekannten Peilmarken (Abb. 2-2).

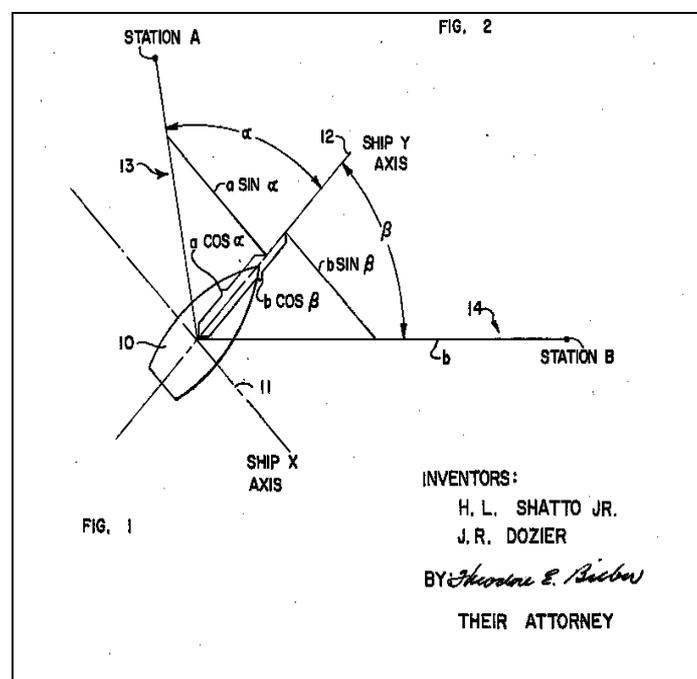


Abb. 2-2: DPS mit 2 bekannten Peilmarken, US000003280311A 18.10.1966

Das neueste gefundene Patent¹⁰ entspricht mit den beschriebenen Ansprüchen dem heutigen Stand der Technik, sieht man davon ab, dass es im Patent als transportables System ausgelegt ist – jedoch zu groß für den Bordkoffer des ambitionierten Yacht-Charterkunden...

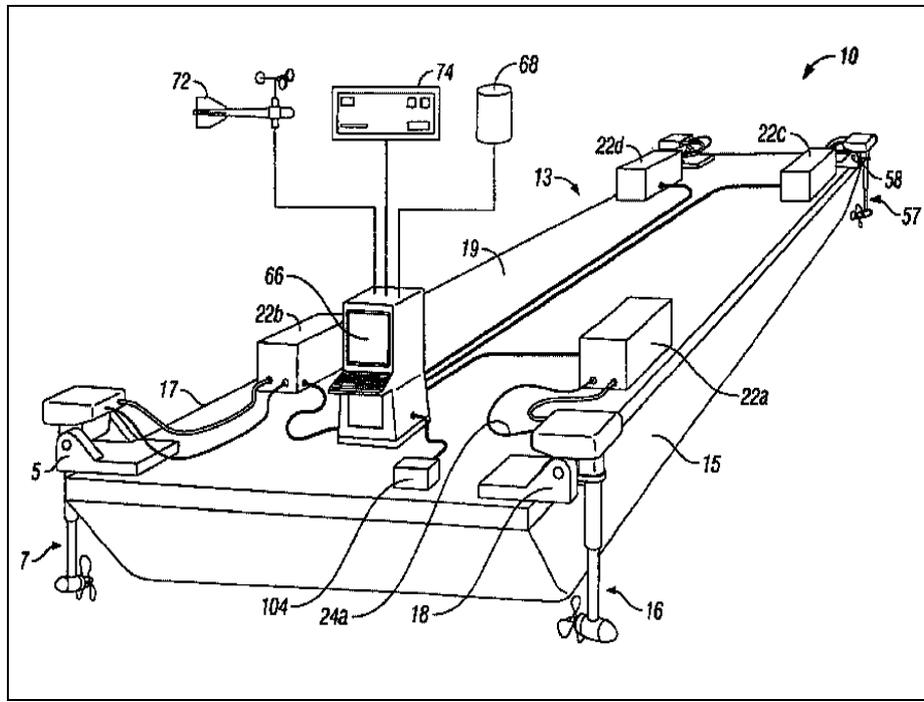


Abb. 2-3: Schema eines modernen DPS-Systems aus dem Jahre 2004¹⁰

Das System besteht aus 4 drehbaren Antrieben, einem Steuerrechner (66), der Daten von einem Bewegungssensor (74), einem Positionssensor z.B. GPS (68) und Umweltsensoren (72) erhält.

2.2 Dynamic Positioning, Definitionen

So stellt es auch Holvik¹¹ in seinem Übersichtsartikel auf der Dynamic Positioning Conference¹² dar. Er gibt folgende Definition:

“A means of holding a vessel in relatively fixed position with respect to the ocean floor, without using anchors accomplished by two or more propulsive

¹⁰ US000006799528B1, Portable Dynamic Positioning System with Self-Contained Diesel-Hydraulic Thrusters, 5.10.2004

¹¹ Jon Holvik: „Basics of Dynamic Positioning“, DYNAMIC POSITIONING CONFERENCE, October 13 – 14, 1998, <http://www.dynamic-positioning.com/>

¹² Das „Dynamic Positioning Committee“ der Marine Technology Society veranstaltet die Konferenz Dynamic Positioning: <http://www.dynamic-positioning.com/>. Hier findet man viele Tagungsbeiträge zum Thema.

devices controlled by inputs from sonic instruments on the sea bottom and on the vessel, by gyrocompass, by satellite navigation or by other means.”

Ein DP-System besteht also aus mindestens 2 Antriebseinheiten, so gesteuert durch Sonargerät, Radar, Kreiselkompass, Satellitennavigation oder andere Sensoren, dass das Wasserfahrzeug auf einer festen Position über Grund gehalten wird.

Dabei sind folgende Betriebsarten je nach Systemausbau möglich:

1. Manual/Joystick Mode: Betrieb von Hand per Joystick. Der Joystick weist 2 Achsen für die laterale Bewegung und einen Drehknopf für die Bugpeilung auf.
2. Auto Position und Auto Heading: Position und Bugpeilung werden automatisch beibehalten.
3. Auto Area Position oder Anchor Assistance: Das Fahrzeug wird automatisch in einem definierten Gebiet und einem definierten Bereich für die Bugpeilung gehalten. Dieser Auto-Mode ist energiesparend, da nicht jeder kleine Versatz sofort korrigiert werden muss.
4. Auto Track Mode: Das Fahrzeug folgt einer vorgegebenen Route anhand von Wegpunkten.
5. Autopilot Mode: Es wird automatisch ein vorgegebener Kompasskurs gefahren.
6. Follow Target Mode: Das Fahrzeug folgt einem sich bewegenden Zielpunkt, z.B. einem vorausfahrenden Arbeitsfahrzeug der Flottille.

Entsprechend sind die Haupteinsatzgebiete:

- Offshore-Ölgewinnung
- Pipeline und Kabel-Verlegung
- Tauch/ Unterwasserarbeiten
- Rettungs-, Versorgungs- und Service-Fahrzeuge
- Schwimmende Navigations-Hilfen
- Kreuzfahrtschiffe, Luxus-Motoryachten

Eine sehr ausführliche Einführung zu DP findet sich auf den Seiten der IMCA¹³, woraus hier einige wesentliche Begrifflichkeiten zitiert werden sollen.

¹³ International Marine Contractors Association, <http://www.imca-int.com/divisions/marine/reference/intro01.html>

Die sechs Freiheitsgrade der Bewegung eines Wasserfahrzeuges lassen sich in translatorische und rotatorische Bewegungen aufteilen (Abb. 2-4). Im Englischen sind die Begrifflichkeiten sehr kurz und aussagekräftig.

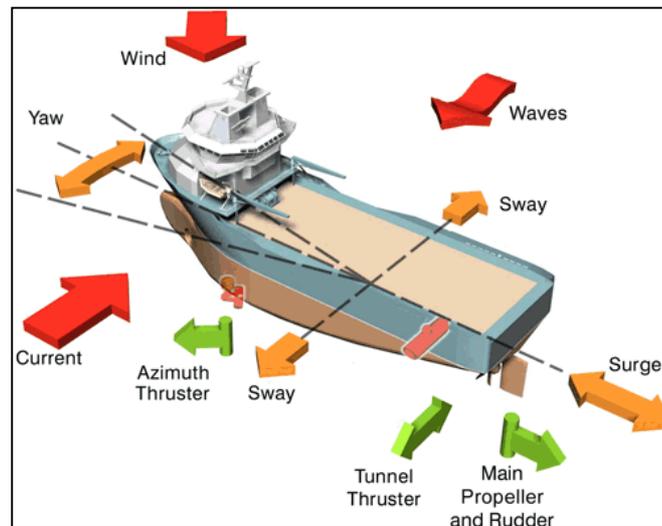
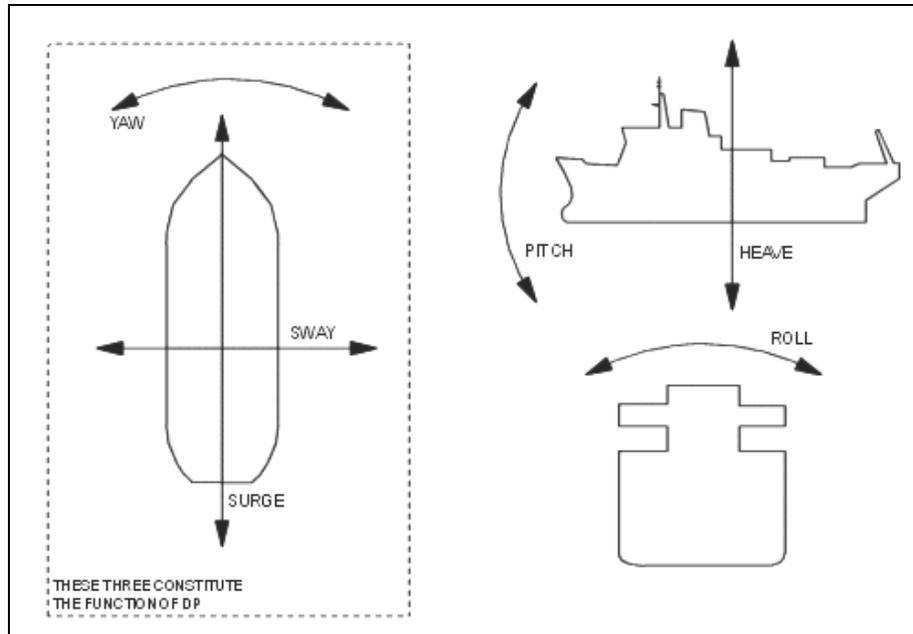


Abb. 2-4: Die 6 Freiheitsgrade eines Wasserfahrzeuges

Naturgemäß kann ein DP-System nur die horizontalen Bewegungen des Fahrzeuges ausgleichen, also

- Yaw
- Sway und
- Surge.

Die Bewegungen werden durch äußere Kräfte wie

- Wind
- Current (Strömung) und
- Waves (Wellen)

sowie innere Kräfte durch die Antriebe (Propulsion) wie z.B.

- Azimuth Thruster
(Drehbare Strahlruder)
- Tunnel Thruster (Strahlruder)
- Main Propeller and Rudder (Hauptpropeller mit Ruder)

erzeugt.

2.3 Dynamic Positioning, Technik

Grob lässt sich ein DP-System in drei Funktionsbereiche unterteilen:

- Elektronische Erfassung von Position und Heading über Positionssysteme (Kompasskurses Bugpeilung, engl. Bezeichnung ist die treffendste)
- Steuerrechner mit Bedienkonsole
- Antrieb mit Steuerelektronik (siehe hierzu Kapitel 3)

Die notwendige Komplexität der einzelnen Funktionsbereiche ergibt sich aus der für den Einsatzbereich geforderten Sicherheits-Klassifizierung des DP-Systems gemäß den Vorgaben der IMO¹⁴. Die Klassifizierung ist etwas unübersichtlich, da neben der IMO auch die Classification Societies eigene Klassifizierungskennzeichnungen benutzen. Eine Übersicht ist in Tabelle 2 dargestellt.

Kurz gefasst kann man die Klassen wie folgt zuteilen: Ein Ausfall des DP-Systems bedeutet

- keine Gefährdung von Personen, Sachen und Umwelt:
CLASS 0
- nur geringfügige Sachbeschädigung oder Umweltverschmutzung:
CLASS 1

¹⁴ International Maritime Organization Pub. Nr. 645: IMO MSC/Circ.645, Guidelines for vessels with dynamic positioning systems

- Einzelgefährdung von Personen, gravierende Sach- und Umweltschäden:
CLASS 2
- Erhebliche, katastrophale Personen- Sach- und Umweltschäden:
CLASS 3

Description	IMO Equipment Class	LR Equipment Class	DnV Equipment Class	GL Equipment Class	ABS Equipment Class
Manual position control and automatic heading control under specified maximum environmental conditions		DP(CM)	DNV-T	-	DPS-0
Automatic and manual position and heading control under specified maximum environmental conditions	Class 1	DP(AM)	DNV-AUT DNV-AUTS	DP 1	DPS-1
Automatic and manual position and heading control under specified maximum environmental conditions, during and following any single fault excluding loss of a compartment. (Two independent computer systems).	Class 2	DP(AA)	DNV-AUTR	DP 2	DPS-2
Automatic and manual position and heading control under specified maximum environmental conditions, during and following any single fault including loss of a compartment due to fire or flood. (At least two independent computer systems with a separate backup system separated by A60 class division).	Class 3	DP(AAA)	DNV-AUTRO	DP 3	DPS-3

Tabelle 2: Klassifizierung von DP-Systemen (Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_positioning)

Für die Komplexität des DP-Systems bedeutet dies, dass

- ein CLASS 1 System keine Redundanz aufweist: Ein Einzelfehler kann bereits zum Verlust der Positionshaltung führen, z.B. der Ausfall der Hauptmaschine, wenn diese für Surge benutzt wird.
- ein CLASS 2 System so redundant ausgelegt ist, dass ein Einzelfehler in einer aktiven Komponente nicht zum Ausfall führt. Aktive Komponenten sind z.B. die Thruster, der Steuerrechner, nicht aber Kabel oder handbediente Ventile.

- ein CLASS 3 System so redundant und verteilt ausgelegt ist, dass bei Brand oder Überflutung eines Anlagenteils das verbleibende DP-System weiter funktioniert.

2.3.1 Positionsreferenzsysteme

Als Systeme zur Erfassung der Schiffsposition werden heute eingesetzt¹⁵:

- DGPS, Differential GPS
- Hydroakustische Systeme durch Peilung hydroakustischer Transponder, die am Meeresboden verankert sind
- Riser Angle Monitoring, Winkelmessung am Förderrohr /Bohrgestänge
- Light Taut Wire (siehe Abb. 2-1)
- Laserbasierte Systeme (FanBeam/CyScan)
- Radarbasierte Systeme
- DARPS, GPS-basiertes System mit Datenaustausch zwischen 2 oder mehr GPS-Geräten in einer Flotte zur Fehlerkorrektur
- Inertiale Trägheits-Navigationssysteme

Zur Erfassung der Bugpeilung (Heading) werden Gyro-Kompass, Ring-Laser oder Faseroptische Gyroskope eingesetzt.

Darüber hinaus werden die Windstärke und Richtung, sowie der Tiefgang des Schiffes erfasst. See/Wellengang können durch Gyros-Sensoren gemessen werden.

2.4 Marktübersicht über verfügbare Systeme

Aufgrund der ökonomisch-strategischen Bedeutung von funktionierenden DP-ausgerüsteten Flotten ist für die Berufsschifffahrt und sicherlich auch für die Marine ein Ausrüstungsmarkt vorhanden¹⁶. Auf eine Vorstellung aller Anbieter wurde daher in dieser Studie verzichtet. Exemplarisch sollen drei interessante Anbieter und deren Systeme vorgestellt werden.

¹⁵ Viele Details findet hierzu man auf den IMCA-Seiten:
<http://www.imca-int.com/divisions/marine/reference/intro04.html>

¹⁶ Gefunden wurden u.a. Kongsberg Maritime, Converteam/Alstom, L-3 Communications (früher Nautronix), Rolls-Royce Marine, Marine Technologies, Navis Engineering OY und ABB

2.4.1 ABB Marine

ABB – 1989 hervorgegangen aus Asea und BBC – liefert in ihrer Sparte ABB Marine die komplette Palette der Antriebstechnik, Energietechnik, Steuerungstechnik und Simulationstechnik als integrierte Systeme für alle Schiffstypen und schwimmenden Plattformen an.

ABB Dynamic Positioning DP¹⁷ erlaubt die Betriebsmodi 1, 2, 5 und 6 (siehe Kap. 2.2). Darüber hinaus wird auf einen Überwachungs- und Fehleranalysemodus, sowie die Simulation von geplanten Fahrzeugbewegungen und eine Trainingssimulation hervorgehoben.

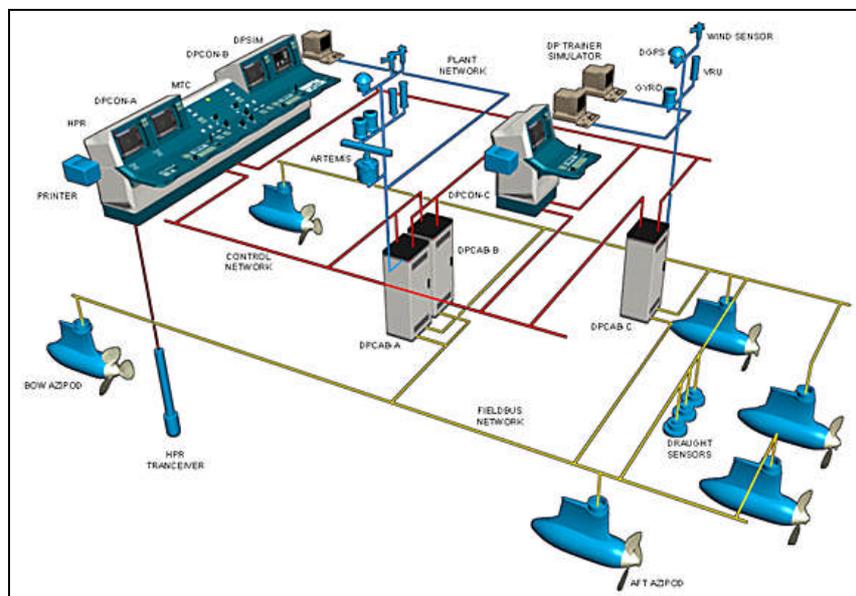


Abb. 2-5: ABB Dynamic Positioning, Screenshot (oben) und Anlagenschema (unten).

¹⁷ ABB Dynamic Positioning:
<http://www.abb.com/cawp/seitp161/6cb0b5b335230dd5c1256c2400355a91.aspx>

Eine weitere Option ist „Autosail AS“¹⁸ für das automatische Segeln von Großseglern.

2.4.2 Kongsberg Maritime

Die Norwegische Fa. Kongsberg Maritime¹⁹ sieht sich als der Marktführer bei DP-Systemen für die Handelsschifffahrt und für Offshore-Systeme.



Abb. 2-6: Kongsberg integriertes DP-System mit Joystick und Kontrollmonitoren

Kongsberg baut integrierte Brückensysteme, d.h. alle relevanten Betriebs- und Prozessdaten eines Schiffes werden elektronisch erfasst und laufen auf der Brücke auf der (nichtseemännisch) Leitwarte zusammen.

Neben den in Abschnitt 2.2 beschriebenen Grundfunktionen 1 bis 6 bietet Kongsberg einige erweiterte interessante Funktionen²⁰:

7. Joystick High Speed Mode für das manuelle Manövrieren bei Marschfahrt.
8. Mixed Joystick/Auto Mode unterstützt wählbar den Automatikmodus für einen oder zwei der drei horizontalen Freiheitsgrade. So kann man z.B. Yaw und Sway im Automatikmodus fahren, während die Fahrt voraus oder achteraus (Surge) im Handbetrieb gefahren wird.
9. ROT Pilot Mode erlaubt das Wenden eines Schiffes mit vorgegebener Drehrate, also z.B. 10°/Minute.

¹⁸ ABB Autosail AS:
<http://www.abb.com/cawp/seapr035/ab7d47fe68116180c12568cd003a9caa.aspx>

¹⁹ Kongsberg Maritime:
<http://www.km.kongsberg.com/ks/web/NOKBG0237.nsf/AllWeb/0B29D39758C415B0C1256DF700560834?OpenDocument>

²⁰ <http://www.km.kongsberg.com/KS/WEB/NOKBG0240.nsf/AllWeb/D4D767F83119BDE2C1256A4C004988B2?OpenDocument>

Neben der beschriebenen integrierten Lösung für Großschiffe bietet Kongsberg auch DP-Systeme für kleinere Einheiten an:

- Kongsberg cPos-System²¹
Das „Compact DP Control System“ basiert auf einem Standard PC mit Windows XP, einer Kongsberg Bedienkonsole mit Joystick und einem Controller für die Sensoren und Autoren. PC-Bedieneinheit und Controller sind über ein LAN-Netzwerk verbunden.



Abb. 2-7: Kongsberg cPos DP-Steuerstand (Quelle Kongsberg)

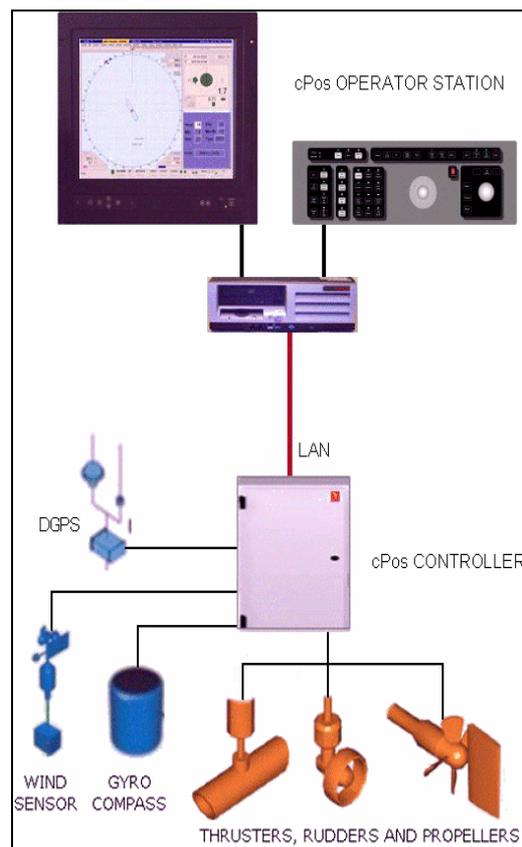


Abb. 2-8: Schema cPos-System (Quelle Kongsberg)

²¹ Kongsberg cPos System
[http://www.kongsberg.com/KS/WEB/NOKBG0397.nsf/AllWeb/36CC3882692E58AEC1256F560042B99A/\\$file/177187c.pdf?OpenElement](http://www.kongsberg.com/KS/WEB/NOKBG0397.nsf/AllWeb/36CC3882692E58AEC1256F560042B99A/$file/177187c.pdf?OpenElement)

Zusätzlich ist eine kleine Bedienkonsole für die Fernbedienung des DP-Systems auf Außensteuerständen erhältlich.



Abb. 2-9: cPos Remote Konsole (Quelle Kongsberg)

Das System wurde für Arbeitsschiffe konzipiert und bietet die DP-Funktionen 1 bis 6 und 8.

- Kongsberg yachtPOS²²
Dieses System ist eine Komponente eines integrierten Systems für Megayachten und wird auf Yachten der bekannten Werften Lürssen/Kroeger und De Vries Feadship eingebaut. Der Fokus liegt dabei laut Prospekt auf dem Manövrieren und dem elektronischen Anker. Hervorgehoben werden die DP-Funktionen 1 bis 3 und 8, mit Sicherheit kann das System aber ebenfalls den Mode 4 und 5 (der klassische, GPS-gestützte Autopilot).
Das elektronische Ankern „GreenDP“ wird energieeffizient wie in Modus 3 beschrieben gefahren: Das Schiff wird per DP mit einer vorgegebenen Toleranz in einem definierten Gebiet und definierter Bugpeilung gehalten. Es darf also um den elektronischen Ankerplatz schwojen und Manöver werden langsam und energiesparend gefahren.

²² Kongsberg yachtPOS, Megayacht-Broschüre S. 7 (pdf-Seite 9):
[Http://www.km.kongsberg.com/KS/WEB/NOKBG0397.nsf/AllWeb/19B0833EE3E7A4E0C12572C2005022F4/\\$file/MegaYacht-brochure-LR.pdf?OpenElement](http://www.km.kongsberg.com/KS/WEB/NOKBG0397.nsf/AllWeb/19B0833EE3E7A4E0C12572C2005022F4/$file/MegaYacht-brochure-LR.pdf?OpenElement)

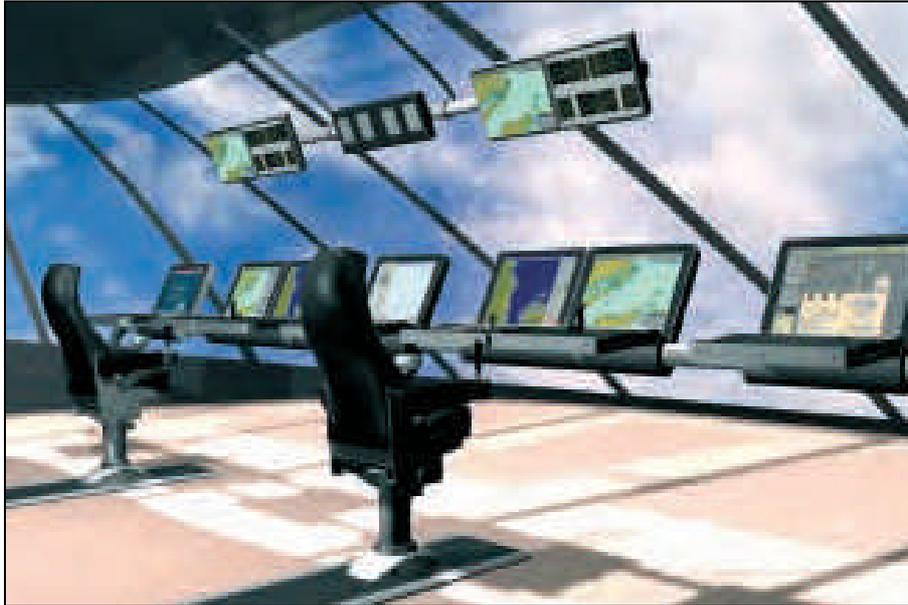


Abb. 2-10: Kongsberg yachtPOS integrierte Brücke für Megayachten (Quelle Kongsberg)

2.4.3 Cummins MerCruiser: Skyhook Electronic Anchor

Cummins MerCruiser hat im Februar 2007 wohl als erste Firma in Deutschland ein System für (kleine) Yachten und Sportboote angekündigt²³: Skyhook Electronic Anchor^{24,25,26,27,28}.

²³ FAZ am Sonntag, 11.2.07: „Konkurrenz für IPS Cummins MerCruiser will zum Frühjahr ein neues Antriebssystem für schnelle, gleitende Motoryachten auf den Markt bringen. Ähnlich wie das innovative ...“ [Http://fazarchiv.faz.net/](http://fazarchiv.faz.net/)

²⁴ Zeus und Skyhook Broschüre:
http://www.cmdmarine.com/Power%20Profiles/CMD_Zeus_Island_ad.pdf

²⁵ Projekt Zeus Webseite: <http://www.cmdmarine.com/projectzeus.html>

²⁶ Mercury Marine:
<http://northamerica.mercurymarine.com/otherproducts/smartcraft/smartcraftinaction/zeus.php>

²⁷ Eintrag in Wikipedia, siehe Abschnitt „Today“:
[Http://en.wikipedia.org/wiki/Mercury_Marine](http://en.wikipedia.org/wiki/Mercury_Marine)

²⁸ Sportfischer Magazine Marlin, 2.4.07:
<http://www.marlinmag.com/engines/engines/project-zeus-50998.html>



Abb. 2-11: Skyhook Bedienpanel von Cummins-Mercruiser (Quelle Cummins Mercruiser FTP Site)

Das System ist proprietär ausgelegt auf den Zeus-Antrieb aus eigenem Hause. Es bietet die DP Funktionen 1-3 und außerdem 4 und 5, wenn Skyhook mit dem Precision Pilot kombiniert wird²⁷. Ein für kleine Yachten geeignetes, integriertes, vernetztes System lässt sich mit dem Zusatz-Modul Smartcraft aufbauen, dass auch von einigen Instrumenten-Herstellern unterstützt wird²⁹.

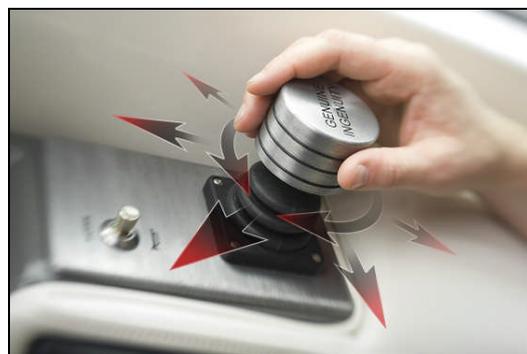


Abb. 2-12: Skyhook Joystick auch zur Steuerung der Zeus-Antriebe.

Im Internet ist ein Video verfügbar, dass u.a. die Möglichkeiten der Joystick-Steuerung und des Skyhook-Systems demonstriert³⁰.

²⁹ Busse Yachtshop: Navman Smartcraft Gateway, http://www.busse-yachtshop.de/da_navman4433.html

³⁰ Zeus-Video, Quelle Mercury Marine: http://northamerica.mercurymarine.com/otherproducts/smartcraft/smartcraftinaction/zeus_video.php

3 Welche Antriebstechnik wird verwendet?

Die klassische Antriebstechnik von Schiffen - ein oder zwei feststehende Hauptpropeller mit Ruderanlagen - ist für DP-ausgerüstete Schiffe nicht ausreichend oder sogar nicht sinnvoll: Propeller mit Ruderanlagen wirken, wenn Fahrt im Schiff ist. Genau das ist aber bei Positionsfahrten mit DP nicht gewollt. Daher wurden neue Antriebskonzepte entwickelt, die einerseits DP-gestützte Positionsfahrten erlauben und andererseits die Manövrierfähigkeit verbessern.

Eine Übersicht zeigt die Abb. 3-1. Dabei stellt die mittlere Variante b) die DP-taugliche Erweiterung des klassischen Antriebs (Propeller/Wellenanlage mit Ruder) dar: Über zusätzliche Bug- und Heckschrauben (Thruster) in Tunneln kann das Fahrzeug auf der Stelle gedreht werden (yaw) oder seitlich versetzt werden (sway).

Ein modernes Konzept, das auch auf den neuen Kreuzfahrtschiffen (Queen Mary 2 und Freedom of the Seas) und Fähren eingesetzt wird, ist in a) dargestellt: Das Schiff verfügt über 2 um 360° drehbare Azimuth-Thruster am Heck, die auch als Hauptantriebe dienen. Unterstützt werden diese durch Bugschrauben im Tunnel und einen zusätzlichen im Rumpf versenkbaren Azimuth-Thruster mittschiffs oder vorlicher. Die Hauptantriebe werden häufig als Gondeln (Pods) unter dem Schiff hängend ausgeführt³¹.

Variante c) nutzt nur Azimuth-Thruster.

³¹ „POD-Antriebe gibt es seit 1990. Im Gegensatz zu herkömmlichen Schiffsantrieben sind sie nicht im Schiffsrumpf angebracht, sondern unterhalb in einer Gondel. Da die Einheit aus Gondel und Schiffspropeller um 360 Grad schwenkbar ist, dienen beide zusammen auch als Ruder. Herkömmliche Antriebe benötigen dagegen zusätzlich ein Ruder zum Steuern.

Eine Weiterentwicklung des POD-Antriebes ist der Siemens-Schottel-Propulsor, kurz SSP. Er ist besonders für Schiffe geeignet, die viel manövrieren müssen, also Kreuzfahrtschiffe, Yachten und Fähren. Sein Prinzip: An einer Gondel sind zwei Propeller angebracht. Der erste sorgt für gleichbleibende Strömungsverhältnisse, damit der zweite effektiver arbeiten und Treibstoff sparen kann. Ein weiterer Vorteil: Schiffe mit SSP-Antrieb haben einen deutlich kürzeren Bremsweg. Eine Stoppstrecke von ehemals 1.000 Meter schrumpft auf unter 600 Meter.

Die Vorteile der Pods generell: Sie sparen Treibstoff und verbessern die Sicherheit und Wendigkeit der Schiffe. So kann ein Kapitän – selbst bei größeren Windstärken - millimetergenau am Kai entlang fahren.“ Quelle:

http://www.weltderwunder.de/wdw/Technik/Schiffe/RotierendeRiesen/1_POD/index.html

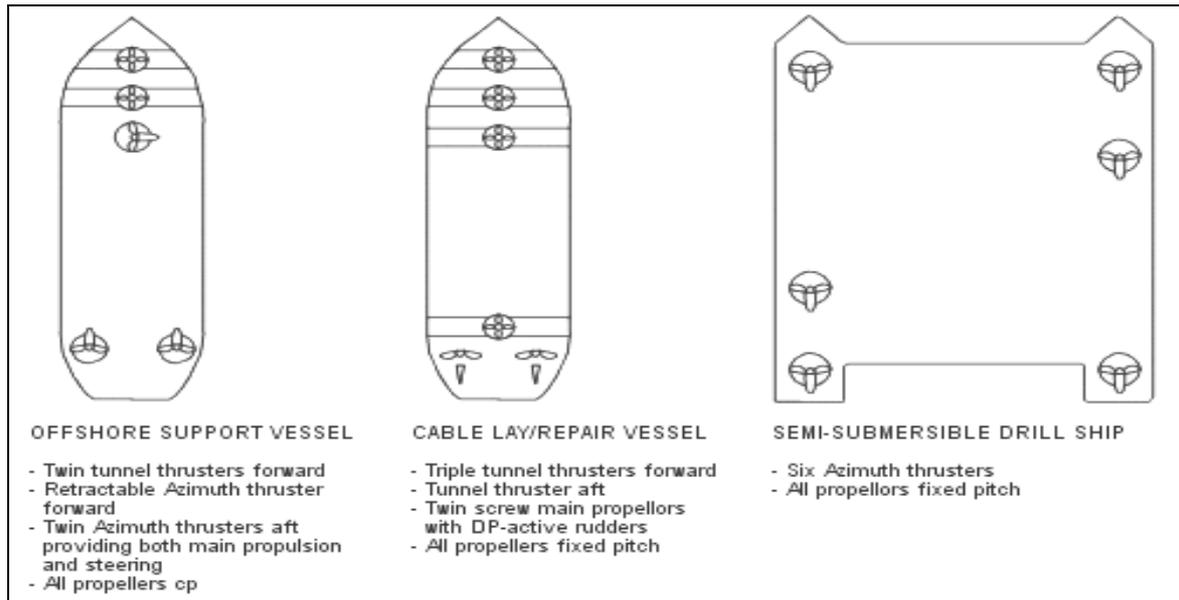


Abb. 3-1: Typische Antriebs-Konzepte für DP-Schiffe (Quelle IMCA)

Die Gondeln der POD-Antriebe beherbergen auch die Antriebsmaschine: einen Elektromotor. Deshalb können PODs an beliebiger Stelle unter dem Rumpf unabhängig von der Lage des Maschinenraums angebracht werden, um eine optimale Anströmung der Schrauben und optimales Manövrierverhalten zu ermöglichen.

Eine gute Übersicht über Antriebstechnik für DP-Schiffe findet sich bei Hackmann³² und Müller³³. Die dt. Firma Schottel³⁴ ist übrigens neben der bereits erwähnten ABB einer der Weltmarktanbieter von POD-Antrieben bis 5MW für große Einheiten.

³² Hackmann: „Essential Characteristics of Electrical Propulsion and Thruster Drives in DP Vessels“ DP-Konferenz 1997, [Http://www.dynamic-positioning.com/dp1997/prop_hackman.pdf](http://www.dynamic-positioning.com/dp1997/prop_hackman.pdf)

³³ Müller: “New concepts for electrically driven Pod systems”, DP-Konferenz 2003, [Http://www.dynamic-positioning.com/dp2004/thrusters_mueller.pdf](http://www.dynamic-positioning.com/dp2004/thrusters_mueller.pdf)

³⁴ www.schottel.de



Abb. 3-2: Eisbrecher Mackinaw mit DP und POD-Antrieb³⁵

3.1 Moderne Antriebstechnik für Sportboote

Für kleine Schiffe und Motoryachten werden heute nur noch 2 Azimuth-Antriebe eingesetzt, so auch beim Skyhook-System (siehe 2.4.3 und Abb. 3-3). Durch die 360°-Drehbarkeit und die vergleichsweise kurzen Hebelarme zum Schiffsdrehpunkt sind diese Antriebe für das Manövrieren bzw. die DP-Positionsfahrt effizient genug.

³⁵ Morrison: "New DP Capable Heavy Icebreaker For the Great Lakes", DP-Conference 2005, http://www.dynamic-positioning.com/dp2005/morrison_pp.pdf

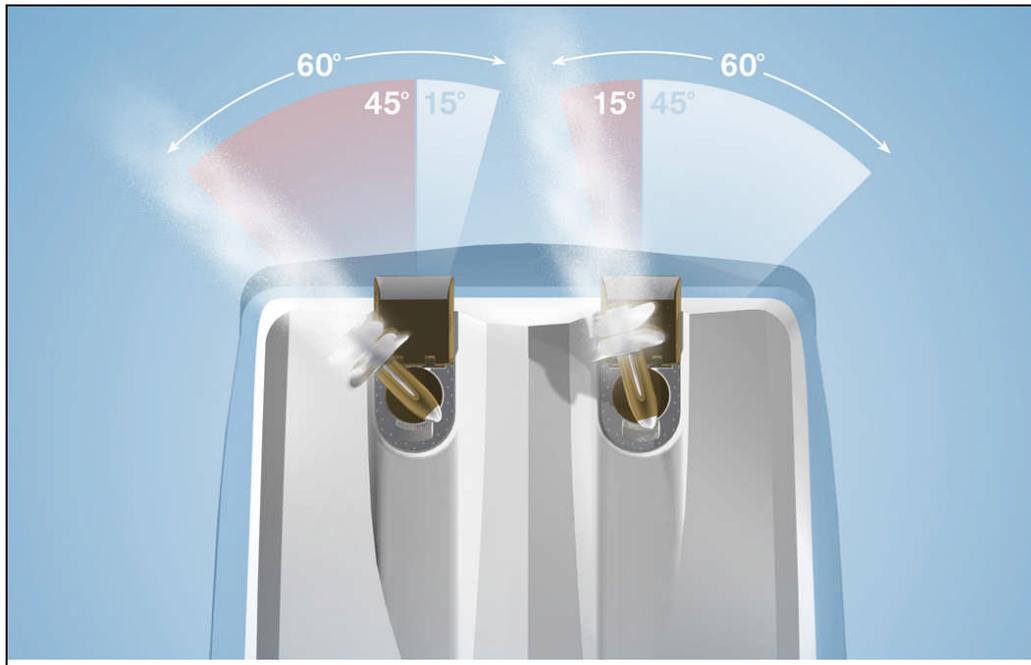


Abb. 3-3: Zeus Antrieb mit Azimuth-Propulsion
 (Quelle <http://www.cmdmarine.com/ftp/zeus/Zeus-SteeringAngles-lores.jpg>)

Während Azimuth-Antriebe wohl eher etwas für Neubauten sind, ist gerade ein viel versprechendes System auf den Markt gekommen, das auch mit konventionellen Antrieben zusammenarbeitet: das „Jet Thruster“-System von WillDo³⁶. Es besteht durch seine einfache Idee und Installation: Eine Druckpumpe saugt unter dem Schiff Wasser an und presst es als Druckwasser wahlweise über 4 an Bug und Heck angeordnete Düsen wieder heraus. Es handelt sich also um die einfache Umsetzung des physikalischen Rückstoßprinzips³⁷, das bei Düsen- und Raketenantrieben bekanntlich zum Einsatz kommt. Der Willdo-Antrieb greift im Prinzip einen bereits im Jahre 1954 von Sir William Hamilton, einem Neuseeländer irischer Abstammung, erfundenen und später patentierten Wasserstrahlantrieb^{38,39} auf. Dessen damals gegründete Fa. Hamilton-Jet⁴⁰ ist nach eigener Aussage heute führend für schnelle Schiffe mit dieser Technologie.

³⁶ Fa. Willdo, www.willdo.nl, oder direkt: <http://www.willdo.nl/jetthrusters.html>

³⁷ <http://de.wikipedia.org/wiki/Rückstoßantrieb>

³⁸ Hamilton: "HYDRAULIC JET PROPULSION APPARATUS FOR WATER-BORNE CRAFT", CA000000697047A

³⁹ Hamilton : "Improvements in or relating to hydraulic jet propulsion apparatus for water-borne craft", GB000000919216A

⁴⁰ HamiltonJet, Waterjet Propulsion Solutions, <http://www.hamjet.co.nz/index.cfm/index.cfm>

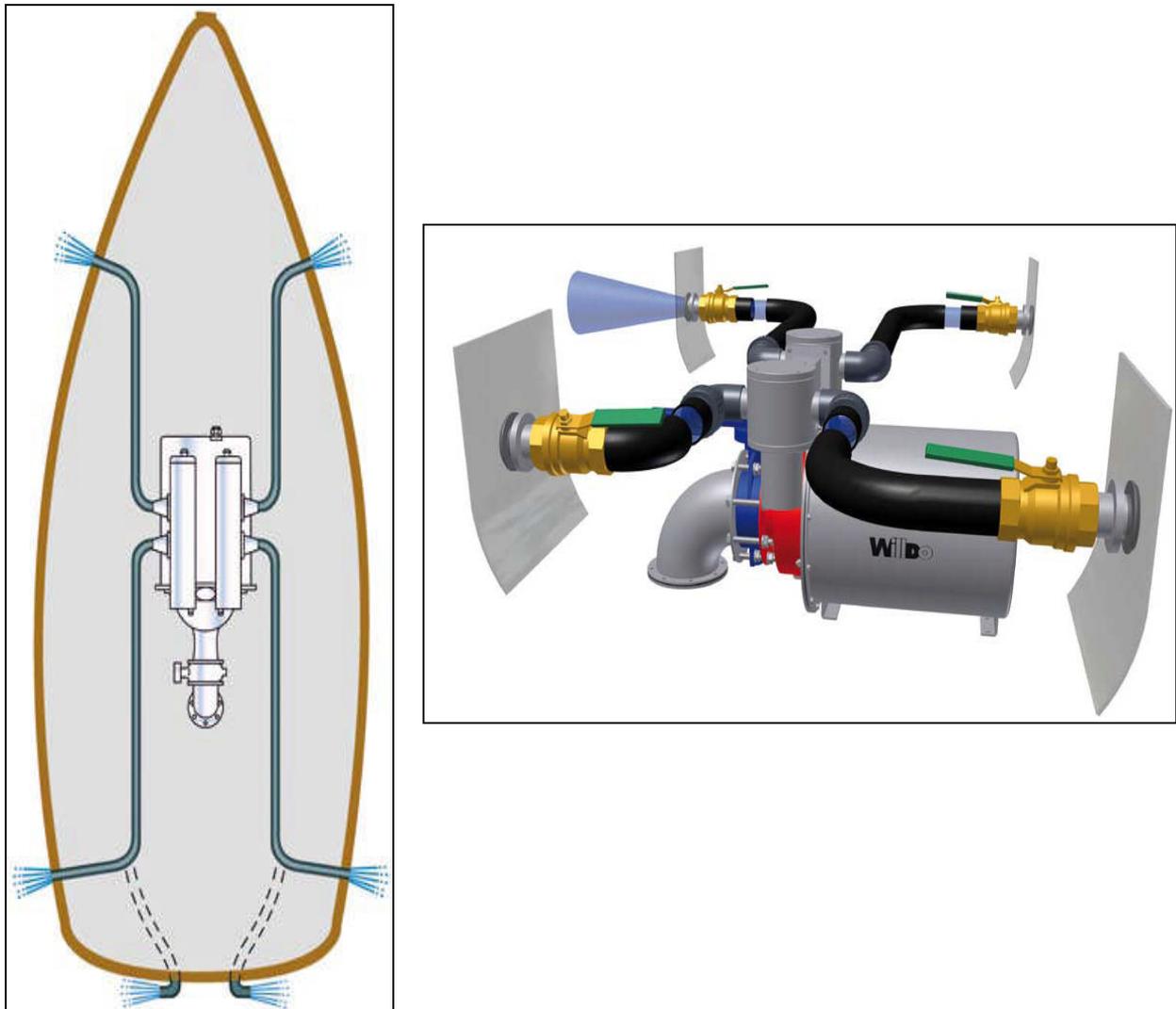


Abb. 3-4: Links: Prinzip des Jet-Thrusters mit 4 Düsen, rechts Systemdarstellung.
 Quelle: Broschüre der Fa. WilDo
<http://willdo.nl/images/WillDo%20Jetthruster/WillDo3luikEN.pdf>

Statt Bug- und Heckstrahlruder werden also

- eine Pumpe im Rumpf mit Saugloch,
- 4 Düsen am Bug und Heck,
- die Schlauchverbindungen,
- und eine Joystick-Steuerung eingebaut.

Die Pumpe wird wahlweise über die Hauptmaschine per Flansch angetrieben oder elektrisch über eine Batterie (siehe Abb. 3-5).

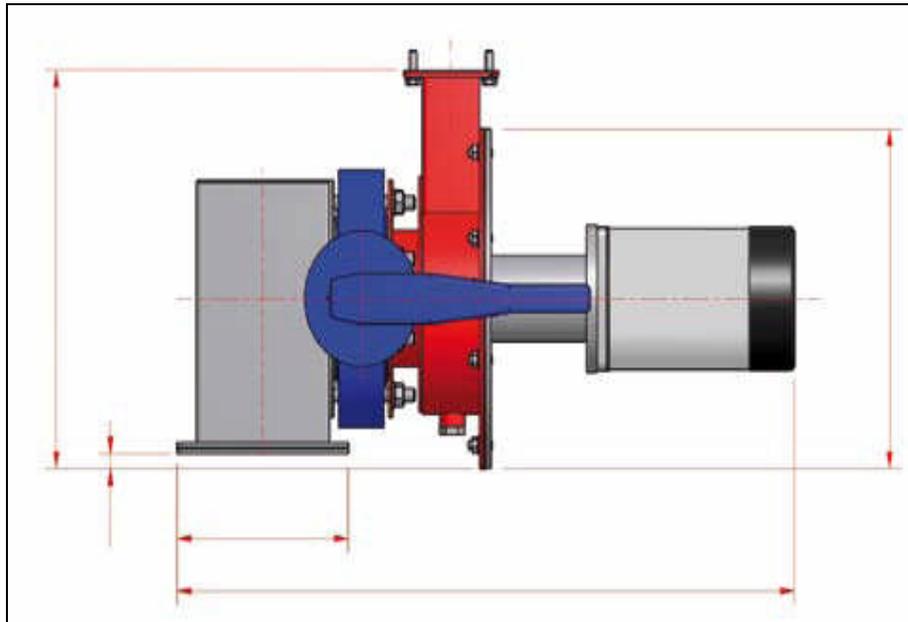


Abb. 3-5: Elektrischer Jet-Thruster mit Ansaugstutzen, Seeventil (blau), Pumpe (rot) und E-Motor (Quelle: Broschüre der Fa. Willdo <http://willdo.nl/images/WillDo%20Jetthruster/WillDo3luikEN.pdf>).

Der Jet-Thruster wird zurzeit für Schiffe von unter 8 bis 20 Meter Länge mit einer Schubkraft von 15 bis 100 N angeboten⁴¹.

Als besondere Vorteile

- können der Verzicht auf Tunnel im Rumpf
- die kleinen Einbaumaße der Anlage
- und die einfache Nachrüstbarkeit bei allen Antrieben angesehen werden.

⁴¹ Der Hersteller gibt 15-100kgf an (1 Kilogramm Force entspricht 1 N.)

4 Wie sind ggf. derartige Systeme in anderen Bereichen, z.B. Luft/Raumfahrt, Cargo, Lagerwesen, Logistik, aufgebaut?

Tatsächlich sind Fahrerassistenzsysteme, Autopiloten und Dynamische Positioniersysteme und Autopiloten heute in vielen Bereichen von Industrie, Handel, Transport, Verkehr und Dienstleistung gefragt und in Benutzung.

Allen Systemen gemeinsam ist in der Regel das Problem der Lage- und Positionsbestimmung im Raum. Eine recht umfassende, wissenschaftliche Einführung in die Sensorik und Algorithmik integrierter Navigationssysteme, heutige Verfahren und deren Grenzen findet man in Wendel⁴². Dabei wird besonders auf die dynamische Positionierung von kleinen, unbemannten Flugobjekten, so genannten UAV und MAV⁴³, eingegangen. Diese Forschungsarbeiten sind aus zwei Gründen interessant:

1. Die Problematik der Positionierung und der Sensorik sind ähnlich gelagert wie bei Wasserfahrzeugen. Zusätzlich muss jedoch die kontrollierte vertikale Bewegung (engl. Heave) beherrscht werden.
2. Funktionierende Miniflugobjekte (MAVs) beweisen, dass sich die DP-Systeme derart miniaturisieren lassen, dass sie auch auf Sportbooten problemlos integriert werden können.

4.1 Eine kurze Einführung zur Inertialen Navigation

Prinzipiell handelt es sich bei der inertialen Navigation um ein Koppelnavigationsverfahren⁴⁴, das dem Wassersportler ja aus seiner Grundausbildung bekannt ist.

Ausgehend von einer bekannten Position wird dabei durch Messung der Zeit, der Beschleunigung sowie der Drehraten in allen 3 Raumrichtungen durch Integration und Filterung die Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit des Objektes⁴⁵ bestimmt. Kennt man den Geschwindigkeitsvektor (Richtung und Betrag) in Abhängigkeit von der Zeit, kann der zurückgelegte Weg und damit die neue Position bestimmt werden. Prinzipiell werden für ein inertiales

⁴² Jan Wendel: „Integrierte Navigationssysteme – Sensordatenfusion, GPS und Inertiale Navigation“, Oldenbourg-Verlag München Wien, 2007

⁴³ UAV: Unmanned Aerial Vehicle, MAV: Mini/Micro Aerial Vehicle

⁴⁴ engl.: dead reckoning

⁴⁵ Das Objekt kann ein Fahrzeug, Satellit oder eine Person etc. sein.

Navigationssystem (INS⁴⁶) für alle 3 Raumrichtungen je ein hochpräziser Beschleunigungssensor und je ein Drehratensensor benötigt.

Wie der Wassersportler weiß, pflanzen sich bei der Koppelnavigation Fehler in der Positionsbestimmung fort. Daher wird seit alters her auf hoher See zusätzlich zur Koppelnavigation aus Kurs und Geschwindigkeit die Astronavigation zur Verbesserung der Genauigkeit der Positionsbestimmung verwendet.

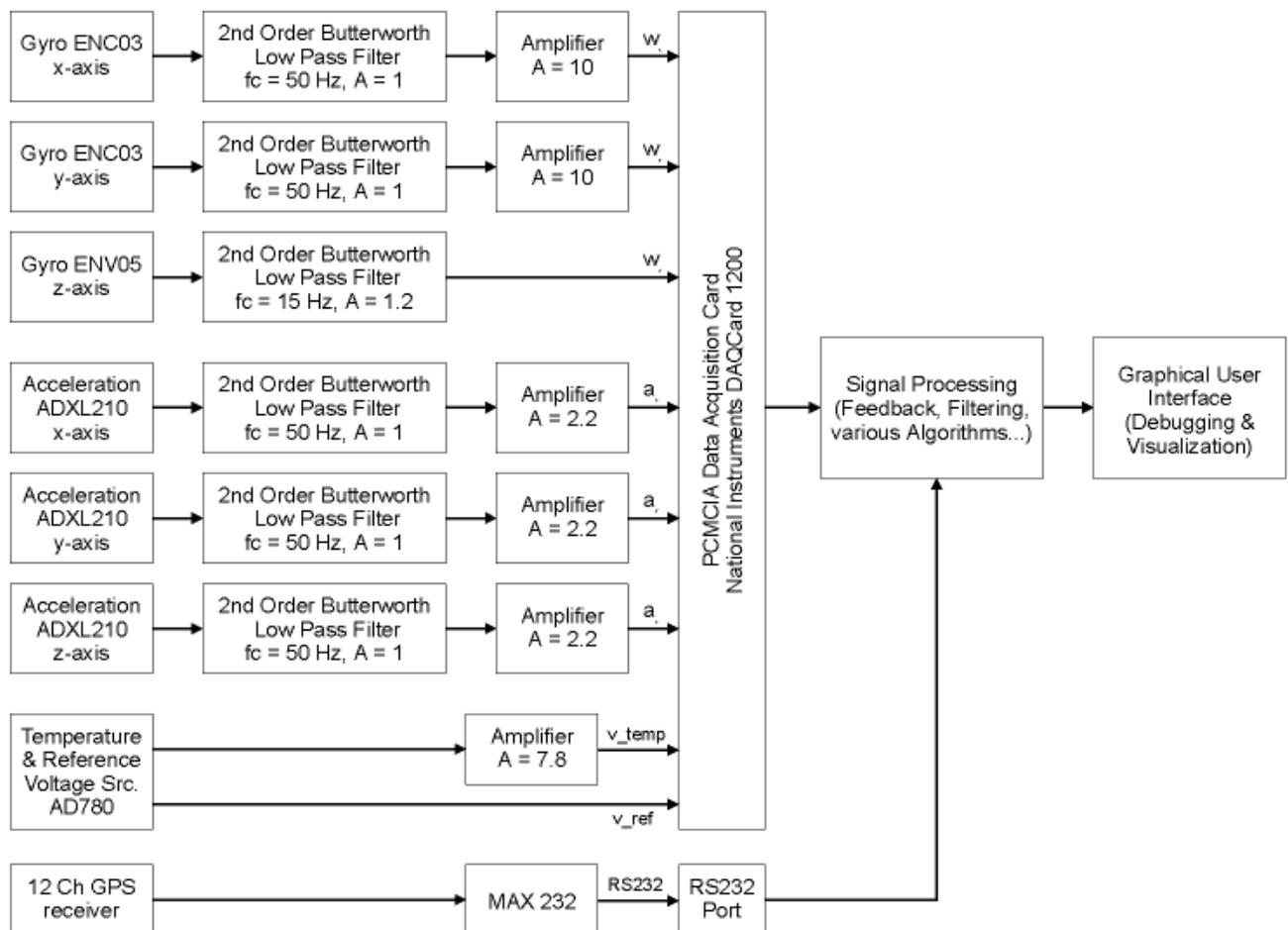


Abb. 4-1: Prinzipschaltbild für ein GPS-gestütztes Inertiales Navigationssystem

(Quelle: Swiss Federal Institute of Technology, Zürich:

<http://www.electronic-engineering.ch/study/ins/ins.html>⁴⁷)

⁴⁶ INS: Inertial Navigation System

⁴⁷ Peter Luethi, Thomas Moser, Markus Uster: "Low Cost Inertial Navigation System", Design and Characterization of a Strapdown Inertial Navigation System based on Low Cost Sensors. Students project at the Electronics Laboratory of the Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland, 2000

Die Abb. 4-1 zeigt das prinzipielle Blockschaltbild eines INS mit den 3 Beschleunigungssensoren (Acceleration) und den 3 Gyro-Sensoren (Gyro). Eine derartige Inertial-Sensoreinheit wird als IMU⁴⁸ bezeichnet. Aufgrund der heute zur Verfügung stehenden Sensoren und Rechenleistung werden IMUs nicht mehr kardanisches aufgehängt, sondern fest mit dem Objekt verbunden. Der Algorithmus zur Berechnung der veränderten Position wird als Strapdown-Algorithmus⁴⁹ bezeichnet.

Zusätzlich, sozusagen analog zur Koppelnavigation mit Astronavigation, wird das System GPS gestützt. Man spricht dann von einem GAINS⁵⁰. Die Sensordaten werden in diesem Beispiel mit einem PC ausgewertet, andere Systeme arbeiten mit Mikrocontrollerboards.

IMU-Systeme sind heute miniaturisiert als Komponenten mit mikrosystemischen Sensoren für Beschleunigung, Drehrate und Erdmagnetfeld auf dem Markt verfügbar, so z.B. von den Firmen Xsens⁵¹ oder iMAR⁵².



Abb. 4-2: MTi der Fa. Xsens, ein kompaktes IMU
(Quelle www.xsens.com)

Das abgebildete MTi liefert nahezu driftfreie dreidimensionale Daten zur Beschleunigung, Drehrate und Erdmagnetfeld in einer sehr kompakten Einheit.

⁴⁸ IMU: Inertial Measurement Unit

⁴⁹ Weiterführende Literatur hierzu: z.B. Wedel⁴² oder in Wolff: „Strap down systems with Scilab“, <http://www.wolffdata.se/strapdown/strapdownhtml/strapdown.html>

⁵⁰ GAINS: GPS aided Inertial Navigation System

⁵¹ http://www.xsens.com/index.php?mainmenu=products&submenu=machine_motion&subsubmenu=MTi

⁵² <http://www.imar-navigation.de/>

4.2 Einige ausgewählte Anwendungsbeispiele

Wie der hohe Entwicklungsstandard der angebotenen Systeme vermuten lässt, gibt es zahlreiche Anwendungen, von denen hier sicherlich nicht alle aufgeführt sind:

- Die Stabilisierung von Antennen, Scannern, Kameras, Trackern, autonomen Fahrzeugen, Yachten sowie Power-Booten und Spezialfahrzeugen
- Koppelnavigations- und Gain-Lösungen für fahrerlose Transportsysteme, Gabelstapler, Flottenmanagement, Logistik und Precision Farming (Agrarwirtschaft)
- Automobil-Anwendungen (Fahrodynamik, Side-Slip, Roll-over, Topologie- und Trajektorienvermessung, Crash)
- Assistenzsysteme für Hubschrauber zur Stabilisierung von Außenlasten
- Vermessungs- und Geo-Informationen-Anwendungen, Airborne Laser Scanning / LIDAR
- Kreiselgestützte Bohrkopfsteuerung im Pipeline- und Tunnelbau "Drillguide" (Measurement While Drilling, MWD)
- Ausrichtung von Maschinen, Feuerleitanlagen, Geschützen und Navigationssystemen (Alignment-Tools, "3D-Wasserwaage")
- Verteidigungsaufgaben (Stabilisierung von Trackern und Waffen, Navigation und Zielführung)
- UAVs und MAVs
- Lagestabilisierung von Mini-U-Booten
- Roboter für SAR-Einsätze (Polizei, Rettungsdienste, Search & Rescue)
- Analyse von Fahrrad/Auto-Rennen etc.
- Film-Animation, Virtual und Augmented Reality,
- Rehabilitation, Biomechanik, Sport, Training und Simulation,
- Fußgänger-Navigation

Vier anschauliche Beispiele sollen an dieser Stelle kurz herausgegriffen werden:

4.2.1 Stabilisierung und Geo-Tracking von Luftbildkameras

Die Fa. Global Imaging Technologies bietet eine Hochgeschwindigkeits-Luftbildkamera mit integriertem GAINS an (siehe Abb. 4-3).

Durch das integrierte GAINS können beabsichtigte oder durch Luftturbulenzen unbeabsichtigte „Kameraschwenks“ herausgerechnet und kompensiert werden. Dadurch ist bei 1000m Flughöhe und 150 kn Fluggeschwindigkeit eine Geo-Referenzierung der Bilddaten auf 10 cm möglich.

Derartige ausgerüstete Kameras werden heute auch für die Übertragung von Sport- Großereignissen (z.B. Tour de France) auf z.B. Hubschraubern und Motorrädern benutzt: Ist der Fahrer im Kamerafokus, kann seine Position in der Streckenkarte und z.B. seine Geschwindigkeit unabhängig von der Geschwindigkeit und Bewegung des Beobachtungsfahrzeuges angegeben werden.



Abb. 4-3: eagle eye GV2010V-IMU der Fa. Global Image Technologies
(Quelle: <http://www.globalimagingtech.com/>)

4.2.2 Der Moven-Anzug von Xsens

Xsens hat einen Anzug entwickelt, mit dem durch im Anzug integrierte drahtlose IMU-Systeme die Ganzkörper-Bewegung von Menschen aufgezeichnet und analysiert werden kann (siehe Abb. 4-4).



Abb. 4-4: Moven-Anzug von Xsens (Quelle: www.moven.com)

Was auf den ersten Blick wie Spielerei aussieht, hat sehr ernsthafte Anwendungen mit großem Marktpotenzial:

- Die physiotherapeutische Rehabilitation kann durch Analyse von Bewegungsabläufen unterstützt werden.
- Die Sportmedizin kann durch Analyse der Biomechanik optimale, individuelle Bewegungsabläufe für das Training von Hochleistungssportlern entwickeln.
- In Filmen, Computerspielen und Animationen können Trick-Figuren mit natürlichen Bewegungsabläufen von Schauspielern versehen werden.

4.2.3 Unbemannte Mini-Flugobjekte: Microdrones

Die Fa. microdrones hat ein unbemanntes teilautonomes, senkrecht startendes MAV⁵³ namens Microdrone auf den Markt gebracht. Das System wiegt ca. 1 kg, hat eine Spannweite von Rotorarm zu Rotorarm von knapp 1 m und kann 20 Minuten fliegen.

⁵³ VTOL MAV: Vertical Take off and Landing Micro Aerial Vehicle



Abb. 4-5: Die Microdrone mit Kamera für Luftaufnahmen (Quelle: www.microdrones.com)

Das System wird während des Fluges durch ein GAINS automatisch stabilisiert und kann ferngesteuert aber auch autonom Trajektorien abfliegen. Im zivilen Bereich wird es für Luftaufnahmen eingesetzt, weitere Anwendungen finden sich bei Polizei, Rettungswesen, Zivilschutz und Verteidigung.

4.2.4 Unbemanntes Regattaboot

Zum Schluss noch etwas aus dem Wassersport:

Autonome Roboter-Micro-Segelyachten werden 2008 eine Transatlantik-Regatta⁵⁴ bestreiten. Eine der bisher erfolgreichsten Wettbewerber ist die ROBOAT⁵⁵ von dem österreichischen Team um Prof. Stelzer. Noch ist die Technik als konventionell zu bezeichnen: ein GPS, ein lagekompensierter elektronischer Kompass, Ultraschall-Windsensor und übliche Modellbauelemente. Die Steuerung von Segelstellung und Kursen wird durch ein Fuzzy-Logic-System realisiert. Robert Stelzer sieht u.a. auch den Freizeit-Skipper als Zielgruppe:

⁵⁴ <http://www.microtransat.org>

⁵⁵ <http://www.roboat.at>

"Our ROBOAT for the Microtransat championship in Wales is about four meters long. Nevertheless, the algorithms and systems used on board can be scaled up for use on larger boats that are more frequently found on the open sea" according to Roland Stelzer, who is the project leader of the ROBOAT 2007 and President of the InnoC Association. "The future we envision for the ROBOAT system is that it can become *a reliable support tool for sailors in leisure boats*, as well as a means to cut energy costs by use in waterway logistics, in addition to aid rescue boats."



Abb. 4-6: Der autonome Microtransat-Cupper ROBOAT von 2006
(Quelle: www.roboat.at)

5 Können einige der recherchierten Konzepte ggf. auf Basis der Mikrosystemtechnik miniaturisiert und technisch seniorengerecht auf eine Segelyacht übertragen werden?

Für die recherchierten Konzepte kann diese Frage klar mit „Ja“ beantwortet werden:

- Erste Komplett-Systeme mit Teilfunktionen sind bereits auf dem Markt (vgl. z.B. „Skyhook“ auf S. 24).
- Die Mini-Flugobjekte Microdrones beweisen, dass sogar komplexere Systeme in kleinster und leichter Bauweise bereits realisiert sind.
- Projekte wie die automatisierte Modell-Regattayacht „Roboat“ (siehe 0) weisen den Weg in die Zukunft der miniaturisierten Skipper-Assistenzsysteme.

Der Markt für derartige Systeme wird vorbereitet – wenn er nicht schon vorhanden ist: „Roboat“ und „Jet-Thruster“ wurden in der Ausgabe 9/2007 des Publikum-Fachmagazins „segeln“⁵⁶ für den Innovationspreis „segeln Award 2007“ vorgeschlagen.

6 Welcher Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht noch?

Bei der Vielzahl der vorgestellten Lösungsansätze und Komponenten fokussiert sich die Forschungs- und Entwicklung auf drei Bereiche:

- Geeignete Systemzusammenstellungen und Integration von Autopilot, Dynamic Positioning und Antriebstechnik für Sportboote, insbesondere Segelboote im Hinblick auf den Neubau und die Nachrüstung
- Mensch-Maschine-Ergonomie der Systeme im Hinblick auf Senioren und Handicaps
- Entwicklung spezieller Assistenzsysteme für bestimmte, aus Sicht der Zielgruppe sehr anstrengende Manöver (z.B. Anlegen in der Box etc.) und Identifikation dieser Manöver mit Hilfe von Probanden.

⁵⁶ segeln 9/2007, S. 56 ff

7 Zusammenfassung und Ausblick

Als vor ungefähr einem Jahr die Aufgabenstellung dieser Studie definiert wurde, war den Beteiligten nicht klar, welche Entwicklungs-Dynamik bei Assistenzsystemen auf dem Wassersport-Markt besteht. Wenn die Studie veröffentlicht wird, findet der geneigte Leser in einschlägigen Wassersportzeitschriften wahrscheinlich schon aktuelle Produktberichte zum Thema. So ergaben sich weitere interessante Fragestellungen, denen wegen der zur Verfügung stehenden Zeit und, um mit dem zusammengetragenen Material noch aktuell zu erscheinen, nicht allen nachgegangen wurde. So zum Beispiel: Welche sensorischen Systeme zur Ortung von Hindernissen und zur Positionsbestimmung im Nahbereich gibt es? Das ist vielleicht Stoff für eine überarbeitete und aktualisierte Ausgabe dieser Studie.

Zusammenfassend kann konstatiert werden:

Die Vermutung, dass nach dem Fahrer-Assistenzsystem für das Auto auch das maritime Pendant auf den Markt kommen wird, wurde bestätigt. Während die Studie verfasst wurde, gelangte ein erstes System für das „elektronische Ankern“ von einer renommierten Firma auf den Markt. Die anderen Anbieter werden folgen. Die Systeme und Konzepte sind in der Großschifffahrt in breiter Front eingeführt. Die Miniaturisierung und Adaption an die Bedürfnisse der Freizeitboote ist zurzeit Thema in den Entwicklungslabors. Dabei können einzelne Systemkomponenten zur GPS- und inertial-gestützten Navigation aus dem Automobilbereich und damit als preiswertes Massenprodukt übernommen werden.

Ferner zeichnet sich ab, dass die klassische Antriebstechnik (1 Hauptmaschine mit Wellenanlage oder Saildrive evt. kombiniert mit einem Bugstrahlruder) überholt ist. Neue Konzepte sind von Nöten und werden z.T. auch aus der Großschifffahrt adaptiert angeboten. Damit ergibt eine deutlich bessere Manövrierfähigkeit der Sportboote auf engstem Raum. In Kombination mit dieser neuen Antriebstechnik und Konzepten des Dynamic-Positioning sind Joystick-Assistenzsysteme ähnlich der Großschifffahrt realisierbar.

Dabei fällt auf, dass der Werftneubau von Motorbooten im Focus der Marketing-Strategen steht. Segelyachten und die Nachrüstung von Altbooten scheinen für die Branchenprimusse nicht interessant zu sein: Segeln ist ein europäischer Nischenmarkt, beschied uns ein Vertreter der Global Player auf der Boot 2007 in Düsseldorf. So ist auch in dieser Studie deutlich zu erkennen, dass

besonders kleinere, innovative Firmen und Neugründungen⁵⁷ im Schatten der Marktführer dieses Klientel bedienen werden. Hier liegt also eine Chance für die europäische und besonders für die deutsche Wassersportwirtschaft.

Der Wassersportler darf sich also in den kommenden Jahren auf innovative Produkte freuen, die ihn seinen Sport auch mit zunehmendem Lebensalter angenehmer, erholsamer und sicherer ausüben lassen.

⁵⁷ Zum Beispiel steckt hinter der Neugründung Willdo³⁶ der Vetus Gründer Willem den Ouden.

8 Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 2-1:	DPS mit Fixpunkt auf dem Meersboden, US000003176645A von 25.4.63..	12
Abb. 2-2:	DPS mit 2 bekannten Peilmarken, US000003280311A 18.10.1966	12
Abb. 2-3:	Schema eines modernen DPS-Systems aus dem Jahre 2004.....	13
Abb. 2-4:	Die 6 Freiheitsgrade eines Wasserfahrzeuges	15
Abb. 2-5:	ABB Dynamic Positioning, Screenshot (oben) und Anlagenschema (unten).	19
Abb. 2-6:	Kongsberg integriertes DP-System mit Joystick und Kontrollmonitoren	20
Abb. 2-7:	Kongsberg cPos DP-Steuerstand (Quelle Kongsberg)	21
Abb. 2-8:	Schema cPos-System (Quelle Kongsberg)	21
Abb. 2-9:	cPos Remote Konsole (Quelle Kongsberg)	22
Abb. 2-10:	Kongsberg yachtPOS integrierte Brücke für Megayachten (Quelle Kongsberg).....	23
Abb. 2-11:	Skyhook Bedienpanel von Cummins-Mercruiser (Quelle Cummins Mercruiser FTP Site)	24
Abb. 2-12:	Skyhook Joystick auch zur Steuerung der Zeus-Antriebe	24
Abb. 3-1:	Typische Antriebs-Konzepte für DP-Schiffe (Quelle IMCA).....	26
Abb. 3-2:	Eisbrecher Mackinaw mit DP und POD-Antrieb	27
Abb. 3-3:	Zeus Antrieb mit Azimuth-Propulsion (Quelle http://www.cmdmarine.com/ftp/zeus/Zeus-SteeringAngles-lores.jpg)	28
Abb. 3-4:	Links: Prinzip des Jet-Thrusters mit 4 Düsen, rechts Systemdarstellung. Quelle: Broschüre der Fa. Willdo http://willdo.nl/images/WillDo%20Jetthruster/WillDo3luikEN.pdf	29
Abb. 3-5:	Elektrischer Jet-Thruster mit Ansaugstutzen, Seeventil (blau), Pumpe (rot) und E-Motor (Quelle: Broschüre der Fa. Willdo http://willdo.nl/images/WillDo%20Jetthruster/WillDo3luikEN.pdf).....	30
Abb. 4-1:	Prinzipaltbild für ein GPS-gestütztes Inertiales Navigationssystem (Quelle: Swiss Federal Institute of Technologie, Zürich: http://www.electronic-engineering.ch/study/ins/ins.html)	32
Abb. 4-2:	MTi der Fa. Xsens, ein kompaktes IMU (Quelle www.xsens.com).....	33
Abb. 4-3:	eagle eye GV2010V-IMU der Fa. Global Image Technologies (Quelle: http://www.globalimagingtech.com/)	35
Abb. 4-4:	Moven-Anzug von Xsens (Quelle: www.moven.com)	36
Abb. 4-5:	Die Microdrone mit Kamera für Luftaufnahmen (Quelle: www.microdrones.com).....	37
Abb. 4-6:	Der autonome Microtransat-Copper ROBOAT von 2006 (Quelle: www.roboat.at)	38

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 Recherchen, 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:

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Büddefeld
Institut für angewandte Nano- und optische Technologien
der Hochschule Niederrhein
Reinarzstr. 49
D-47805 Krefeld
Tel.: (+49) 2151 - 822 4626
e-mail: info@inano.de

Das Projekt **Fit & Sail** ist ein kooperatives Forschungsprojekt des Bundesverbandes Wassersportwirtschaft e.V. (BVWW) in Köln mit dem Institut für Sport und Sportwissenschaften der Universität Kiel und dem Institut für Boots-Tourismus (IBoaT) in Bonn, unterstützt durch die French "Connect to Sailing" task force der Fédération Française de Voile (FFVoile), Paris.

Das Projekt wird mit Sach- und Dienstleistungen sowie finanziellen Zuwendungen u.a. durch folgende Sponsoren gefördert:

HanseYachts AG, Greifswald

ancora Marina GmbH & Co KG, Neustadt / Holstein

A.W. Niemeyer GmbH, Hamburg

International Marine Certification Institute (IMCI), Brussels

Volvo Penta Central Europe GmbH, Kiel

In der Reihe **IBoaT-Report**, Arbeitsberichte des Institutes für Boots-Tourismus, (ISSN: 1860-7888, 1860-7896) (www.iboat.de/iboat-report/) sind bis August 2007 zum Projekt Fit & Sail erschienen:

IBoaT-Report 3.1

Wolf-Dieter Mell: Studie: Langzeitmessungen Herz-Kreislaufbelastungen Fahrtenseglern und Alltagsaktivitäten, 2005

IBoaT-Report 3.2:

Wolf-Dieter Mell: Pilotstudie: Vergleich der Wirkungen von Vibrations-training und Fahrtenseglern auf die Sprungkraft, 2006

IBoaT-Report 3.3:

Burkhard Weisser, Wolf-Dieter Mell: Methodische Hinweise zur Diagnostik von Veränderungen der körperlichen Leistungsfähigkeit älterer Segler durch Fahrtensegeltörns, 2007

IBoaT-Report 3.4:

Wolf-Dieter Mell: Konzept ComfoDrive: Dynamik, Ergonomie und Sicherheit des Manövrierens von Segelyachten unter Motor, 2007

IBoaT-Report 3.5:

Jürgen Büddefeld: Studie: Stand der Entwicklung von Assistenzsystemen und deren Technologien zur Unterstützung von Navigation und Manövern im Nahbereich u.a. in der Berufsschiffahrt, 2007