

(19)



österreichisches
patentamt

(10)

AT 505 353 A1 2008-12-15

(12)

Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: **A 842/2007**(22) Anmeldetag: **29.05.2007**(43) Veröffentlicht am: **15.12.2008**(51) Int. Cl.⁸: **G05D 1/02** (2006.01),
G06F 15/50 (2006.01)

(73) Patentinhaber:

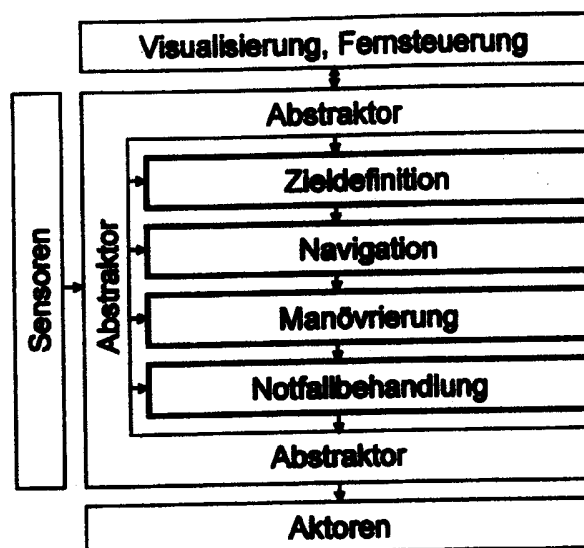
STELZER ROLAND
A-1200 WIEN (AT)

(72) Erfinder:

STELZER ROLAND
WIEN (AT)
PRÖLL TOBIAS
ULRICHSBERG (AT)
JAFARMADAR KARIM
WIEN (AT)

(54) **VERFAHREN ZUR NAVIGATION UND MANÖVRIERUNG EINES VOM WIND GETRIEBENEN WASSERFAHRZEUGS**

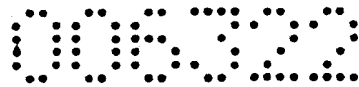
(57) Ein Verfahren zur Navigation und Manövrierung eines vom Wind getriebenen Wasserfahrzeugs (Segelboot), das über Sensoren zur Messung der scheinbaren Windrichtung und der Windgeschwindigkeit, der Ausrichtung des Segelbootes, der geographischen Position des Segelbootes, der Geschwindigkeit des Segelbootes, eine Datenverarbeitungseinheit zur Verarbeitung der Sensorwerte sowie über eine mit der Datenverarbeitungseinheit verbundene Vorrichtung zur Beeinflussung der Ruder- und der Segelstellung verfügt, wobei die vom Boot zum effizienten Erreichen eines als geographische Position definierten Zieles einzuschlagende Kompassrichtung als die Richtung mit der im Rahmen einer vorgebbaren Hysteresebedingung maximalen Zieleffizienz unter Verwendung eines Geschwindigkeitspolardiagramms des Segelbootes oder eines vereinfachten Geschwindigkeitspolardiagramms ermittelt wird.



AT 505 353 A1 2008-12-15

Zusammenfassung

Ein Verfahren zur Navigation und Manövrierung eines vom Wind getriebenen Wasserfahrzeugs (Segelboot), das über Sensoren zur Messung der scheinbaren Windrichtung und der Windgeschwindigkeit, der Ausrichtung des Segelbootes, der geographischen Position des Segelbootes, der Geschwindigkeit des Segelbootes, eine Datenverarbeitungseinheit zur Verarbeitung der Sensorwerte sowie über eine mit der Datenverarbeitungseinheit verbundene Vorrichtung zur Beeinflussung der Ruder- und der Segelstellung verfügt, wobei die vom Boot zum effizienten Erreichen eines als geographische Position definierten Zieles einzuschlagende Kompassrichtung als die Richtung mit der im Rahmen einer vorgebbaren Hysteresebedingung maximalen Zieleffizienz unter Verwendung eines Geschwindigkeitspolardiagramms des Segelbootes oder eines vereinfachten Geschwindigkeitspolardiagramms ermittelt wird.



1) Titel der Erfindung

Verfahren zur Navigation und Manövrierung eines vom Wind getriebenen Wasserfahrzeugs

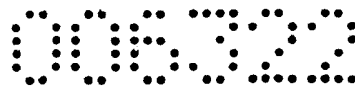
2) Beschreibungseinleitung

Beschrieben werden ein Verfahren und die zugehörigen Vorrichtungen, die es ermöglichen, ein vom Wind getriebenes Wasserfahrzeug (Segelboot oder Segelschiff), im Folgenden als Boot oder Segelboot bezeichnet, an einen Bestimmungsort zu navigieren und entlang des selbständig gewählten, optimierten Kurses die notwendigen Manöver entweder völlig ohne menschliches Eingreifen oder in Zusammenarbeit mit dem Segler durchzuführen. Dieser ggf. mitwirkende Segler kann sich am Boot befinden oder über eine Telekommunikationseinrichtung von außen mitwirken. Das Verfahren beinhaltet

1. die Überprüfung der momentanen Bootsposition im Bezug auf eine vorgegebene Abfolge von zu erreichenden Zielen, die beliebig angeordnet sein können,
2. die Bestimmung der momentan optimalen Ausrichtung des Bootes um das jeweils nächste Ziel unter den herrschenden Windverhältnissen und unter Berücksichtigung möglicherweise vorhandener bewegter oder unbewegter Hindernisse schnell zu erreichen,
3. die Einstellung von Ruder und Segelstellung um entlang des beabsichtigten Kurses voranzukommen,
4. die Systemarchitektur, bestehend aus Zieldefinitionseinheit, Navigationssystem, Manöviereinheit, Notfallbehandlungs-System, Sensordaten-Verarbeitungseinheit (in der Folge Abstraktor genannt).

Die Vorrichtung besteht aus einer elektronischen Datenverarbeitungseinheit die mit Sensoren für

1. die am Boot gemessene Windrichtung und Windgeschwindigkeit
2. die horizontale Ausrichtung des Bootes (Kompassrichtung)
3. die vertikale Ausrichtung des Bootes (Krängung)
4. die Position des Segelbaumes
5. die geographische Position des Bootes (z.B. aus Satellitennavigation)
6. die Geschwindigkeit des Bootes (Änderungsrate der geographischen Position)
7. die geographischen Positionen und Geschwindigkeiten von Hindernissen



in Verbindung steht. Die Sensorik kann zur Gänze auf dem Boot montiert sein oder teilweise über elektronische Kommunikationseinrichtungen an das Boot übermittelt werden. Für Teilfunktionen kann auch die Verwendung eines Teils der angegebenen Sensoren ausreichen. Es wird angemerkt, dass sich der vom Navigationsmechanismus verwendete absolute Windgeschwindigkeitsvektor aus dem am Boot gemessenen (relativen) Windgeschwindigkeitsvektor und dem Bootsgeschwindigkeitsvektor zusammensetzt.

Das Verfahren navigiert und manövriert das Boot zu einer vorgegebenen Zielposition, die in Form ihrer geographischen Position vorgegeben wird. Das Verfahren ist für konventionelle Boots- und Schiffstypen direkt einsetzbar und erfordert eine von einer Datenverarbeitungseinheit aus steuerbare Ansteuerung von Ruder und Segeln. Die jeweilige Vorrichtung kann zum Beispiel elektrisch, pneumatisch oder hydraulisch realisiert sein. Bei der Umgebung, in der sich das Boot bewegt kann es sich um Binnengewässer oder um das Weltmeer handeln.

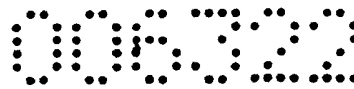
Das Verfahren oder Teile davon können auch teilautonom in Zusammenarbeit mit dem Segler zum Einsatz kommen. Das Verfahren liefert die Grundlage für die Entwicklung autonom gesteuerter, vom Wind getriebener Wasserfahrzeuge. Eine wichtige Anforderung an solche Systeme ist die unbedingte Vermeidung von Kollisionen.

3) Stand der Technik

Für Segelboote sind bereits Regelsysteme zur Kurshaltung (Windfahnen) bekannt, die aber nur einen bestimmten Kurs relativ zur Windrichtung halten und damit weder ein Ziel ansteuern noch Manöver durchführen können. Auch Systeme zur Kurshaltung nach Kompass sind bekannt, diese erfordern ebenfalls die Vorgabe einer Richtung durch den Bootsführer und nehmen ebenfalls nur Einfluss nur auf die Ruderstellung, nicht auf die Segelstellung.

In der US 3 771 483 wird ein Apparat und Verfahren zur automatischen Navigation von Segelschiffen beschrieben, der auf Basis von Positions-, Geschwindigkeits- und Kompassdaten überprüft, ob ein vorgegebenes Ziel auf direktem Weg erreichbar ist. Die Notwendigkeit von Wendemanövern im Fall, dass ein Aufkreuzen gegen den Wind notwendig ist, wird in genannter US 3 771 483 erkannt, es wird aber keine Methode zur Bestimmung des Zeitpunktes oder der Häufigkeit der Wendemanöver präsentiert.

Die einzelnen Bestandteile der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind bekannte, am Markt erhältliche Komponenten: ein elektronischer Rechner, ein elektronischer Kompass, ein



Messgerät für die Windgeschwindigkeit, ein Messgerät für die Windrichtung und eine elektronische Einrichtung zur Bestimmung der Position (z.B. Satellitennavigationssystem).

4) Aufgabe der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, aus den zu messenden Daten die notwendige Ausrichtung des Segelbootes zu bestimmen, aus der sich bei wiederholter Anwendung des Verfahrens eine effiziente Route zu einem definierten Ziel ergibt. Dies hat ohne menschliches Zutun zu geschehen. Das Verfahren hat für beliebige Windrichtungen zum Ziel zu führen und auf zeitliche Änderungen der Windverhältnisse zu reagieren. Das Verfahren hat Kollisionen mit Hindernissen bekannter Position zu vermeiden, sofern diese Hindernisse unbewegt sind oder ihre Geschwindigkeit hinreichend klein im Bezug auf die Manövrierbarkeit des Segelbootes ist (einem Torpedo kann mit der vorliegenden Erfindung voraussichtlich nicht ausgewichen werden).

Weiters wird die Aufgabe gelöst, die Ruder und Segelstellung stets den momentanen Umgebungsbedingungen (Windverhältnissen) auf eine Weise anzupassen, die eine Kurshaltung erlaubt, optimalen Vortrieb ermöglicht und ein unzulässig starkes sich-zur-Seite-Neigen (Krängen) des Bootes oder ein Umkippen (Kentern) des Bootes verhindert. Es werden Ruder und Segel in Echtzeit so gestellt, dass jeder fahrbare Kurs gesegelt, sowie Wende und Halse möglichst komfortabel und sicher durchgeführt werden können.

Die Erfindung kann Anwendung finden

1. als Unterstützung für den Bootsführer (Segelyachten, etc.)
2. als System um geeignet konstruierte unbemannte Wasserfahrzeuge für unterschiedliche Zwecke an definierte Ziele zu befördern, als Beispiel können hier die Messung ozeanographischer Daten oder von Wetterdaten angeführt werden
3. als System zum Transport von Gütern oder Personen ohne bzw. mit vermindertem Personaleinsatz
4. zur Unterstützung bei der Ausbildung von Seglern
5. zur Observierung oder Überwachung von Wasser- oder Küstengebieten
6. als Teil einer Flotte, die ein selbstorganisierendes Kommunikationsnetzwerk bildet
7. zur Rettung oder Bergung in gefährlichen oder schwer zugänglichen Gebieten
8. als Spielzeug
9. etc.

5) Kurzbeschreibung der Figuren

Fig. 1 zeigt ein schematisches Blockdiagramm einer Schichten-Systemarchitektur einer erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Fig. 2 zeigt ein Geschwindigkeitspolardiagramm der erreichbaren Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Ausrichtung des Bootes α zum absoluten Wind w_{abs} .

Fig. 3 zeigt Aufkreuzbereiche für verschiedene Hystereseparameter n (Gleichung 4), teilweise basierend auf dem Aufkreuzparameter p_c (Gleichung 6).

Fig. 4 zeigt ein Blockdiagramm eines erfindungsgemäßen Navigationsalgorithmus ohne die Berücksichtigung von Hindernissen.

Fig. 5 zeigt eine schematische Darstellung einer seitlichen Winddrift, definiert durch den Driftvektor v_d , der normal auf die Bootsrichtung b_0 steht, und in Gleichung 7 definiert ist.

Fig. 6 zeigt ein permanent an Umgebungsbedingungen angepasstes Polardiagramm, wie es in Fig. 2 dargestellt ist.

Fig. 7 zeigt die Fuzzy-Sets der Input-Variable „desired direction“ (vorgegebene Fahrtrichtung) eines Fuzzy-Inferenzsystems nach Mamdani zur Rudersteuerung.

Fig. 8 zeigt die Fuzzy-Sets der Input-Variable „turn“ (Drehgeschwindigkeit des Bootes) eines Fuzzy-Inferenzsystems nach Mamdani zur Rudersteuerung.

Fig. 9 zeigt die Fuzzy-Sets der Output-Variable „rudder change“ (relative Veränderung zur bisherigen Ruderstellung) eines Fuzzy-Inferenzsystems nach Mamdani zur Rudersteuerung.

Fig. 10 zeigt die in den Regelkreis zur Segelstellung involvierten Komponenten und deren Verbindungen untereinander.

Fig. 11 zeigt eine beispielhafte grafische Darstellung der gewünschten Krängung in Abhängigkeit von Geschwindigkeit v und scheinbarer Richtung α des scheinbaren Windes.

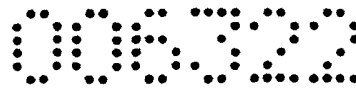


Fig. 12 zeigt den erfindungsgemäßen Ablauf einer Halse: (1) Der Bug dreht in den Wind. Durch den veränderten Winkel des scheinbaren Windes sinkt die Krängung. Das hat zur Folge, dass die Segel dichtgeholt werden. (2) Der Bug dreht durch den Wind. Die Krängung steigt wieder und die Segel werden wieder aufgefiert. (3) Boot hat den neuen Kurs erreicht.

Fig. 13 zeigt den erfindungsgemäßen Ablauf einer Wende: (1) Das Heck dreht in Richtung Wind. Bei exakt achterlichem Wind ist die gewünschte Krängung 0, was zur Folge hat, dass die Segel komplett aufgefiert werden. (2) Sonderregel für die Halse: Wenn das Heck deutlich (Hysterese) durch den Wind ist, das Segel sich aber noch luvseitig befindet, wird das Segel kurzzeitig soweit dicht geholt, so dass es vom Wind auf die Leeseite geholt wird. (3) Boot hat neuen Kurs erreicht.

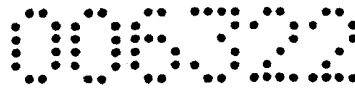
6) Lösung der gestellten Aufgabe

Die Lösung der gestellten Aufgabe erfolgt in einem integrierten Verfahren, das intern in vier wesentliche Bereiche strukturiert werden kann:

1. Zieldefinition: z.B. Koordinaten des zu erreichenden Hafens, erneute Zieldefinition nach Erreichen eines Zieles. Ziele können entweder manuell vorgegeben oder von einem Computerprogramm automatisch berechnet werden.
2. Navigation: Bestimmung der Soll-Ausrichtung des Bootes, um das Ziel kollisionsfrei zu erreichen
3. Manövrierung: Bestimmung der notwendigen Ruder- und Segelstellung um dem von der Navigation vorgegebenen Kurs zügig zu folgen. Die beschriebene Implementierung verhindert weiters unzulässig starkes sich-zur-Seite-Neigen (Krängen) oder Umkippen (Kentern) des Bootes.
4. Notfallbehandlung: Reflexartige Schutzmechanismen, die in Gefahrensituationen die vorgegebene Ruder- und Segelstellung aus dem Bereich „Manövrierung“ übersteuert. 1

Die Koordination zwischen den vier Bereichen und die Interaktion mit den Sensoren und Aktuatoren am Boot kann vorteilhaft mit der in Fig. 1 dargestellten Schichten-Systemarchitektur erreicht werden.

Jeder Bereich greift auf Sensorwerte zu, die entweder am Boot direkt gemessen oder von extern an das Boot übermittelt werden. In der beschriebenen Implementierung erfolgt der Datenaustausch zwischen Sensoren bzw. Aktoren und den einzelnen Bereichen über eine Software, die hier mit Abstraktor bezeichnet wird. Der Abstraktor empfängt Rohdaten der Sensoren und bereitet diese für die einzelnen Bereich auf. Diese Aufbereitung kann unter



anderem Dämpfung, Skalierung, Umwandlung zwischen Einheiten und Plausibilitätsüberprüfungen enthalten.

Die Bereiche führen ihre Aufgaben grundsätzlich unabhängig voneinander, parallel und periodisch in kurzen Zeitabständen durch. Jeder Bereich errechnet Vorgaben für den unmittelbar darunterliegenden Bereich in folgender Reihenfolge: Zieldefinition → Navigation → Manövrierung → Notfallbehandlung. Die Vorgaben des übergeordneten Bereichs fließen in die Aufgabenerfüllung ein. Tieferliegende Bereiche verwenden für ihre Berechnungen tendenziell detaillierte lokale Informationen, was dazu führen kann, dass aus Sicht eines untergeordneten Bereichs die Vorgaben des übergeordneten Bereichs undurchführbar, nicht sinnvoll oder gefährlich erscheinen. In diesem Fall kann der untergeordnete Bereich die Vorgaben ganz oder teilweise ignorieren.

Im Folgenden werden die Lösungsansätze zu den vier Aufgabenbereichen sowie ein mögliches Kommunikationskonzept genau beschrieben.

6.1) Zieldefinition

Der Bereich Zieldefinition überprüft stetig oder in definierten Abständen, ob das vorgegebene Ziel erreicht wurde, d.h. ob sich das Boot in einem bestimmten, zu definierenden, Mindestabstand vom vorgegebenen Ziel befindet. Ist das Ziel erreicht, erfolgt entweder die Definition eines neuen Zieles oder, wenn kein weiteres Ziel angefahren werden soll, die weitere Zielvorgabe auf das bereits erreichte Ziel, was ein Verweilen des Bootes in unmittelbarer Nähe zu der erreichten Position zur Folge hat. Damit sorgt die Zieldefinitionseinheit für die Abarbeitung einer vorgegebenen Reihe von Zielen, die etwa anzusteuern den Häfen oder Liegeplätzen entsprechen können. Diese Reihe von Zielen kann manuell vorgegeben werden oder alternative durch ein Routenplanungsverfahren automatisch bestimmt werden. Die gängigsten Routenplanungsverfahren sind Softwareimplementierungen der Isochronen-Methode.

6.2) Navigation

6.2.1) Grundstruktur des Navigationsansatzes: Polardigramm, Zieleffizienz, Hysterese und Aufkreuz-Parameter

Die Navigation schlägt eine Ausrichtung des Segelbootes vor, für die unter Berücksichtigung der momentanen Windparameter, der Bootseigenschaften und der gegebenenfalls vorhandenen Hindernisse eine minimale Zeit zum Erreichen des Zieles benötigt wird.

Dafür werden die kontinuierlich aufgenommenen Sensordaten an den elektronischen Rechner übermittelt. Geographische Koordinaten können zum Zwecke der einfacheren Darstellung in lokale, kartesische Koordinaten umgewandelt werden. Es sei hier festgehalten, dass die im Folgenden beschriebene Methode in gleicher Weise direkt mit geographischen Koordinaten arbeiten kann. An die Stelle der Richtung zum Ziel tritt dann die Großkreisrichtung zum Ziel und an die Stelle der ebenen Vektoroperationen treten dann trigonometrische Beziehungen.

Zur Beschreibung der grundsätzlichen Funktionsweise bleiben vorerst Hindernisse und seitliche Winddrift aus der Überlegung ausgespart.

Grundlage für die Bestimmung der einzuschlagenden Richtung ist das charakteristische Geschwindigkeits-Polardiagramm des Segelbootes, welches die in einem bestimmten Winkel zum Wind erreichbare Geschwindigkeit bestimmt (Fig. 2).

$$|\vec{v}_b| = f(|\vec{w}_{abs}|, |\varphi(\vec{v}_b) - \varphi(-\vec{w}_{abs})|) \quad (1)$$

Dieses Original-Polardiagramm wird für die Kompensation der seitlichen Winddrift benötigt.

Fig. 2 zeigt ein Original- (durchgezogene Linie) und ein vereinfachtes (gebrochene Linie) Geschwindigkeitspolardiagramm der erreichbaren Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Ausrichtung des Bootes zum Wind.

Zusätzlich zu genanntem Original-Polardiagramm ist ein vereinfachtes Arbeits-Polardiagramm zu definieren, welches in Abhängigkeit des Winkels zum Wind diskrete Werte aufweist, die im einfachsten Fall entweder 0 oder 1 sind. Im Arbeits-Polardiagramm werden Winkel relativ zum Wind, in denen eine akzeptable Geschwindigkeit erreicht werden kann, mit 1 bewertet (fahrbarer Bereich) und Winkel, in die keine akzeptable Geschwindigkeit erreicht wird (z.B. gegen den Wind aber auch vor dem Wind), mit 0 bewertet (nicht fahrbarer Bereich).

Bei der Bestimmung der einzuschlagenden Richtung wird nach dem Maximalwert für die folgende Größe, die als Zieleffizienz v_t einer Richtung $\vec{v}_{b,0}$ bezeichnet wird, gesucht:

$$v_t = \vec{v}_b \cdot \vec{t}_0 \quad (2)$$

Dabei ist $\vec{v}_b$ der der Richtung $\vec{v}_{b,0}$ durch das Arbeits-Polardiagramm zugeordnete Geschwindigkeitsvektor und $\vec{t}_0$ die Richtung der Verbindungslinie vom Boot zum Ziel.

Richtungen, für die das Arbeits-Polardiagramm keine Geschwindigkeit liefert ($\vec{v}_b = \vec{0}$), weisen damit auch eine Zieleffizienz von 0 auf. Aus der Extremwertaufgabe

$$v_i(\vec{v}_{b,0}) \rightarrow \text{Max} \quad (3)$$

ergibt sich die optimale Richtung $\vec{v}_{b,0,opt}$. Diese Vorgehensweise führt dazu, dass bei Möglichkeit des direkten, geradlinigen Kurses zum Ziel im fahrbaren Bereich dieser eingeschlagen wird.

Ist der direkte Kurs nicht möglich, wird ein Kurs am Rand des fahrbaren Bereiches vorgeschlagen. In diesem Fall werden die Zieleffizienzen an allen Rändern des fahrbaren Bereiches ausgewertet und mit der Zieleffizienz der Richtung verglichen, die am Rand des fahrbaren Bereiches möglichst nahe an der derzeitigen Bootsausrichtung (Momentankurs) liegt. Es kommt nun folgende Hysteresebedingung zur Anwendung: Es wird grundsätzlich der jeweilige Momentankurs beibehalten, außer einer der anderen Ränder des fahrbaren Bereiches (Alternativkurse) liefert eine Zieleffizienz, die mindestens um einen Faktor n höher ist, als die des Momentankurses. Im Fall, dass ein Alternativkurs eine ausreichend hohe Zieleffizienz liefert, wird dieser als Soll-Ausrichtung des Bootes ausgegeben:

$$\text{wenn } v'_i > n \cdot v_i \rightarrow \text{dann folge } \vec{v}'_b \quad (4)$$

Für den Hysteresefaktor n gilt grundsätzlich:

$$n > 1 \quad (5)$$

Es kann gezeigt werden, dass konstante Werte von n zu einem sektorförmigen Bereich führen, in dem das Boot bei der Ansteuerung des Zieles gegen den Wind aufkreuzt bzw. bei der Fahrt vor dem Wind halst. Dies führt zu einem großen Platzbedarf in großen Entfernungen vom Ziel und zu immer häufigeren Wendemanövern in der Nähe des Zieles. Es kann daher vorgeschlagen werden, den Hysteresefaktor n in Abhängigkeit des Abstandes vom Ziel zu definieren:

$$n = 1 + \frac{p_c}{|\vec{t}|} \quad (6)$$

Dies führt zu einem bandförmigen Bereich, in dem das Boot bei der Ansteuerung des Zieles gegen den Wind aufkreuzt bzw. bei der Fahrt vor dem Wind halst. Der Aufkreuzparameter p_c hat die Einheit einer Länge und ist direkt proportional zur Breite des beschriebenen bandförmigen Bereiches (Fig. 3). In Fig. 3 sind Aufkreuzbereiche und Hystereseparameter dargestellt.

Das beschriebene Grundprinzip ermöglicht die Navigation zu einem vorgegebenen Ziel bei beliebig wechselnder Windrichtung auf einer zumindest in einem Kreis um das Ziel mit bestimmtem Radius hindernisfreien Wasserfläche. Der Radius dieses Kreises entspricht dem jeweils aktuellen Abstand zwischen Boot und Ziel.

Der Entscheidungsmechanismus für ein Polardiagramm ohne Berücksichtigung von Hindernissen (jeweils eine maximale Zieleffizienz links und eine rechts von der wahren Windrichtung) ist in Fig. 4 schematisch dargestellt. In diesem Fall genügt die Bestimmung der Bootsausrichtungen für maximale Zieleffizienz jeweils rechts und links von der wahren Windrichtung. Es werden nur diese zwei Maxima über die Hysteresebedingung verglichen.

6.2.2) Kompensation der seitlichen Winddrift und Berücksichtigung von Strömung im Wasser

Ein bei allen Segelbooten auftretendes Phänomen ist die seitliche Winddrift wie in Abb. 4 dargestellt. Die auftretende Abdrift ist eine Eigenschaft des verwendeten Bootes, die durch Messungen bestimmt und ähnlich dem Geschwindigkeitspolardiagramm angegeben werden kann. Sind solche Messungen nicht verfügbar, können mit folgendem Näherungsansatz gute Ergebnisse erzielt werden:

$$\vec{v}_d = f_d \cdot \vec{n}_{b,0} \cdot (\vec{n}_{b,0} \cdot \vec{w}_{abs}) \quad (7)$$

Dabei ist f_d der dimensionslose Abdriftfaktor, der nach kurzer Testfahrt an das Bootsverhalten angepasst werden kann. Im einfachsten Fall wird von einem konstanten Abdriftfaktor ausgegangen, Abhängigkeiten von der Windgeschwindigkeit oder der Ausrichtung zum Wind können bei Bedarf formuliert werden:

Die seitliche Winddrift führt dazu, dass die tatsächliche Bewegung des Bootes von der Richtung abweicht, in die die Mittellinie (Bug-Heck) weist. Dies kann nun bereits bei der Berechnung der Soll-Richtung in der Navigationseinheit berücksichtigt werden.

Es ergibt sich als Winddrift-korrigierte Sollrichtung gemäß Fig. 5:

$$\vec{v}' = \vec{v} - \vec{v}_d \quad (8)$$

Bei der Festlegung des fahrbaren Bereiches im vereinfachten Polardiagramm muss dem Einfluss der Winddriftkompensation Rechnung getragen werden, um ein Aufschießen gegen den Wind zu vermeiden.

Herrscht im befahrenen Gewässer eine Strömung, die entweder bekannt ist oder auf Grund von Sensordaten ermittelt wird, kann dieser Strömung analog wie der seitlichen Winddrift bei der Auswertung der Zieleffizienz Rechnung getragen werden. Bei starker Strömung und schwachem Wind schränkt sich der fahrbare Bereich gegebenenfalls ein.

6.2.3) Ausweichen bei Hindernissen

Um sicher an ein beliebiges Ziel zu segeln ist die Berücksichtigung von Hindernissen essentiell. Unter Hindernissen werden hier alle Gebiete verstanden, die nicht besegelt werden können oder dürfen oder vom Segler aus sonstigen Gründen nicht besegelt werden wollen. Dazu zählen zum Beispiel Inseln, Landflächen, Untiefen, Unwettergebiete oder Gebiete in denen das Segeln aus sonstigen Gründen verboten oder nicht erwünscht ist. Weiters gibt es lokale, unter Umständen bewegte Hindernisse, wie zum Beispiel andere Schiffe, Bojen, Bohrinselfen oder Wassersportler. Hindernisse können entweder allgemein bekannt sein, z.B. aus Seekarten, Wetterbericht, rechtlichen Vorgaben, oder werden während der Fahrt lokal detektiert, z.B. durch ein Radar-System am Boot. Erstere können bereits im Bereich Zieldefinition bei der Planung von Wegpunkten zum Ziel berücksichtigt werden. Zweitere werden im Bereich Navigation berücksichtigt.

Die Berücksichtigung von Hindernissen in der Nähe des Bootes erfolgt durch Modifikation der oben beschriebenen Navigationsstrategie. Es wird dabei das verwendete Arbeits-Polardiagramm wie in Fig. 6 dargestellt permanent an seine Umgebung angepasst. Hindernisse innerhalb eines definierten Umkreises mit dem Radius r werden berücksichtigt. Alle Sektoren, in denen sich ein Hindernis befindet, werden als unfahrbar gekennzeichnet, in dem sie im Arbeitspolardiagramm mit 0 bewertet werden.

Da es aufgrund von Hindernissen notwendig sein kann, dass sich das Boot auf dem Weg zum Ziel temporär vom Ziel entfernt, ist die oben beschriebene Ermittlung der Zieleffizienz so anzupassen, dass auch diese Kurse sinnvoll verglichen werden können.

Dies kann zum Beispiel durch folgende Modifikation erreicht werden:

$$v_t = \bar{v}_b \cdot \bar{t}_0 + 1 \quad (9)$$

Die Berücksichtigung von Hindernissen kann weiter modifiziert werden, in dem die Bewertung einzelnen Sektoren im Arbeits-Polardiagramm nicht binär (nur 0 – nicht fahrbar oder 1 – fahrbar) erfolgt, sondern nach Entfernung zum jeweiligen Hindernis erfolgt. Je näher das Hindernis desto schlechter wird es im Arbeits-Polardiagramm bewertet. In die Bewertung können neben der Entfernung noch weitere Merkmale des Hindernisses, wie zum Beispiel Gefährdungsgrad einfließen.

6.3) Manövrierung

Die Erfindung löst die gestellte Aufgabe mittels zweier Regelsysteme, von denen eines das Ruder und das andere die Segel des Bootes stellt. Das Ruder wird dergestalt gesteuert, dass eine vordefinierte Richtung erreicht und dann gehalten wird. Die Segel werden auf Basis der momentan gemessenen Krängung und der momentan gemessenen Richtung und Geschwindigkeit des scheinbaren Windes gestellt.

6.3.1) Ruder-Regelsystem

Die minimalen Eingangsgrößen für das Ruder-Regelsystem sind die aktuelle Bootsrichtung und die gewünschte Fahrtrichtung. Aus der Differenz von aktueller und gewünschter Fahrtrichtung ermittelt das System die nötige Kurskorrektur. Um Über- oder Untersteuern zu vermeiden, können weiters die Drehgeschwindigkeit und/oder die Fahrtgeschwindigkeit in die Berechnung der neuen Ruderstellung mit einfließen. Die neue Ruderstellung wird entweder als relative Veränderung zur bisherigen Ruderstellung oder als absolute Ruderstellung an die Stellvorrichtung übergeben.

Zur Regelung des Ruders wird ein Mechanismus angewendet, der zügig aber nicht ruckartig und ohne zu über- oder untersteuern die Ruderstellung anpasst. Das nachfolgend beschriebene Fuzzy-Inferenzsystem erfüllt diesen Anspruch. Es können aber auch andere Regelungsmechanismen zum Einsatz kommen.

Fuzzy-Inferenzsystem zur Rudersteuerung nach Mamdani (Beispiel) siehe Fig. 7 – 9. In Fig. 7. ist die Input-Variable die "desired direction" (vorgegebene Fahrtrichtung). In Fig. 8 ist die Input-Variable "turn" die Drehgeschwindigkeit des Bootes. Gemäß Fig. 9 ist die Output-Variable die "rudder change" (relative Veränderung zur bisherigen Ruderstellung).

Die Regeln des Fuzzy-Inferenzsystems haben die Form:

IF desired direction IS x AND turn IS y THEN delta rudder IS z

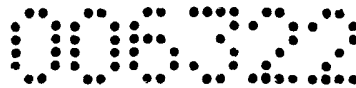
Folgende Tabelle zeigt eine mögliche Regelbasis für das Fuzzy-Inferenzsystem zur Rudersteuerung.

Rudder Change		Turn		
		Left	Neutral	Right
Desired direction	Strong left	Left	Strong left	Strong left
	Left	Keep	Left	Strong left
	Middle	Right	Keep	Left
	Right	Strong right	Right	Keep
	Strong right	Strong right	Strong right	Right

6.3.2) Segel-Regelsystem

Die minimalen Eingangsgrößen für das Segel-Regelsystem sind die momentan gemessene Krängung und die momentan gemessene Richtung und Geschwindigkeit des scheinbaren Windes. Aus diesen Eingangsgrößen ermittelt das System eine gewünschte Krängung und versucht mit Hilfe eines Regelkreises die Schot so zu bedienen, dass diese Krängung erreicht wird. Dieses Verfahren kann für jeden fahrbaren Kurs am Wind sowie während der Wende angewandt werden. Um im Falle einer Halse das ruckartige Umschlagen des Baumes auf die Leeseite zu vermeiden, wird eine die Schot kurzzeitig dicht geholt, um die Segel auf die Leeseite zu bringen. Für dieses Manöver ist ein zusätzlicher Sensor notwendig, der die jeweils momentane Position des Baumes misst. Das System sorgt für Vortrieb und dient gleichzeitig als Schutz vor übermäßiger Krängung bis hin zum Kentern und erhöht damit Sicherheit und Komfort für die Besatzung. Das System wird über drei Parameter bootsspezifisch konfiguriert. Die Erfindung ist auf alle Segelboote anwendbar, bei denen ein oder mehrere Segel mithilfe von Schoten oder vergleichbarem gestellt werden.

Die Regelung der Segelstellung erfolgt, indem neben dem scheinbaren Wind auch die Krängung wesentlich in das Verfahren einfließt. Die Segelstellung ergibt sich indirekt aus der Regelung auf eine gewünschte Krängung. Für die Systemimplementierung sind Sensoren für Windgeschwindigkeit, Windrichtung (relativ zum Boot) und Krängung notwendig. Die Sensordaten werden in einem Rechner, z.B. Mikrocontroller, verarbeitet (Fig. 10). Aus dem Ergebnis dieser Verarbeitung ergibt sich die neue Segelstellung, entweder als Offset relativ zur vorangegangenen Segelstellung oder als Absolutposition. Ist die momentane Krängung zu



gering/hoch, so werden die Segel soweit dichtgeholt/aufgefiert, bis entweder die gewünschte Krängung erreicht ist, oder die Segel ganz dichtgeholt/aufgefiert sind.

Für die Berechnung der gewünschten Krängung gelten folgende Grundsätze:

- Je höher die scheinbare Windgeschwindigkeit, desto höher ist die gewünschte Krängung.
- Je achterlicher der Wind einfällt, desto geringer die gewünschte Krängung.

Folgende Gleichung beschreibt diesen Zusammenhang formal:

$$h = \max\left(0, (h_{\max} - k \cdot |\alpha|) \cdot \frac{\min(v, v_{\max})}{v_{\max}}\right) \quad (10)$$

Die gewünschte Krängung h ist eine Funktion von Geschwindigkeit v und scheinbarer Richtung α des scheinbaren Windes. Die Konstanten k , $h_{\max}$, und $v_{\max}$ sind bootsspezifisch. $h_{\max}$ beschreibt den Maximalwert für die gewünschte Krängung für Windgeschwindigkeiten von $v_{\max}$ oder höher.

Eine beispielhafte grafische Darstellung des Zusammenhangs ist in Fig. 11 dargestellt:

Zur Regelung des Segels im Hinblick auf die gewünschte Krängung wird ein Mechanismus angewendet, der zügig aber nicht ruckartig und ohne zu über- oder untersteuern die Segelstellung anpasst. Fuzzy-Inferenzsysteme erfüllen diesen Anspruch. Es können aber auch andere Regelungsmechanismen zum Einsatz kommen.

Eine Änderung der relativen Windrichtung kann durch Änderung der Fahrtrichtung des Bootes oder durch Drehen des Windes hervorgerufen werden. Dies kann die Manöver Wende oder Halse hervorrufen. Die Fahrtrichtung des Bootes wird über das Ruder geregelt. Die Segelstellung wird parallel dazu während der Wende auf folgende in Fig. 12 dargestellte Weise angepasst:

1. Der Bug dreht in den Wind. Durch den veränderten Winkel des scheinbaren Windes sinkt die Krängung. Das hat zur Folge, dass die Segel dichtgeholt werden.
2. Der Bug dreht durch den Wind. Die Krängung steigt wieder und die Segel werden wieder aufgefiert.
3. Boot hat den neuen Kurs erreicht.

Im Fall einer Halse ergibt sich folgender, in Fig. 13 dargestellter Ablauf:

1. Das Heck dreht in Richtung Wind. Bei exakt achterlichem Wind ist die gewünschte Krängung 0, was zur Folge hat, dass die Segel komplett aufgefiert werden.
2. Sonderregel für die Halse: Wenn das Heck deutlich (Hysterese) durch den Wind ist, das Segel sich aber noch luvseitig befindet, wird das Segel kurzzeitig soweit dicht geholt, so dass es vom Wind auf die Leeseite geholt wird.
3. Boot hat neuen Kurs erreicht.

6.4) Notfallbehandlung

Dieser Bereich greift im Notfall – wenn Gefahr für Boot oder Besatzung besteht – in die Steuerung ein, und übersteuert die vorgegebene Ruder- und/oder Segelstellung aus dem Bereich „Manövrierung“. In diesem Bereich können auch andere Sicherheitsmaßnahmen automatisch eingeleitet werden, wie etwa das Reffen der Segel (verkleinern der Segelfläche). Spezielle Sicherheitsmanöver, wie z.B. aufschießen gegen den Wind, Kurs heimwärts nehmen oder ein Mann über Board Manöver können die Folge sein.

Denkbare Notfallsituationen wären unter anderem übermäßige Krängung, Energieknappheit an Board, Mann über Board, gefährliche Windverhältnisse oder übermäßig raue See.

Schutz gegen übermäßige Krängung und Kentern wird in der Erfindung weitgehend implizit im Verfahren zur Manövrierung gewährleistet.

6.5) Kommunikationskonzept

Das Gesamtsystem besteht aus drei untereinander kommunizierenden Komponenten: Segelboot, Visualisierungssoftware und Fernsteuerung. Es können sich von jeder Komponente auch mehrere Ausprägungen im System befinden.

Im Regelbetrieb sendet die Datenverarbeitungseinheit des Segelboots Sensorwerte an die Visualisierungssoftware, wo diese übersichtlich dargestellt werden und einer etwaigen Besatzung am Boot oder an Land einen ständigen Überblick über Position, Verhalten und Strategie des Systems gibt. Umgekehrt können bei Bedarf auch wichtige Instruktionen von der Visualisierungssoftware zum Segelboot übertragen werden, z.B. neue Zielkoordinaten oder die Anweisung für eine Kursänderung.

Zusätzlich kann über eine Fernsteuerung in die Steuerung des Bootes eingegriffen werden. Es werden dafür die gewünschte Ruder- und Segelstellung, sowie andere Aktorenwerte (z.B. Beleuchtung, akustische Warnsignale, etc.) in Echtzeit zum Boot übertragen. Um eine komfortable Steuerung auch bei schlechter Sicht zum Boot zu ermöglichen, werden

Sensorwerte (z. B. Krängung und scheinbare Windrichtung) in Echtzeit vom Boot zur Fernsteuerung übertragen und dort optisch dargestellt.

Das System bedient sich verschiedener Kommunikationskanäle zwischen Boot und Land. Da jede Variante spezifische Vor- und Nachteile aufweist, wird automatisch zwischen den Systemen umgeschaltet werden, und so immer der optimale Kommunikationskanal aktiviert. Prinzipiell sind alle Datenkommunikationstechnologien einsetzbar, die zumindest zwei der kommunizierenden Komponenten verbinden können.

Mögliche Kommunikationskanäle sind z.B.:

- Wireless LAN
- Datendienste von Mobilfunkbetreibern (z.B. GPRS, UMTS)
- Satellitenkommunikation

Für die Auswahl des jeweils geeignetsten Kommunikationskanals sind Kosten (Grund-, Verbindungs- und Datentransferentgelte), verfügbare Bandbreite, Übertragungslatenz und Reichweite bzw. Netzabdeckung maßgeblich.

In periodischen Abständen wird die Verfügbarkeit aller drei Technologien überprüft und bei Bedarf eine entsprechende Umschaltung vorgenommen. Ist temporär überhaupt keine Kommunikationsmöglichkeit mit dem Segelboot vorhanden, so verrichtet das Boot weiterhin vollautonom seinen Task. Die Funktionalität des Bootes ist völlig unabhängig von dem Datenlink. Es sind lediglich während dieses Zeitraums an Land keine Informationen über den Zustand des Bootes verfügbar und es kann auch nicht in die autonome Strategie des Bootes eingegriffen werden.

6.6) Symbolverzeichnis

B	Bootsposition	m
f_d	Abdriftfaktor	-
$f_{polar}()$	Geschwindigkeitsfunktion des Bootes (Polardiagramm)	$m \cdot s^{-1}$
n	Hysteresefaktor	-
$\vec{n}_0$	Normalvektor zur Bootsrichtung	-
p_c	Aufkreuzparameter	m
T	Zielposition	m
$\vec{t}$	Bootsvektor zum Ziel	m
v_t	Zieleffizienz	-

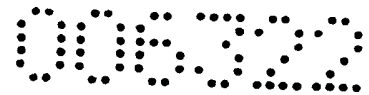
$\bar{v}'_d$	winddriftkorrigierte Sollrichtung	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
v'_t	Zieleffizienz für Alternativkurs	-
$\bar{v}_b$	Bootsgeschwindigkeitsvektor	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
$\bar{v}'_b$	Bootsgeschwindigkeitsvektor für Alternativkurs	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
$\bar{v}_d$	Abdriftvektor	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
$\bar{w}$	Windgeschwindigkeitsvektor	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Greek symbols:

α	Winkel des wahren Windes relative zur Bootsrichtung
φ	Winkel, generell

Subscripts:

0	Einheitsvektor
abs	in Bezug auf wahren Wind (absoluten Wind)
b	in Bezug auf das Boot
d	referring to leeway (drift)
hyp	hypothetische Bootsgeschwindigkeit
inv	entgegengesetzte Richtung
L	links
max	in Bezug auf die maximale Zieleffizienz
new	neue Bootsrichtung
R	rechts
t	in Bezug auf die Zielposition
opt	Optimum



Patentansprüche

1. Verfahren zur Navigation und Manövrierung eines vom Wind getriebenen Wasserfahrzeugs (Segelboot), das über Sensoren zur Messung der scheinbaren Windrichtung und der Windgeschwindigkeit, der Ausrichtung des Segelbootes, der geographischen Position des Segelbootes, der Geschwindigkeit des Segelbootes, eine Datenverarbeitungseinheit zur Verarbeitung der Sensorwerte sowie über eine mit der Datenverarbeitungseinheit verbundene Vorrichtung zur Beeinflussung der Ruder- und der Segelstellung verfügt, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vom Boot zum effizienten Erreichen eines als geographische Position definierten Zieles einzuschlagende Kompassrichtung als die Richtung mit der im Rahmen einer vorgebbaren Hysteresebedingung maximalen Zieleffizienz unter Verwendung eines Geschwindigkeitspolardiagramms des Segelbootes oder eines vereinfachten Geschwindigkeitspolardiagramms ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Hysteresefaktor (n) als Funktion des Abstandes zum Ziel Weise bestimmt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die seitliche Winddrift bei der Bestimmung der Zieleffizienz berücksichtigt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** gegebenenfalls vorherrschende Strömungen im befahrenen Gewässer bei der Bestimmung der Zieleffizienz berücksichtigt werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** unbewegte oder bewegte Hindernisse in relevantem Abstand zum Boot im Arbeits-Polardiagramm berücksichtigt werden und das Segelboot dadurch diesen Hindernissen zuverlässig ausweicht und selbst unter Maßgabe der eingeschränkten Möglichkeiten eine effiziente Route zum Ziel wählt.
6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5, welche Sensoren zur Messung der scheinbaren Windrichtung und der Windgeschwindigkeit, der Ausrichtung eines Segelbootes, einer geographischen Position des Segelbootes, einer Geschwindigkeit des Segelbootes, eine Datenverarbeitungseinheit zur Verarbeitung der Sensorwerte sowie eine mit der Datenverarbeitungseinheit verbundene Vorrichtung zur Beeinflussung der Ruder- und der Segelstellung aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung dazu eingerichtet ist, die vom Boot zum effizienten Erreichen eines als geographische Position definierten Zieles einzuschlagende Kompassrichtung als die Richtung mit der im Rahmen einer vorgebbaren Hysteresebedingung maximalen, Zieleffizienz unter Verwendung eines Geschwindigkeitspolardiagramms des Segelbootes oder eines vereinfachten Geschwindigkeitspolardiagramms zu ermitteln.

7. Verfahren zur Manövrierung eines vom Wind getriebenen Wasserfahrzeugs (Segelboot), das über Sensoren zur Messung der Krängung und der scheinbaren Windrichtung und Windgeschwindigkeit, einer Datenverarbeitungseinheit zur Verarbeitung der Sensorwerte sowie über eine mit der Datenverarbeitungseinheit verbundene automatische Ansteuerung der Segel verfügt, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwei parallel arbeitende Regelmechanismen Segel bzw. Ruder so steuern, dass auf einem beliebigen, vorgegebenen, fahrbaren Kurs zum Wind effizient Vortrieb für das Boot erreicht wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelmechanismen unabhängig voneinander arbeiten und auch einzeln anwendbar sind.
9. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelmechanismen unter Verwendung von Fuzzy-Inferenzsystemen implementiert sind.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Ruderstellung auf Basis einer Abweichung der aktuellen und gewünschten Bootsausrichtung sowie einer Drehgeschwindigkeit und/oder Fahrtgeschwindigkeit des Bootes bestimmt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Segelstellung auf Basis der zum jeweiligen Zeitpunkt gemessenen Krängung und dem scheinbaren Wind bestimmt wird.
12. Verfahren und Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Bestimmung der Segelstellung der Abstand zwischen aktueller und gewünschter Krängung maßgeblich ist, wobei die gewünschte Krängung von den aktuellen Windverhältnissen abhängt.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sowohl bei Halten eines Kurses, als auch während der Manöver Wende und Halse anwendbar ist.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** es durch eine Hysterese ungewolltes Halsen vermeidet.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** es einen aktiven Schutzmechanismus vor übermäßiger Krängung und damit vor dem Kentern des Bootes beinhaltet.

16. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 7 bis 15, welche über Sensoren zur Messung der Krängung und der scheinbaren Windrichtung und Windgeschwindigkeit, einer Datenverarbeitungseinheit zur Verarbeitung der Sensorwerte sowie über eine mit der Datenverarbeitungseinheit verbundene automatische Ansteuerung der Segel verfügt, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung zwei parallel arbeitende Regelmechanismen zur Steuerung der Segel bzw. Ruder aufweist, wobei mittels der Regelmechanismen ein auf einem beliebigen, vorgegebenen, fahrbaren Kurs zum Wind effizienter Vortrieb für das Boot erreichbar ist.
17. Verfahren zur Navigation und Manövrierung eines vom Wind getriebenen Wasserfahrzeugs (Segelboot), das über Sensoren zur Messung der scheinbaren Windrichtung und der Windgeschwindigkeit, der Ausrichtung des Segelbootes, der geographischen Position des Segelbootes, der Geschwindigkeit des Segelbootes, eine Datenverarbeitungseinheit zur Verarbeitung der Sensorwerte sowie über eine mit der Datenverarbeitungseinheit verbundene Vorrichtung zur Beeinflussung der Ruder- und der Segelstellung verfügt, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren ein integriertes Verfahren ist, das intern in mehrere parallel ausgeführte Bereiche untergliedert ist, welche einander in einer definierten Reihenfolge – von abstrakten, strategischen Aufgaben hin zu konkreten, lokalen Aufgaben – beeinflussen, indem der jeweilige Vorgängerbereich seinem Nachfolgerbereich Vorgaben macht, die den Nachfolgerbereich in der Erfüllung seiner Aufgabe maßgeblich beeinflussen.
18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorgaben des Vorgängerbereichs nicht oder nur teilweise erfüllt werden, falls diese aus Sicht des Nachfolgerbereichs aufgrund dessen tendenziell detaillierterer lokaler Informationen undurchführbar, nicht sinnvoll oder gefährlich erscheinen.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Aufteilung in die Bereiche Zieldefinition, Navigation, Manövrierung und Notfallbehandlung erfolgt, wobei die Vorgaben in der genannten Reihenfolge zum Nachfolgerbereich weitergegeben werden.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** einzelne oder alle Bereiche durch Software automatisch oder manuell durch einen Segler durchgeführt werden können.

Zeichnungen

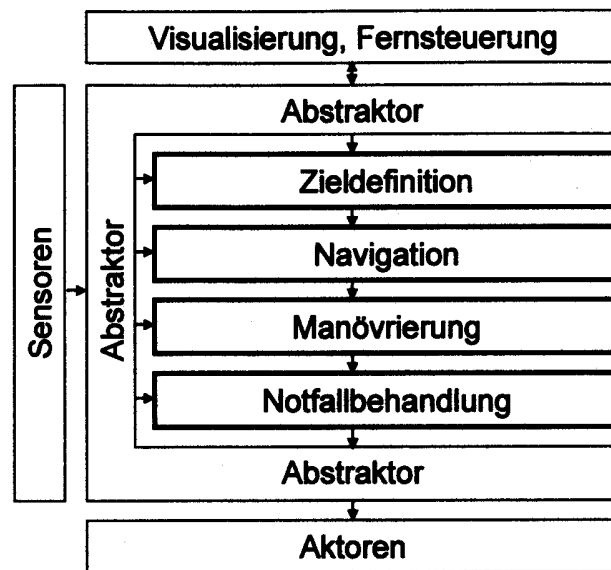


Fig. 1

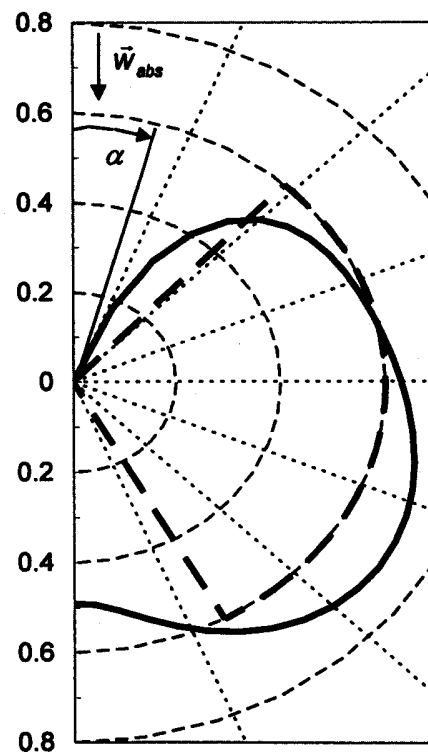


Fig. 2

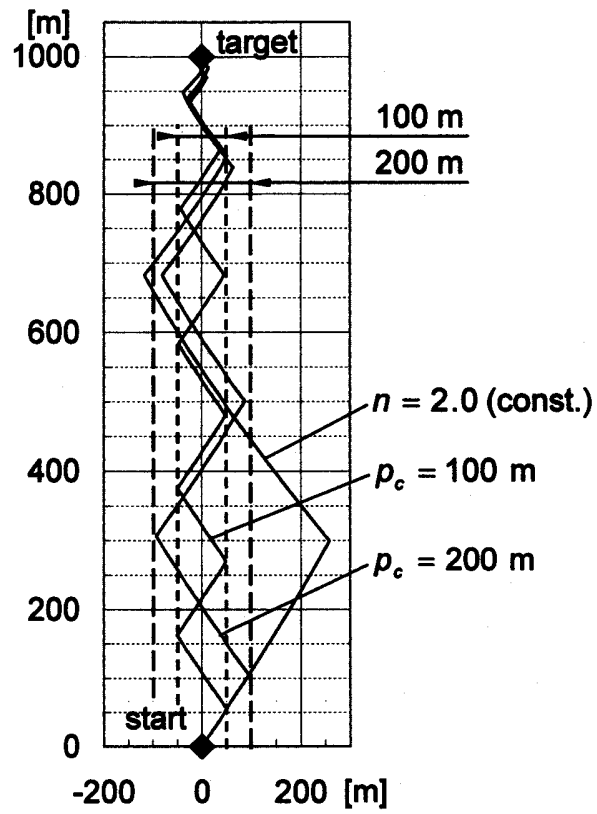
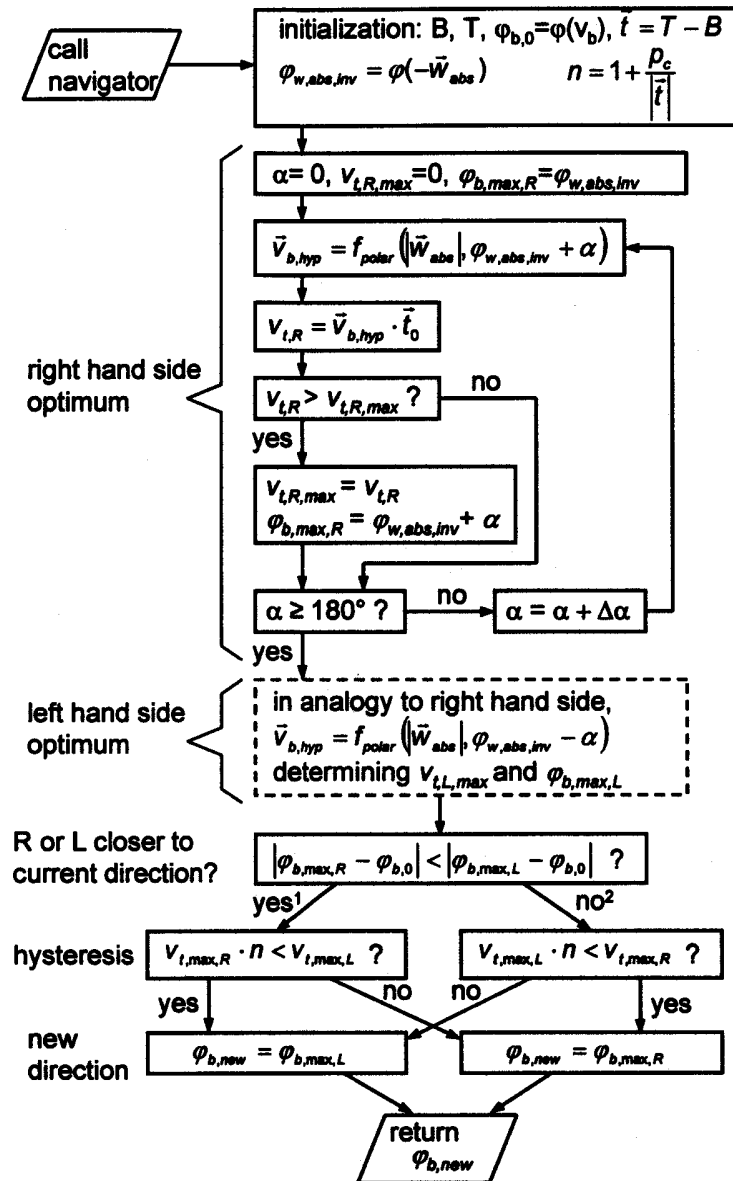


Fig. 3



¹) right hand side optimum closer to current boat direction

²) left hand side optimum closer to current boat direction

Fig. 4

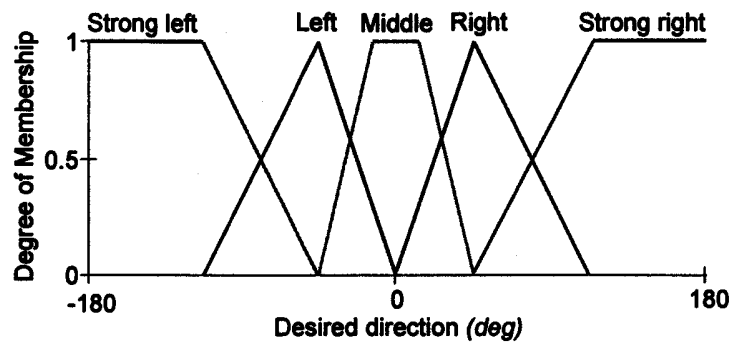


Fig. 7

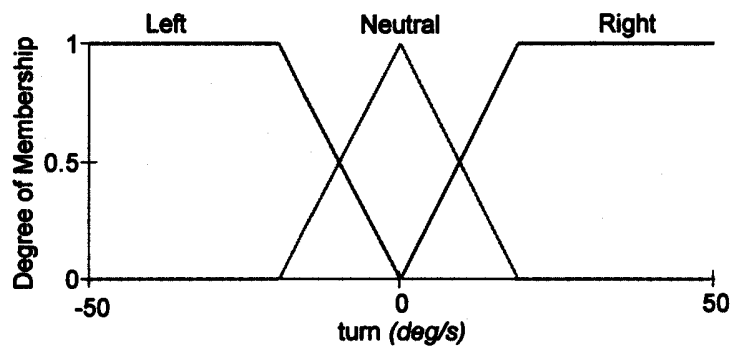


Fig. 8.

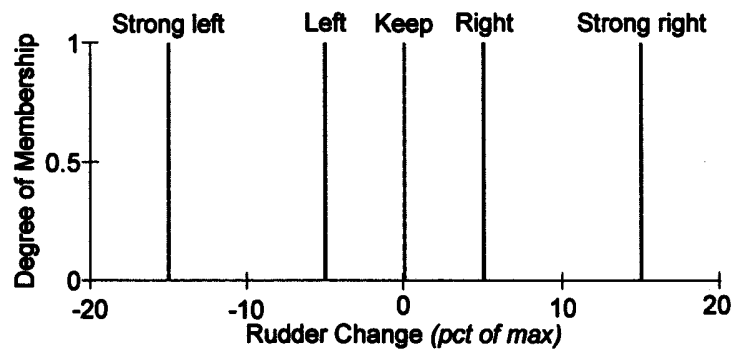


Fig. 9

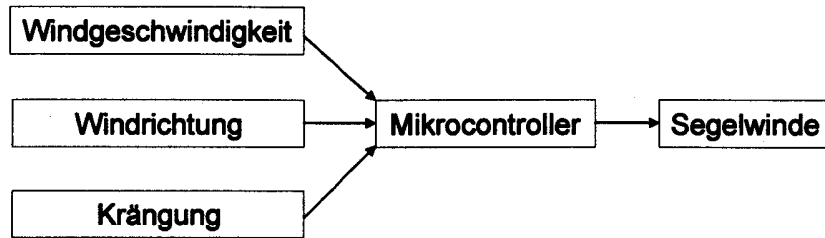


Fig. 10

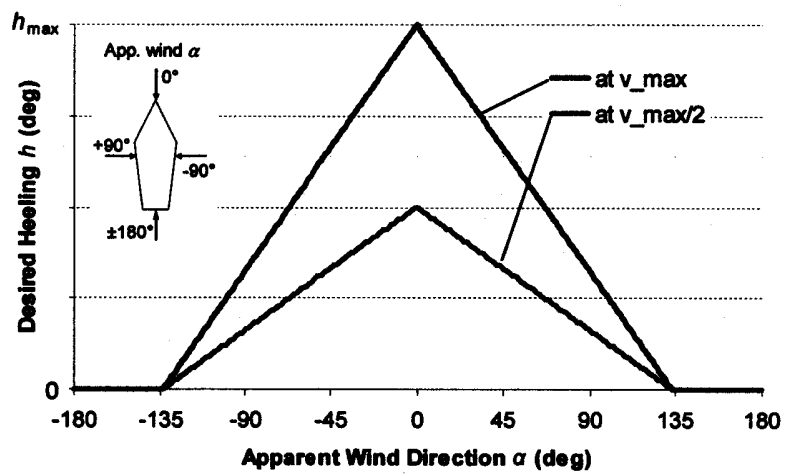


Fig. 11

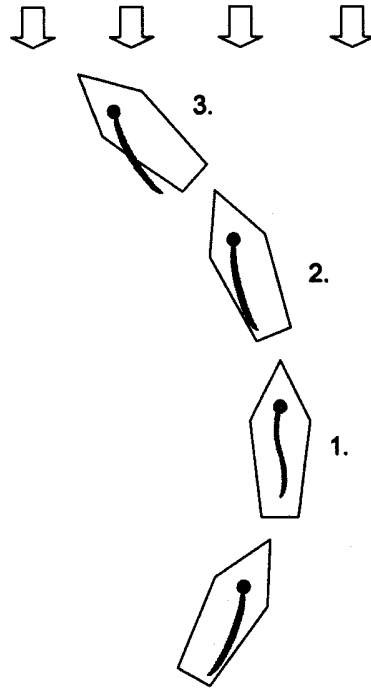


Fig. 12

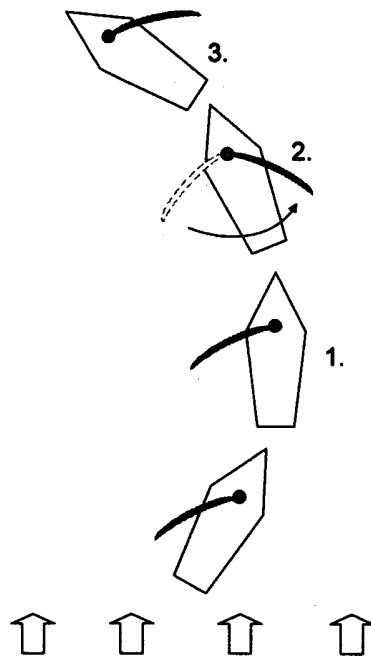
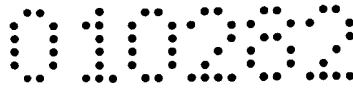
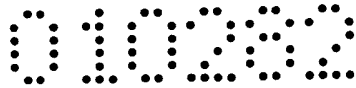


Fig. 13



Patentansprüche

1. Verfahren zur selbständigen Navigation und Manövrierung eines vom Wind getriebenen Wasserfahrzeugs (Segelboot), das über Sensoren zur Messung der scheinbaren Windrichtung und der Windgeschwindigkeit, der Ausrichtung des Segelbootes, der geographischen Position des Segelbootes, der Geschwindigkeit des Segelbootes, eine Datenverarbeitungseinheit zur Verarbeitung der Sensorwerte sowie über eine mit der Datenverarbeitungseinheit verbundene Vorrichtung zur Beeinflussung der Ruder- und der Segelstellung verfügt, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vom Boot zum effizienten Erreichen eines als geographische Position definierten Zieles einzuschlagende Kompassrichtung als die Richtung mit der im Rahmen einer vorgebbaren Hysteresebedingung maximalen Zieleffizienz unter Verwendung eines Geschwindigkeitspolardiagramms des Segelbootes oder eines vereinfachten Geschwindigkeitspolardiagramms ermittelt wird, wobei der jeweilige Momentankurs beibehalten wird, außer einer der Ränder eines fahrbaren Bereiches liefert eine Zieleffizienz, die um einen Hysteresefaktor (n) höher ist, als die des Momentankurses, wobei in dem Fall, das ein Alternativkurs eine ausreichend hohe Zieleffizienz liefert, dieser als Soll-Ausrichtung des Bootes ausgegeben wird, wobei der Hysteresefaktor (n) als Funktion des Abstandes zum Ziel bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die seitliche Winddrift bei der Bestimmung der Zieleffizienz berücksichtigt wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** gegebenenfalls vorherrschende Strömungen im befahrenen Gewässer bei der Bestimmung der Zieleffizienz berücksichtigt werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** unbewegte oder bewegte Hindernisse in relevantem Abstand zum Boot im Arbeits-Polardiagramm berücksichtigt werden und das Segelboot dadurch diesen Hindernissen zuverlässig ausweicht und selbst unter Maßgabe der eingeschränkten Möglichkeiten eine effiziente Route zum Ziel wählt.
5. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4, welche Sensoren zur Messung der scheinbaren Windrichtung und der Windgeschwindigkeit, der Ausrichtung eines Segelbootes, einer geographischen Position des Segelbootes, einer Geschwindigkeit des Segelbootes, eine Datenverarbeitungseinheit zur Verarbeitung der Sensorwerte sowie eine mit der Datenverarbeitungseinheit verbundene Vorrichtung zur Beeinflussung der Ruder- und der Segelstellung aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung dazu eingerichtet ist, die vom Boot zum effizienten Erreichen eines als geographische Position definierten Zieles einzuschlagende Kompassrichtung als die Richtung mit der



im Rahmen einer vorgebbaren Hysteresebedingung maximalen, Zieleffizienz unter Verwendung eines Geschwindigkeitspolardiagramms des Segelbootes oder eines vereinfachten Geschwindigkeitspolardiagramms zu ermitteln.

6. Verfahren zur Manövrierung eines vom Wind getriebenen Wasserfahrzeugs (Segelboot), das über Sensoren zur Messung der Krängung und der scheinbaren Windrichtung und Windgeschwindigkeit, einer Datenverarbeitungseinheit zur Verarbeitung der Sensorwerte sowie über eine mit der Datenverarbeitungseinheit verbundene automatische Ansteuerung der Segel verfügt, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Segelstellung auf Basis der zum jeweiligen Zeitpunkt gemessenen Krängung und dem scheinbaren Wind bestimmt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Bestimmung der Segelstellung der Abstand zwischen aktueller und gewünschter Krängung maßgeblich ist, wobei die gewünschte Krängung von den aktuellen Windverhältnissen abhängt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 7 **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Ruderstellung auf Basis einer Abweichung der aktuellen und gewünschten Bootsausrichtung sowie einer Drehgeschwindigkeit und Fahrtgeschwindigkeit des Bootes bestimmt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sowohl bei Halten eines Kurses, als auch während der Manöver Wende und Halse anwendbar ist.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** es durch eine Hysterese ungewolltes Halsen vermeidet.
11. Verfahren zur Navigation und Manövrierung eines vom Wind getriebenen Wasserfahrzeugs (Segelboot), das über Sensoren zur Messung der scheinbaren Windrichtung und der Windgeschwindigkeit, der Ausrichtung des Segelbootes, der geographischen Position des Segelbootes, der Geschwindigkeit des Segelbootes, eine Datenverarbeitungseinheit zur Verarbeitung der Sensorwerte sowie über eine mit der Datenverarbeitungseinheit verbundene Vorrichtung zur Beeinflussung der Ruder- und der Segelstellung verfügt, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren ein integriertes Verfahren ist, das intern in mehrere parallel ausgeführte Bereiche untergliedert ist, welche einander in einer definierten Reihenfolge – von abstrakten, strategischen Aufgaben hin zu konkreten, lokalen Aufgaben – beeinflussen, indem der jeweilige Vorgängerbereich seinem Nachfolgerbereich Vorgaben macht, die den Nachfolgerbereich in der Erfüllung seiner Aufgabe maßgeblich beeinflussen, wobei die Vorgaben des Vorgängerbereichs nicht oder nur teilweise erfüllt werden, falls diese aus Sicht des Nachfolgerbereichs aufgrund dessen tendenziell detaillierterer lokaler Informationen undurchführbar, nicht sinnvoll oder gefährlich erscheinen.



12. Verfahren nach Anspruche 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Aufteilung in die Bereiche Zieldefinition, Navigation, Manövrierung und Notfallbehandlung erfolgt, wobei die Vorgaben in der genannten Reihenfolge zum Nachfolgerbereich weitergegeben werden.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** einzelne oder alle Bereiche durch Software automatisch oder manuell durch einen Segler durchgeführt werden können.
14. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 oder 6 bis 13, welche über Sensoren zur Messung der Krängung und der scheinbaren Windrichtung und Windgeschwindigkeit, einer Datenverarbeitungseinheit zur Verarbeitung der Sensorwerte sowie über eine mit der Datenverarbeitungseinheit verbundene automatische Ansteuerung der Segel verfügt, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung zwei parallel arbeitende Regelmechanismen zur Steuerung der Segel bzw. Ruder aufweist, wobei mittels der Regelmechanismen ein auf einem beliebigen, vorgegebenen, fahrbaren Kurs zum Wind effizienter Vortrieb für das Boot erreichbar ist.



Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC ⁸ : G05D 1/02 (2006.01); G06F 15/50 (2006.01)
Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß ECLA: G05D1/02C; G05D1/08C; G01C21/20A; G06F15/50
Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation): G05D, G06F, G01C
Konsultierte Online-Datenbank: EPODOC, WPI, TXTnn, INSPEC, NONPAT
Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 29. Mai 2007 eingereichten Ansprüchen erstellt.

Kategorie ¹⁾	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	US 6 308 649 B1 (GEDEON) 30. Oktober 2001 (30.10.2001) <i>Das ganze Dokument, insbes. Zusammenfassung; Figuren 5, 8 und zugehörige Beschreibung, Summary of the Invention; Beschreibung der Sensoren 6 und 12; Spalte 11, Zeile 56 - Spalte 12, Zeile 9; Displayanzeigen 26, 27 und 32; Spalte 15, Zeile 38 - Spalte 16, Zeile 2; Ansprüche.</i>	1, 3, 4, 6, 15, 17 - 20
Y	--	7 - 13, 16
X	US 5 191 341 A (GOUART et al.) 2. März 1993 (02.03.1993) <i>Zusammenfassung; Figuren 1, 5a, 7a, 9, 12b, 13 und zugehörige Beschreibungen; Ansprüche.</i>	1, 3 - 6
A	<i>Das ganze Dokument.</i>	7 - 20
Y	WARDEN H. 'A control system model for autonomous sailboard navigation.' In: IEEE Proceedings of SOUTHEASTCON '91, 7.-10. April 1991. Proceedings of the Southeast Conference. New York: IEEE, 1991, Seiten 944 - 947. ISBN 0-7803-0033-5, XP010045044. <i>Das ganze Dokument, insbes. Seite 945, erster Absatz; Figur 4.</i>	7 - 13, 16
A	US 3 771 483 A (BOND) 13. November 1973 (13.11.1973) <i>Das ganze Dokument.</i>	1 - 20

Datum der Beendigung der Recherche:
17. März 2008

☐ Fortsetzung siehe Folgeblatt

Prüfer(in):
Dipl.-Ing. WALTER

¹⁾ Kategorien der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.

- A** Veröffentlichung, die den **allgemeinen Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das **von Bedeutung** ist (Kategorien X oder Y), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie X), aus dem ein **älteres Recht** hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.