



(10) **DE 10 2017 200 468 A1** 2018.07.12

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2017 200 468.1**

(22) Anmeldetag: **12.01.2017**

(43) Offenlegungstag: **12.07.2018**

(51) Int Cl.: **B63B 9/08 (2006.01)**

B63B 39/00 (2006.01)

B63G 8/00 (2006.01)

(71) Anmelder:

**thyssenkrupp AG, 45143 Essen, DE;
ThyssenKrupp Marine Systems GmbH, 24143
Kiel, DE**

(72) Erfinder:

**Bohlmann, Hans Jürgen, Dr., 23617 Stockelsdorf,
DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US 3 052 120 A

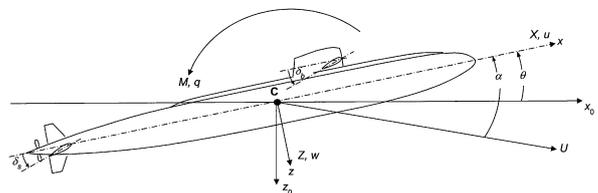
**Hans Jürgen Bohlmann: Berechnung
hydrodynamischer Koeffizienten von Ubooten
zur Vorhersage des Bewegungsverhaltens.
In: Technische Universität Hamburg-Harburg.
D-21073 Hamburg: Schriftreihe Schiffsbau.
513. Hamburg, 31.12.1990. Seiten 1, 2, 16, 17. -
Firmenschrift. <http://www.tuhh.de/vss> [abgerufen
am 11.10.2017]**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Bestimmung von hydrodynamischen Koeffizienten bei Unterseebooten**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von hydrodynamischen Koeffizienten bei Unterseebooten durch beschleunigungsfreie Fahrten.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von hydrodynamischen Koeffizienten bei Unterseebooten.

[0002] Bei stationärer Fahrt eines Unterseeboots ist insbesondere die auf das Boot wirkende Normalkraft gleich null. Diese wird durch die folgende Gleichung beschrieben:

$$Z'_* + Z'_W \cdot \tan(\alpha) + Z'_{|W|} \cdot |\tan(\alpha)| + Z'_{W|W|} \cdot \tan(\alpha) \cdot |\tan(\alpha)| + Z'_{WW} \cdot \tan^2(\alpha) + f_x \cdot Z'_{\delta_s} \cdot \delta_s + Z'_{\delta_b} \cdot \delta_b + \left(f_x \cdot Z'_{\delta_s \eta} \cdot \delta_s + Z'_{W\eta} \cdot \tan(\alpha) + Z'_{W|W|\eta} \cdot \tan(\alpha) \cdot |\tan(\alpha)| \right) \cdot (\eta \cdot C - 1) + \frac{W' - B'}{u'^2} \cdot \cos(\theta) \cdot \cos(\phi) = 0$$

[0003] Ebenso gilt für die bei stationärer Fahrt am Boot, dass die angreifenden Trimmmomente gleich null sind. Dieses beschreibt die folgende Gleichung:

$$M'_* + M'_W \cdot \tan(\alpha) + M'_{|W|} \cdot |\tan(\alpha)| + M'_{W|W|} \cdot \tan(\alpha) \cdot |\tan(\alpha)| + M'_{WW} \cdot \tan^2(\alpha) + f_x \cdot M'_{\delta_s} \cdot \delta_s + M'_{\delta_b} \cdot \delta_b + \left(f_x \cdot M'_{\delta_s \eta} \cdot \delta_s + M'_{W\eta} \cdot \tan(\alpha) + M'_{W|W|\eta} \cdot \tan(\alpha) \cdot |\tan(\alpha)| \right) \cdot (\eta \cdot C - 1) + \frac{x'_G \cdot W' - x'_B \cdot B'}{u'^2} \cdot \cos(\theta) \cdot \cos(\phi) + \frac{x'_G \cdot W' - x'_B \cdot B'}{u'^2} \cdot \sin(\theta) = 0$$

[0004] Die z-Richtung ist die Richtung senkrecht zur Längsachse des Unterseebootes, wobei positive Werte nach unten zeigen.

[0005] Die y-Richtung ist die Richtung quer zur Längsachse des Unterseebootes, wobei positive Werte nach steuerbord zeigen.

[0006] Hierbei ist:

- δ_s der hintere Tiefenruderwinkel,
- δ_b der vordere Tiefenruderwinkel,
- α der Anstellwinkel des Unterseebootes,
- β der Driftwinkel des Unterseebootes,
- f_x ein Faktor für Ruder, bei X-Ruder $f_x = 4$, bei Kreuzruder $f_x = 1$,

η das Verhältnis $\frac{u_c}{u}$,

W das Gewicht des Unterseebootes einschließlich gefluteter Freiräume,

$W' = \frac{W}{\rho \cdot V}$ ein dimensionsloser Wert,

B der Formauftrieb des Unterseebootes,

$B' = \frac{B}{\rho \cdot V}$ ein dimensionsloser Wert,

C der Ursprung des bootsfesten Koordinatensystems,

L die Länge des Unterseebootes,

ρ die Dicht des umgebenden Wassers,

g die Erdbeschleunigung,

U die Geschwindigkeit des Unterseebootes bei Fahrt durch das Wasser,

u die Geschwindigkeitskomponente in x-Richtung,

\bar{U}	die Geschwindigkeit des Unterseeboots bei stationärer Fahrt durch das Wasser für einen frei wählbaren Referenzfahrtzustand,
u_c	die Propulsionsgeschwindigkeit, welche der Geschwindigkeit u entspricht, die das Boot bei der momentanen Propellerdrehzahl bei Vorfahrt auf ebenem Kiel mit Nullruderlagen erreichen würde, $u'_c = \frac{u}{U}$ = ein dimensionsloser Wert,
v	die Geschwindigkeitskomponente in y-Richtung quer zum Unterseeboot,
$v' = \frac{v}{\bar{U}}$	ein dimensionsloser Wert,
w	die Geschwindigkeitskomponente in z-Richtung normal zum Unterseeboot,
$w' = \frac{w}{\bar{U}}$	ein dimensionsloser Wert,
Z	die Hydrodynamische Kraft in z-Richtung,
Z_*	der Koeffizient zur Beschreibung der Normalkraft Z als Funktion von u^2 ,
$Z'_* = \frac{Z}{\rho \bar{U}^2}$	ein dimensionsloser Wert,
Z_w	der Koeffizient zur Beschreibung der Normalkraft Z als Funktion von dem Produkt $u \cdot w$,
$Z'_w = \frac{Z_w}{\rho \bar{U}^2}$	ein dimensionsloser Wert,
$Z_{ w }$	der Koeffizient zur Beschreibung der Normalkraft Z als Funktion von dem Produkt $u \cdot w $,
$Z'_{ w } = \frac{Z_{ w }}{\rho \bar{U}^2}$	ein dimensionsloser Wert,
$Z_{w w }$	der Koeffizient zur Beschreibung der Normalkraft Z als Funktion von $w \cdot \sqrt{v^2 + w^2}$,
$Z'_{w w } = \frac{Z_{w w }}{\rho \bar{U}^2}$	ein dimensionsloser Wert,
Z_{ww}	der Koeffizient zur Beschreibung der Normalkraft Z als Funktion von $ w \cdot \sqrt{v^2 + w^2}$,
$Z'_{ww} = \frac{Z_{ww}}{\rho \bar{U}^2}$	ein dimensionsloser Wert,
$Z_{w w \eta}$	der Koeffizient zur Beschreibung der Normalkraft Z als Funktion von $w \cdot \sqrt{v^2 + w^2} \cdot (\eta \cdot C - 1)$,
$Z'_{w w \eta} = \frac{Z_{w w \eta}}{\rho \bar{U}^2}$	ein dimensionsloser Wert,
Z_{δ_s}	der Koeffizient zur Beschreibung der Normalkraft Z als Funktion von $u^2 \cdot \delta_s$,
$Z'_{\delta_s} = \frac{Z_{\delta_s}}{\rho \bar{U}^2}$	ein dimensionsloser Wert,
Z_{δ_b}	der Koeffizient zur Beschreibung der Normalkraft Z als Funktion von $u^2 \cdot \delta_b$,
$Z'_{\delta_b} = \frac{Z_{\delta_b}}{\rho \bar{U}^2}$	ein dimensionsloser Wert,
$Z_{\delta_s \eta}$	der Koeffizient zur Beschreibung der Normalkraft Z als Funktion von $u^2 \cdot \delta_s \cdot (\eta \cdot C - 1)$,
$Z'_{\delta_s \eta} = \frac{Z_{\delta_s \eta}}{\rho \bar{U}^2}$	ein dimensionsloser Wert,
M	das hydrodynamische Drehmoment um die y-Achse, auch Stampfmoment genannt,
M_*	der Koeffizient zur Beschreibung des Stampfmoments M ,
$M'_* = \frac{M}{\rho \bar{U}^2}$	ein dimensionsloser Wert,
M_w	der Koeffizient zur Beschreibung des Stampfmoments M als Funktion von $u \cdot w$,
$M'_w = \frac{M_w}{\rho \bar{U}^2}$	ein dimensionsloser Wert,
$M_{ w }$	der Koeffizient zur Beschreibung des Stampfmoments M als Funktion von $u \cdot w $,
$M'_{ w } = \frac{M_{ w }}{\rho \bar{U}^2}$	ein dimensionsloser Wert,

$M_{w w }$	der Koeffizient zur Beschreibung des Stampfmoments M als Funktion von $w \cdot \sqrt{v^2 + w^2}$,
$M'_{w w } = \frac{M_{w w }}{\frac{\rho}{2} v^3}$	ein dimensionsloser Wert,
M_{ww}	der Koeffizient zur Beschreibung des Stampfmoments M als Funktion von $ w \cdot \sqrt{v^2 + w^2}$,
$M'_{ww} = \frac{M_{ww}}{\frac{\rho}{2} v^3}$	ein dimensionsloser Wert,
$M_{w w \eta}$	der Koeffizient zur Beschreibung des Stampfmoments M als Funktion von $w \cdot \sqrt{v^2 + w^2} \cdot (\eta \cdot C - 1)$,
$M'_{w w \eta} = \frac{M_{w w \eta}}{\frac{\rho}{2} v^3}$	ein dimensionsloser Wert,
$M_{\delta s}$	der Koeffizient zur Beschreibung des Stampfmoments M als Funktion von $u^2 \cdot \delta^s$,
$M'_{\delta s} = \frac{M_{\delta s}}{\frac{\rho}{2} v^3}$	ein dimensionsloser Wert,
$M_{\delta b}$	der Koeffizient zur Beschreibung des Stampfmoments M als Funktion von $u^2 \cdot \delta^b$,
$M'_{\delta b} = \frac{M_{\delta b}}{\frac{\rho}{2} v^3}$	ein dimensionsloser Wert,
$M_{\delta s \eta}$	der Koeffizient zur Beschreibung des Stampfmoments M als Funktion von $u^2 \cdot \delta^s \cdot (\eta \cdot C - 1)$,
$M'_{\delta s \eta} = \frac{M_{\delta s \eta}}{\frac{\rho}{2} v^3}$	ein dimensionsloser Wert.

[0007] Diese hydrodynamischen Koeffizienten können theoretisch berechnet oder im Modellversuch experimentell bestimmt werden. Dieses ist jedoch extrem aufwändig und kann auch nicht präzise für die aktuelle Beladungssituation des Unterseeboots durchgeführt werden, sodass mit Näherungswerten gearbeitet werden muss.

[0008] Die exakte Kenntnis dieser Parameter erlaubt eine präzise Vorhersage des Bootsverhaltens. Somit können Manöver sehr präzise gesteuert werden, wenn diese Parameter exakt bekannt sind. Die berechneten oder im Modellversuch bestimmten hydrodynamischen Koeffizienten sind für eine präzise Vorhersage des Bootsverhaltens daher im Allgemeinen zu ungenau. Deshalb werden die hydrodynamischen Koeffizienten üblicher Weise durch Auswertung von Großausführungsversuchen verifiziert bzw. korrigiert, wobei die heute verwendeten Großausführungsversuchen jedoch nur aufwändige Näherungsverfahren darstellen.

[0009] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren bereitzustellen, mit dem diese hydrodynamischen Koeffizienten an einem realen Unterseeboot einfach und präzise messtechnisch erfasst oder bestimmt werden können.

[0010] Gelöst wird diese Aufgabe durch das Verfahren zur Bestimmung von hydrodynamischen Koeffizienten bei Unterseebooten mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen, der nachfolgenden Beschreibung sowie den Zeichnungen.

[0011] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Bestimmung von hydrodynamischen Koeffizienten bei Unterseebooten mit einem vorderen Tiefenruder und einem hinteren Tiefenruder weist die folgenden Schritte auf:

- beschleunigungsfreie Fahrt mit ebenem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer ersten ersten Geschwindigkeit und einer ersten ersten Trimmlage,
- beschleunigungsfreie Fahrt mit ebenem Kiel bei konstanter Tiefe und bei der ersten ersten Geschwindigkeit und einer zweiten ersten Trimmlage,
- beschleunigungsfreie Fahrt mit ebenem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer zweiten ersten Geschwindigkeit und der ersten ersten Trimmlage,
- beschleunigungsfreie Fahrt mit ebenem Kiel bei konstanter Tiefe und bei der zweiten ersten Geschwindigkeit und der zweiten ersten Trimmlage,
- beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer ersten zweiten Geschwindigkeit und einer ersten vorderen Tiefenruderlage und einer ersten Trimm-tankfüllung,
- beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei der ersten zweiten Geschwindigkeit und einer zweiten vorderen Tiefenruderlage und der ersten Trimm-tankfüllung,

- g) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei der ersten zweiten Geschwindigkeit und der ersten vorderen Tiefenruderlage und einer zweiten Trimmtankfüllung,
- h) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei der ersten zweiten Geschwindigkeit und der zweiten vorderen Tiefenruderlage und der zweiten Trimmtankfüllung,
- i) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer zweiten zweiten Geschwindigkeit und der ersten vorderen Tiefenruderlage und der ersten Trimmtankfüllung,
- j) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei der zweiten zweiten Geschwindigkeit und der zweiten vorderen Tiefenruderlage und der ersten Trimmtankfüllung,
- k) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei der zweiten zweiten Geschwindigkeit und der ersten vorderen Tiefenruderlage und der zweiten Trimmtankfüllung,
- l) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei der zweiten zweiten Geschwindigkeit und der zweiten vorderen Tiefenruderlage und der zweiten Trimmtankfüllung,
- m) Ermitteln von hydrodynamischen Koeffizienten aus den in den vorhergehenden Schritten ermittelten Messgrößen,

wobei die Schritte a) bis l) in beliebiger Reihenfolge durchgeführt werden. Der Schritt m) wird nach den Schritten a) bis l) durchgeführt.

[0012] Unter einem ebenen Kiel ist insbesondere ein Stampfwinkel θ des Unterseeboots von $-1^\circ < \theta < +1^\circ$, bevorzugt von $-0,2^\circ < \theta < +0,2^\circ$, besonders bevorzugt von $-0,05^\circ < \theta < +0,05^\circ$ zu verstehen. Der Stampfwinkel ist der Winkel zwischen der Längsachse des Unterseeboots und der Projektion der Längsachse des Unterseeboots in die Ebene und gibt somit die Neigung in z-Richtung wieder.

[0013] Unter einem schrägem Kiel ist ein insbesondere Stampfwinkel θ des Unterseeboots von $|\theta| > 0,5^\circ$, bevorzugt von $|\theta| > 1^\circ$, besonders bevorzugt von $|\theta| > 2^\circ$ zu verstehen.

[0014] Unter beschleunigungsfreier Fahrt wird ein Betriebsmodus verstanden, bei dem sich das Boot mit konstanter Geschwindigkeit bewegt, wobei konstant als konstant im Rahmen der Erfassungsgenauigkeit und Regelgenauigkeit anzusehen ist.

[0015] Da die Fahrt bei konstanter Tiefe erfolgt, kompensieren sich die vertikal verlaufende Kräfte, also die Gravitations- oder die Auftriebsbeschleunigung, sodass es zu keinem Auf- oder Abtrieb kommt.

[0016] Bei einer beschleunigungsfreien Fahrt gleichen sich die Kräfte aus. Somit wirkt keine resultierende Kraft auf das Unterseeboot. Es gilt somit, dass die Summe aller wirkenden Kräfte null ist. Des Weiteren gilt, dass auch die Summe aller Kraftveränderungen zwischen zwei beschleunigungsfreien Fahrten gleich null sein muss. Die absolute Geschwindigkeit in horizontaler Richtung ist bei Fahrt definitionsgemäß größer null. Aus technischen Gründen sind sehr geringe Geschwindigkeiten, insbesondere kleiner 2 kn, ganz besonders kleiner 1 kn, nicht vorteilhaft.

[0017] Um die Messwerte sinnvoll zu indizieren, werden die verschiedenen ersten Geschwindigkeiten und zweiten Geschwindigkeiten mit dem Index i bezeichnet. So ist $i = 1$ für die erste erste Geschwindigkeit und die erste zweite Geschwindigkeit und $i = 2$ für die zweite erste Geschwindigkeit und die zweite zweite Geschwindigkeit.

[0018] Als weiter Index wird k verwendet, um die Trimm- und Gewichtszustände zu unterscheiden. So ist $k = 1$ für die erste erste Trimmlage und die erste vordere Tiefenruderlage und $k = 2$ für die zweite erste Trimmlage und die zweite vordere Tiefenruderlage.

[0019] Die Messwerte werden getrennt für Fahrten bei ebenem Kiel und bei schrägem Kiel getrennt ausgewertet.

[0020] Beispielsweise zunächst werden die Messwerte für die Fahrten bei ebenem Kiel ausgewertet.

[0021] Zunächst werden die in den Schritten a) bis d) erhaltenen Messwerte als Funktion von $\frac{1}{u_{ki}^2}$ durch Berechnung von Ausgleichsgeraden ausgewertet. Die Ausgleichsgeraden ergeben als Grenzwerte für $u \rightarrow \infty$ die hinteren Tiefenruderwinkel δ_{sn} und vorderen Tiefenruderwinkel δ_{bn} für die sogenannte auftrieb- und momentfreie Fahrt. Es werden hierbei nur die Grenzwerte ausgewertet.

$$\delta_{ski} = \delta_{sn} - \frac{g \cdot L}{u_{ki}^2} \cos(\phi_{ki}) \frac{(x'_{CT} - x'_{\delta b}) \cdot V'_{CTki} + \Delta x'_{TT} \cdot V'_{TTki}}{f_x \cdot Z'_{\delta s} \cdot (x'_{\delta s} - x'_{\delta b})}$$

$$\delta_{bki} = \delta_{bn} + \frac{g \cdot L}{u_{ki}^2} \cos(\phi_{ki}) \frac{(x'_{CT} - x'_{\delta s}) \cdot V'_{CTki} + \Delta x'_{TT} \cdot V'_{TTki}}{Z'_{\delta s} \cdot (x'_{\delta s} - x'_{\delta b})}$$

[0022] Hierbei ist:

- x_{CT} die x-Koordinate des Schwerpunkts der Regelzelle,
- $x'_{CT} = \frac{x_{CT}}{L}$ ein dimensionsloser Wert,
- Δx_{TT} der positive Abstand des Schwerpunkts vom vorderen zum hinteren Trimmzellenvolumen,
- $\Delta x'_{TT} = \frac{\Delta x_{TT}}{L}$ ein dimensionsloser Wert,
- $x_{\delta s}$ die x-Koordinate des vorderen Tiefenruders,
- $x'_{\delta s} = \frac{x_{\delta s}}{L}$ ein dimensionsloser Wert,
- $x_{\delta b}$ die x-Koordinate des hinteren Tiefenruders,
- $x'_{\delta b} = \frac{x_{\delta b}}{L}$ ein dimensionsloser Wert,
- V_{CT} das Füllvolumen der Regelzelle,
- $V'_{CT} = \frac{V_{CT}}{\frac{1}{2}l^3}$ ein dimensionsloser Wert,
- V_{TT} die Trimmzellenfüllung, wobei das Trimmmoment $M_{TT} = -\rho \cdot \Delta x_{TT} \cdot V_{TT}$ ist,
- $V'_{TT} = \frac{V_{TT}}{\frac{1}{2}l^3}$ ein dimensionsloser Wert.

[0023] Wie bereits ausgeführt, werden die Ruderwinkel über $\frac{1}{u_{ki}^2}$ aufgetragen. Die Steigung dieser Geraden ist nicht relevant, entscheidend ist der für null und somit für u_{ki}^2 gegen unendlich extrapolierte Grenzwert. Die x-Koordinaten von Trimm- und Regelzellen und Ruderposition sind aus der Bootsgeometrie bekannt.

[0024] Durch Subtraktion der aus den Schritten a) bis d) ermittelten Werten bei verschiedenen Trimm- und Gewichtszuständen gemessenen Ruderwinkel gemäß

$$\Delta \delta_{si}(u_i) = \delta_{s2i}(u_i) - \delta_{s1i}(u_i)$$

und

$$\Delta \delta_{bi}(u_i) = \delta_{b2i}(u_i) - \delta_{b1i}(u_i)$$

werden die Werte

$$Z'_{\delta si} = -\frac{g \cdot L}{2} \left(\frac{\cos(\phi_{ki})}{u_{ki}^2} + \frac{\cos(\phi_{ki})}{u_{2i}^2} \right) \frac{(x'_{CT} - x'_{\delta b}) \cdot \Delta V'_{CT} + \Delta x'_{TT} \cdot \Delta V'_{TT}}{f_x \cdot \Delta \delta_{si} \cdot (x'_{\delta s} - x'_{\delta b})}$$

und

$$Z'_{\delta bi} = -\frac{g \cdot L}{2} \left(\frac{\cos(\phi_{ki})}{u_{ki}^2} + \frac{\cos(\phi_{ki})}{u_{2i}^2} \right) \frac{(x'_{CT} - x'_{\delta s}) \cdot \Delta V'_{CT} + \Delta x'_{TT} \cdot \Delta V'_{TT}}{f_x \cdot \Delta \delta_{bi} \cdot (x'_{\delta s} - x'_{\delta b})}$$

ermittelt. Die Koeffizienten $Z'_{\delta s}$ und $Z'_{\delta b}$ ergeben sich daraus als Mittelwerte.

[0025] Daraus ergeben sich dann die Koeffizienten zur Beschreibung des Stampfmoments:

$$M'_{\delta s} = -Z'_{\delta s} \cdot x'_{\delta s}$$

$$M'_{\delta b} = -Z'_{\delta b} \cdot x'_{\delta b}$$

sowie:

$$Z'_* = -f_x \cdot Z'_{\delta s} \cdot \delta_{sn} - Z'_{\delta b} \cdot \delta_{bn}$$

$$M'_* = -f_x \cdot M'_{\delta s} \cdot \delta_{sn} - Z'_{\delta b} \cdot \delta_{bn}$$

$$V'_{CTki} = -\frac{u_i^2}{g \cdot L} \cdot \frac{f_x \cdot Z'_{\delta s} \cdot (\delta_{ski} - \delta_{sn}) + Z'_{\delta b} \cdot (\delta_{bki} - \delta_{bn})}{\cos(\phi_{ki})}$$

$$V'_{TTki} = \frac{1}{\Delta x'_{TT}} \left(\frac{u_i^2}{g \cdot L} \cdot \frac{f_x \cdot M'_{\delta s} \cdot (\delta_{ski} - \delta_{sn}) + M'_{\delta b} \cdot (\delta_{bki} - \delta_{bn})}{\cos(\phi_{ki})} - x'_{CT} \cdot V'_{CTki} \right)$$

[0026] Die Füllvolumen der Regelzelle V_{CT1} und V_{CT2} und die Trimmzellenfüllungen V_{TT1} und V_{TT2} für Trimm- und Gewichtszustände des Unterseebootes, gekennzeichnet durch den Index $k=1$ und $k=2$ ergeben sich als Mittelwerte der V_{CT1i} , V_{CT2i} , V_{TT1i} bzw. V_{TT2i} Werte.

[0027] Insbesondere werden durch Auswertung der Versuchsreihe a) die Koeffizienten Z'_* , $Z'_{\delta s}$, $Z'_{\delta b}$, M'_* , $M'_{\delta s}$, und $M'_{\delta b}$, die Füllvolumen der Regelzelle V_{CT1} und V_{CT2} , die Trimmzellenfüllungen V_{TT1} und V_{TT2} und die Ruderwinkel δ_{sn} und δ_{bn} für auftrieb- und momentfreie Fahrt bestimmt.

[0028] Anschließend werden die in den Schritten e) bis l) ermittelten Messwerte für die Fahrten mit achter- oder vorlastig statisch vertrimmten Boot ausgewertet.

[0029] Hierbei gilt:

$$\left(\begin{array}{c} Z'_w \quad Z'_{w|w} \quad Z'_{\delta s\eta} \\ \left(\begin{array}{c} \tan(\theta_i) \\ \tan(\theta_i) |\tan(\theta_i)| \\ f_x \cdot (\eta_i \cdot C - 1) \cdot \delta_{si} \end{array} \right) \end{array} \right) = -\frac{g \cdot L \cdot V'_{CTi}}{u_i^2} \cdot \cos(\theta_i) \cdot \cos(\phi_i) - Z'_{\delta s} \cdot f_x \cdot (\delta_{si} - \delta_{sn}) - Z'_{\delta b} \cdot (\delta_{bi} - \delta_{bn})$$

$$\begin{pmatrix} M'_W & M'_{W|W} & M'_{\delta s \eta} & z'_{GB} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tan(\theta_i) \\ \tan(\theta_i) |\tan(\theta_i)| \\ f_x \cdot (\eta_i \cdot C - 1) \cdot \delta_{si} \\ - \frac{g \cdot L \cdot V'}{u_i^2} \cdot \sin(\theta_i) \end{pmatrix} = \frac{g \cdot L}{u_i^2} \cdot [(x'_{CT} \cdot V'_{CTi} + x'_{TT} \cdot V'_{TTi}) \cdot \cos(\theta_i) \cdot \cos(\phi_i) + z'_{CT} \cdot V'_{CTi} \cdot \sin(\theta_i)] - M'_{\delta s} \cdot f_x \cdot (\delta_{si} - \delta_{sn}) - M'_{\delta b} \cdot (\delta_{bi} - \delta_{bn})$$

[0030] Hierbei ist:

z_{GB} der Stabilitätshebelarm $z_{GB} = z_{Gn} - z_B$,

$z'_{GB} = \frac{z_{GB}}{L}$ ein dimensionsloser Wert,

z_{Gn} die z-Komponente des Gewichtsschwerpunkts des Bootes einschließlich gefluteter Freiräume für den Zustand der auftriebs- und momentfreien Fahrt,

z_B die z-Koordinate des Auftriebsschwerpunkts der Formverdrängung im bootsfesten Koordinatensystem.

[0031] Die Ermittlung erfolgt aus den gemessenen Daten mittels multilinearer Regression unter Verwendung der bereits aus a) bekannten Größen.

[0032] Insbesondere werden hierbei die Koeffizienten Z'_W , $Z'_{W|W}$, $Z'_{\delta s \eta}$, M'_W , $M'_{W|W}$, und $M'_{\delta s \eta}$ und der Stabilitätshebelarm z_{GB} bestimmt.

[0033] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden zusätzlich zu den Schritten a) bis d) die folgenden Schritte ausgeführt:

n) beschleunigungsfreie Fahrt mit ebenem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer dritten ersten Geschwindigkeit und einer ersten ersten Trimmmlage,

o) beschleunigungsfreie Fahrt mit ebenem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer dritten ersten Geschwindigkeit und einer zweiten ersten Trimmmlage.

[0034] Besonders bevorzugt werden weitere erste Geschwindigkeiten, insbesondere insgesamt fünf bis acht erste Geschwindigkeiten, besonders bevorzugt sechs erste Geschwindigkeiten, verwendet.

[0035] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden zusätzlich zu den Schritten e) bis h) die folgenden Schritte ausgeführt:

p) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer dritten zweiten Geschwindigkeit und einer ersten vorderen Tiefenruderlage und einer ersten Trimm-tankfüllung,

q) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer dritten zweiten Geschwindigkeit und einer zweiten vorderen Tiefenruderlage und einer ersten Trimm-tankfüllung,

r) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer dritten zweiten Geschwindigkeit und einer ersten vorderen Tiefenruderlage und einer zweiten Trimm-tankfüllung,

s) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer dritten zweiten Geschwindigkeit und einer zweiten vorderen Tiefenruderlage und einer zweiten Trimm-tankfüllung.

[0036] Besonders bevorzugt werden weitere zweite Geschwindigkeiten, insbesondere insgesamt vier bis acht zweite Geschwindigkeiten, besonders bevorzugt fünf zweite Geschwindigkeiten, verwendet.

[0037] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung sind die ersten Geschwindigkeiten ausgewählt aus dem Bereich von 4 kn bis 25 kn, bevorzugt aus dem Bereich von 5 kn bis 20 kn, besonders bevorzugt aus dem Bereich von 6 kn bis 15 kn.

[0038] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung sind die zweiten Geschwindigkeiten ausgewählt aus dem Bereich von 4 kn bis 25 kn, bevorzugt aus dem Bereich von 5 kn bis 20 kn, besonders bevorzugt aus dem Bereich von 6 kn bis 14 kn.

[0039] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird als ersten vorderen Tiefenruderlage ein Winkel von + 15° bis + 25°, insbesondere von + 18° bis + 22° gewählt und dass als zweite vorderen Tiefenruderlage ein Winkel von - 15° bis - 25°, insbesondere von - 18° bis - 22° gewählt.

[0040] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird das Verfahren derart durchgeführt, dass die Tauchtiefe so gewählt wird, dass wenigstens 25 m, bevorzugt wenigstens 50 m, besonders bevorzugt wenigstens die Länge des Unterseeboots, Wasser über dem Unterseeboot und wenigstens 25 m, bevorzugt wenigstens 50 m, besonders bevorzugt wenigstens die Länge des Unterseeboots, Wasser unter dem Unterseeboot sind.

[0041] Dieses Verfahren bestimmt die hydrodynamischen Koeffizienten im unbeeinflussten Tiefwasserbereich.

[0042] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird das Verfahren derart durchgeführt, dass die Tauchtiefe so gewählt wird, dass weniger als 25 m, bevorzugt weniger als 15 m, Wasser über dem Unterseeboot und wenigstens 25 m, bevorzugt wenigstens 50 m, besonders bevorzugt wenigstens die Länge des Unterseeboots, Wasser unter dem Unterseeboot sind.

[0043] Dieses Verfahren bestimmt die hydrodynamischen Koeffizienten im oberflächennahen Bereich und ist zum Beispiel für Schnorchelfahrt wichtig. Dieses Verfahren wird bevorzugt zusätzlich zur Bestimmung im unbeeinflussten Tiefwasserbereich verwendet.

[0044] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird das Verfahren derart durchgeführt, dass die Tauchtiefe so gewählt wird, dass wenigstens 25 m, bevorzugt wenigstens 50 m, besonders bevorzugt wenigstens die Länge des Unterseeboots, Wasser über dem Unterseeboot und weniger als 25 m, bevorzugt weniger als 15 m, Wasser unter dem Unterseeboot sind.

[0045] Dieses Verfahren bestimmt die hydrodynamischen Koeffizienten im grundnahen Bereich und ist zum Beispiel für getauchte Fahrten im Flachwasser wichtig. Dieses Verfahren wird bevorzugt zusätzlich zur Bestimmung im unbeeinflussten Tiefwasserbereich verwendet.

[0046] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden während der beschleunigungsfreien Fahrten jeweils die Geschwindigkeit u des Unterseeboots, der vordere Tiefenruderwinkel δ_s , der hintere Tiefenruderwinkel δ_b , die Volumenänderung der Trimm tanks ΔV_{TT} und die Volumenänderung der Regelzelle ΔV_{CT} erfasst.

[0047] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden während der beschleunigungsfreien Fahrten zusätzlich die Umdrehungsgeschwindigkeit n der Schraube und der Trimmwinkel θ erfasst.

[0048] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden während der beschleunigungsfreien Fahrten jeweils zusätzlich der Rollwinkel ϕ und Volumenänderung des Ballasttanks ΔV_{CT} erfasst.

[0049] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird während des Verfahrens die Gewichtsverteilung im Unterseeboot bis auf die gezielten Änderungen konstant gehalten. Insbesondere wird darauf geachtet, dass die Besatzung ihre Position nicht verändert, da dieses zu nicht erfassbaren Masseverschiebungen führt und somit die Messgenauigkeit des Verfahrens verringert.

[0050] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden im Schritt m) die Koeffizienten Z^* , $Z'_{\delta s}$, $Z'_{\delta b}$, M^* , $M'_{\delta s}$ und $M'_{\delta b}$, die Füllvolumen der Regelzelle V_{CT1} und V_{CT2} , die Trimmzellenfüllungen V_{TT1} und V_{TT2} und die Ruderwinkel δ_{sn} und δ_{bn} für auftrieb- und momentfreie Fahrt bestimmt.

[0051] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden die erste erste Trimmlage und die zweite erste Trimmlage um 500 kNm \pm 50 kNm unterschiedlich gewählt.

[0052] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden in den Schritten e) und l) eine erste zweite Trimmlage und eine zweite zweite Trimmlage gewählt, wobei die erste zweite Trimmlage und die zweite zweite Trimmlage um 1000 kNm \pm 100 kNm unterschiedlich gewählt werden.

[0053] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden in Schritt m) die Koeffizienten Z'_w , $Z'_{w|w|}$, $Z'_{\delta s \eta}$, M'_w , $M'_{w|w|}$ und $M'_{\delta s \eta}$ und der Stabilitätshebelarm z_{GB} bestimmt.

[0054] Bei beschleunigungsfreien Fahrten des Unterseebootes werden durch Änderung von Tankfüllungen aufgebrauchte statische Kräfte durch Strömungskräfte an Ruder und Rumpf kompensiert. Da die Strömungskräfte in getauchter Fahrt mit dem Quadrat der Fahrgeschwindigkeit anwachsen, während die statischen Kräfte konstant bleiben, ergibt sich die Möglichkeit, die Strömungskräfte bzw. hydrodynamischen Koeffizienten aus der Kompensation von bekannten statisch eingeleiteten Gewichtskräften mit bisher nicht erreichter Genauigkeit zu bestimmen. Alle Messfahrten werden bei verschiedenen konstanten Geschwindigkeiten und verschiedenen vorgegebenen Trimmwinkeln des Bootes durch entsprechendes Legen von vorderem und hinterem Tiefenruder auf konstanter Tiefe durchgeführt. Damit ergibt sich die Möglichkeit, hydrodynamische Koeffizienten in Abhängigkeit von der Tauchtiefe des Bootes bzw. vom Abstand des Bootes zur Wasseroberfläche zu bestimmen.

Fig. 1 Darstellung der Vektoren und Winkel am Unterseeboot

[0055] In **Fig. 1** sind die Winkel und Größen am Beispiel eines Unterseebootes mit Kreuzruder gezeigt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von hydrodynamischen Koeffizienten bei Unterseebooten mit einem vorderen Tiefenruder und einem hinteren Tiefenruder, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

- a) beschleunigungsfreie Fahrt mit ebenem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer ersten ersten Geschwindigkeit und einer ersten ersten Trimmlage,
- b) beschleunigungsfreie Fahrt mit ebenem Kiel bei konstanter Tiefe und bei der ersten ersten Geschwindigkeit und einer zweiten ersten Trimmlage,
- c) beschleunigungsfreie Fahrt mit ebenem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer zweiten ersten Geschwindigkeit und der ersten ersten Trimmlage,
- d) beschleunigungsfreie Fahrt mit ebenem Kiel bei konstanter Tiefe und bei der zweiten ersten Geschwindigkeit und der zweiten ersten Trimmlage,
- e) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer ersten zweiten Geschwindigkeit und einer ersten vorderen Tiefenruderlage und einer ersten Trimmtankfüllung,
- f) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei der ersten zweiten Geschwindigkeit und einer zweiten vorderen Tiefenruderlage und der ersten Trimmtankfüllung,
- g) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei der ersten zweiten Geschwindigkeit und der ersten vorderen Tiefenruderlage und einer zweiten Trimmtankfüllung,
- h) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei der ersten zweiten Geschwindigkeit und der zweiten vorderen Tiefenruderlage und der zweiten Trimmtankfüllung,
- i) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer zweiten zweiten Geschwindigkeit und der ersten vorderen Tiefenruderlage und der ersten Trimmtankfüllung,
- j) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei der zweiten zweiten Geschwindigkeit und der zweiten vorderen Tiefenruderlage und der ersten Trimmtankfüllung,
- k) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei der zweiten zweiten Geschwindigkeit und der ersten vorderen Tiefenruderlage und der zweiten Trimmtankfüllung,
- l) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei der zweiten zweiten Geschwindigkeit und der zweiten vorderen Tiefenruderlage und der zweiten Trimmtankfüllung,
- m) Ermitteln von hydrodynamischen Koeffizienten aus den in den vorhergehenden Schritten ermittelten Messgrößen, wobei die Schritte a) bis l) in beliebiger Reihenfolge durchgeführt werden, wobei der Schritt m) nach den Schritten a) bis l) durchgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich zu den Schritten a) bis d) die folgenden Schritte ausgeführt werden:

- n) beschleunigungsfreie Fahrt mit ebenem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer dritten ersten Geschwindigkeit und einer ersten ersten Trimmlage,
- o) beschleunigungsfreie Fahrt mit ebenem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer dritten ersten Geschwindigkeit und einer zweiten ersten Trimmlage.

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich zu den Schritten e) bis l) die folgenden Schritte ausgeführt werden:

- p) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer dritten zweiten Geschwindigkeit und einer ersten vorderen Tiefenruderlage und einer ersten Trimmtankfüllung,
 q) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer dritten zweiten Geschwindigkeit und einer zweiten vorderen Tiefenruderlage und einer ersten Trimmtankfüllung,
 r) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer dritten zweiten Geschwindigkeit und einer ersten vorderen Tiefenruderlage und einer zweiten Trimmtankfüllung,
 s) beschleunigungsfreie Fahrt mit schrägem Kiel bei konstanter Tiefe und bei einer dritten zweiten Geschwindigkeit und einer zweiten vorderen Tiefenruderlage und einer zweiten Trimmtankfüllung.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ersten Geschwindigkeiten ausgewählt sind aus dem Bereich von 4 kn bis 25 kn, bevorzugt aus dem Bereich von 5 kn bis 20 kn, besonders bevorzugt aus dem Bereich von 6 kn bis 15 kn.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweiten Geschwindigkeiten ausgewählt sind aus dem Bereich von 4 kn bis 25 kn, bevorzugt aus dem Bereich von 5 kn bis 20 kn, besonders bevorzugt aus dem Bereich von 6 kn bis 14 kn.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als ersten vorderen Tiefenruderlage ein Winkel von + 15° bis + 25°, insbesondere von + 18° bis + 22° gewählt wird und dass als zweite vorderen Tiefenruderlage ein Winkel von -15° bis - 25°, insbesondere von -18° bis - 22° gewählt wird.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren derart durchgeführt wird, dass die Tauchtiefe so gewählt wird, dass wenigstens 25 m, bevorzugt wenigstens 50 m, besonders bevorzugt wenigstens die Länge des Unterseeboots, Wasser über dem Unterseeboot und wenigstens 25 m, bevorzugt wenigstens 50 m, besonders bevorzugt wenigstens die Länge des Unterseeboots, Wasser unter dem Unterseeboot sind.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren derart durchgeführt wird, dass die Tauchtiefe so gewählt wird, dass weniger als 25 m, bevorzugt weniger als 15 m, Wasser über dem Unterseeboot und wenigstens 25 m, bevorzugt wenigstens 50 m, besonders bevorzugt wenigstens die Länge des Unterseeboots, Wasser unter dem Unterseeboot sind.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren derart durchgeführt wird, dass die Tauchtiefe so gewählt wird, dass wenigstens 25 m, bevorzugt wenigstens 50 m, besonders bevorzugt wenigstens die Länge des Unterseeboots, Wasser über dem Unterseeboot und weniger als 25 m, bevorzugt weniger als 15 m, Wasser unter dem Unterseeboot sind.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass während der beschleunigungsfreien Fahrten jeweils die Geschwindigkeit u des Unterseeboots, der Trimmwinkel θ , die vordere Tiefenruderlage δ_s , der hintere Tiefenruderwinkel δ_b , die Volumenänderung der Trimmtanks ΔV_{TT} und die Volumenänderung der Regelzelle ΔV_{CT} als Messgrößen erfasst werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich die Umdrehungsgeschwindigkeit n der Schraube und der Rollwinkel ϕ als Messgrößen erfasst werden.

12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass während des Verfahrens die Gewichtsverteilung im Unterseeboot bis auf die gezielten Änderungen konstant gehalten wird.

13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Schritt m) die Koeffizienten Z^* , $Z'_{\delta s}$, $Z'_{\delta b}$, M^* , $M'_{\delta s}$ und $M'_{\delta b}$, die Füllvolumen der Regelzelle V_{CT1} und V_{CT2} , die Trimmzellenfüllungen V_{TT1} und V_{TT2} und die Ruderwinkel δ_{sn} und δ_{bn} für auftrieb- und momentfreie Fahrt bestimmt werden.

14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste erste Trimmlage und die zweite erste Trimmlage um 500 kNm \pm 50 kNm unterschiedlich gewählt werden.

15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in den Schritten e) bis l) eine erste zweite Trimmlage und eine zweite zweite Trimmlage gewählt wird, wobei die erste zweite Trimmlage und die zweite zweite Trimmlage um 1000 kNm \pm 100 kNm unterschiedlich gewählt werden.

16. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Schritt m) die Koeffizienten Z'_w , $Z'_{w|w|}$, $Z'_{\delta s \eta}$, M'_w , $M'_{w|w|}$, und $M'_{\delta s \eta}$ und der Stabilitätshebelarm z_{GB} bestimmt werden.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

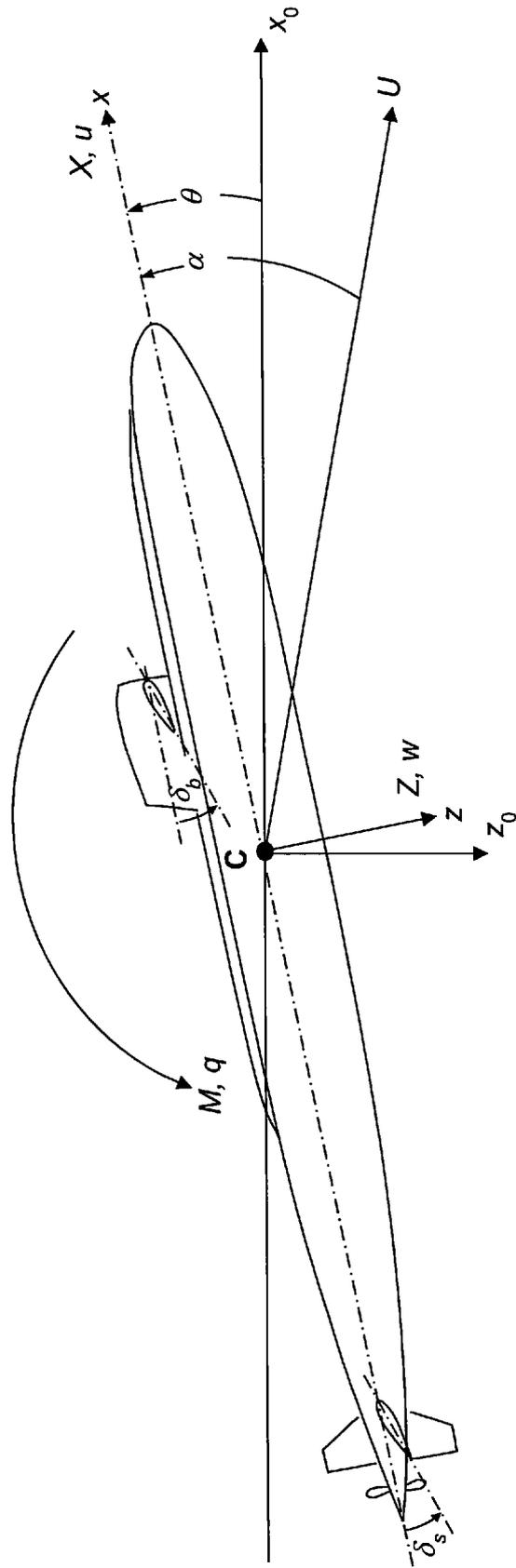


Fig. 1