



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur automatischen Lenkung eines Fluggerätes unmittelbar über der Meeresoberfläche. Sie ist auf Fluggeräte wie Flugzeuge oder Helikopter, deren Richtungs- und Höhenänderungsvermögen relativ gering ist, ebenso anwendbar wie auf Flugkörper, die sehr leistungsfähig sein können.

**[0002]** Bekanntlich muß ein Fluggerät, um eine Entdeckung durch feindliche Abwehr-Radarsysteme zu verhindern, möglichst nahe über der Meeresoberfläche fliegen. Die Flughöhe muß jedoch ausreichen, um einen Aufprall des Fluggeräts auf einer Welle zu verhindern. Zur automatischen Lenkung eines Fluggeräts auf möglichst geringer Höhe über dem Meeresspiegel ist es wesentlich, das sich verändernde Relief des überflogenen Meeres zu kennen.

**[0003]** Um dieses Relief berücksichtigen zu können, kommen mehrere Modelle vom Meer in Betracht, beispielsweise das Sinus-Modell (dabei wird angenommen, daß das Relief der Meeresoberfläche sinusförmig sei), das Pierson-Modell (Meer mit unregelmäßiger Oberfläche) oder das Stockes-Modell (sinusförmiges Meer mit einigen hohen Wellen). Ein Meeresmodell, das in Abhängigkeit von dem durch das Fluggerät überflogenen tatsächlichen Meer gewählt wird, kann so zur automatischen Vertikallenkung des Fluggerätes Anwendung finden.

**[0004]** Eine solche Vorgehensweise ist jedoch mit Mängeln behaftet. Zum einen kann das gewählte Meeresmodell, gleich von welcher Komplexität es ist, das Relief des tatsächlichen Meeres nicht mit vollkommener Zuverlässigkeit darstellen. Daraus ergibt sich, daß zur Vermeidung eines Aufpralls des Fluggerätes auf dem Meer eine Sicherheitsmarge eingeplant werden muß, die es verhindert, die Flughöhe des Fluggerätes zu optimieren. Wenn andererseits der Aktionsradius des Fluggerätes groß ist, so können große Änderungen des tatsächlichen Meeres auftreten, insbesondere bezüglich der Stärke der Meeresbewegung während des Fluges des Fluggerätes, so daß das beim Start des Fluggerätes gewählte Modell völlig ungeeignet für das tatsächlich von dem Fluggerät am Ende des Fluges überflogene Meer sein kann. Zur Vermeidung der Gefahr eines Aufpralls des Fluggerätes auf dem Meer ist es also auch hier erforderlich, eine zusätzliche Sicherheitsmarge einzuplanen, so daß die Flughöhe des Fluggerätes deutlich größer als das gewünschte Optimum ist.

**[0005]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, diesen Mängeln abzuhelpen. Sie stellt eine Vorrichtung zur automatischen Lenkung zur Verfügung, die es jederzeit ermöglicht, dem Fluggerät die geringstmögliche Flughöhe aufzugeben, bei der noch kein Aufprall auf dem Meer erfolgt, wobei diese Flughöhe automatisch an das überflogene Meer angepaßt wird.

**[0006]** Um dies zu erreichen, ist die Vorrichtung zur automatischen Lenkung eines Fluggeräts unmittelbar über der Meeresoberfläche dadurch gekennzeichnet, daß sie umfaßt:

- Mittel zur Höhenmessung, die permanent ein Signal Zalti abgeben, welches die Flughöhe des Fluggerätes über der Meeresoberfläche darstellt;
- Massenträgheits-Navigationsmittel, die permanent wenigstens ein zweites Signal ZCN abgeben, welches die Höhe des Fluggerätes in bezug auf den mittleren Meeresstand darstellt, sowie ein drittes Signal VZCN, welches die Vertikalgeschwindigkeit des Fluggerätes angibt;
- ein Kalman-Filter oder dergleichen, welches wenigstens das erste Höhengsignal Zalti und das zweite Signal ZCN empfängt und wenigstens einen Fehlerschätzwert für die Höhe  $\hat{\Delta}_Z$  einen Fehlerschätzwert für die Vertikalgeschwindigkeit  $\hat{\Delta}_{VZ}$  sowie das Meßrauschen  $\hat{z}_{VZ}$  abgibt;
- erste Rechenmittel, die zum einen von den Massenträgheits-Navigationsmitteln das zweite Höhengsignal ZCN sowie das dritte Signal VZCN für die Vertikalgeschwindigkeit und zum anderen von dem Kalman-Filter die Fehlerschätzwerte  $\hat{\Delta}_Z$  für die Höhe und die Fehlerschätzwerte für die Vertikalgeschwindigkeit  $\hat{\Delta}_{VZ}$  empfangen und eine Höhenggröße  $\hat{Z}$  sowie eine Vertikalgeschwindigkeitsgröße  $\hat{V}_{VZ}$  abgeben;
- Mittel zur Analyse des Meßrauschens  $\hat{z}_{VZ}$ , die aus diesem Kennwerte ZVf, Rm1 und  $\Delta t m1$  der Meeresoberfläche gewinnen;
- zweite Rechenmittel, die aus den Kenngrößen für die Meeresoberfläche eine Flughöhenstufe ZCOA für das Fluggerät berechnen;
- Mittel zur Vertikallenkung des Fluggerätes, welche die Flughöhenstufe ZCOA sowie die Höhenggröße  $\hat{Z}$  und die Vertikalgeschwindigkeitsgröße  $\hat{V}_{VZ}$  empfangen und einen Vertikal-Beschleunigungsbefehl  $\hat{z}\hat{C}\hat{O}$  für das Fluggerät abgeben; und
- Mittel zum Anlegen dieses Vertikal-Beschleunigungsbefehls  $\hat{z}\hat{C}\hat{O}$  an die Vertikal-Flugsteuerungsorgane des Fluggerätes.

**[0007]** Mit der erfindungsgemäßen Lenkvorrichtung ist es nun nicht mehr erforderlich, ein Modell für das überflogene Meer zu verwenden, denn das Meßrauschen  $\hat{z}_V$  des Kalman-Filters (in der Kalman-Theorie als "Innovation" bezeichnet) bildet das gewünschte Meeressignal. Man identifiziert auf diese Weise in Realzeit die vom Fluggerät überflogene Meeresoberfläche und kann daraus die befohlene minimale Flughöhe ZCOA ableiten, die es ermöglicht, einen Aufprall auf dem Meer zu verhindern. Die Höhengrößen  $\hat{Z}$  und die Vertikalgeschwindigkeitsgrößen  $\hat{V}_Z$  die von den ersten Rechenmitteln mit hoher Genauigkeit abgegeben werden, ermöglichen dann tatsächlich den Flug auf der Höhe ZCOA.

**[0008]** Das Kalman-Filter identifiziert die Massenträgheits-Fehlerterme, deren Größenordnung vergleichbar mit dem Meeressignal  $\hat{z}_V$  ist. Das Modell zur Massenträgheits-Fehlerbehandlung durch das Kalman-Filter, ausgehend von der Differenz  $\Delta Z^*(t)$  zwischen dem ersten und dem zweiten Signal Zalti und ZCN, kann unterschiedlich sein, je nach dem Seitenbeschleunigungsvermögen des Fluggerätes:

1. Wenn das Fluggerät über ein beschränktes seitliches Beschleunigungsvermögen verfügt (Helikopter, Flugzeug), so kann dieses Verarbeitungsmodell linear sein und folgende Form aufweisen:

$$\Delta Z^*(t) = b(t - t_0) + c + ZV$$

**[0009]** In diesem Ausdruck sind:

- $t_0$  der Zeitpunkt, zu dem die Messung bei Null initialisiert wird,
- $b$  der Geschwindigkeitsfehler zum Zeitpunkt  $t = t_0$ ,
- $c$  der Höhenfehler zum Zeitpunkt  $t = t_0$  und
- $ZV$  das Augenblicks-Meßrauschen des Kalman-Filters.

**[0010]** Im Falle eines Fluggeräts mit beschränktem seitlichen Beschleunigungsvermögen wählt man jedoch vorzugsweise ein Modell vom parabolischen Typ:

$$\Delta Z^*(t) = a(t - t_0)^2 + b(t - t_0) + c + ZV$$

**[0011]** In dieses Modell geht zusätzlich der Vertikal-Beschleunigungsmessungs-Halbfehler  $\underline{a}$  ein.

2. Wenn das Fluggerät hingegen über ein großes seitliches Beschleunigungsvermögen verfügt, sind die oben angegebenen Modelle nicht mehr ausreichend. In diesem Falle geben die Massenträgheits-Navigationsmittel an das Kalman-Filter zusätzlich Signale  $VN$  und  $VE$  ab, von denen das erste die Geschwindigkeiten des Fluggeräts in Nordrichtung und das zweite diese in Ostrichtung darstellt, und das Kalman-Filter berechnet beispielsweise die Massenträgheits-Vertikal-Winkelfehler  $\phi_1$  und  $\phi_2$  bei der Drehung bezüglich des Nordens bzw. des Ostens. Die Verarbeitung durch das Kalman-Filter entspricht dann vorzugsweise folgendem Modell:

$$\begin{aligned} \Delta Z^*(t) = & a(t-t_0)^2 + b(t-t_0) + c - \phi_1 \int [VE(t) - VE(t_0)] dt \\ & + \phi_2 \int [VN(t) - VN(t_0)] dt \\ & + ZV \end{aligned}$$

**[0012]** Darin sind  $VN(t)$  und  $VN(t_0)$  die Geschwindigkeitswerte  $VN$  zu den Zeitpunkten  $t$  und  $t_0$  sowie  $VE(t)$  und  $VE(t_0)$  die Geschwindigkeitswerte  $VE$  zu den Zeitpunkten  $t$  und  $t_0$ .

**[0013]** Da die Meßgröße  $\Delta Z^*(t)$  durch das Meeressignal  $ZV$  und die Abdriften der Massenträgheits-Navigationsmittel gebildet ist (die Gesamtheit von Termen außer  $ZV$ ), ist in allen Fällen ersichtlich, daß man durch Abwarten von mehreren Halbwellen des Meeressignals  $ZV$  aus der Meßgröße  $\Delta Z^*(t)$  den örtlichen Mittelwert  $\hat{\Delta Z}^*$  gewinnen kann und folglich die Meereshöhe in bezug auf den mittleren Pegel über folgende Beziehung bestimmen kann:

$$\hat{z}_V = \Delta Z^* - \hat{\Delta Z}^*.$$

**[0014]** Das Kalman-Filter identifiziert also die Parameter dieser Verarbeitungsmodelle in der Form von Schätzgrößen  $\hat{a}$  und  $\hat{c}$  (für das erste obige Modell),  $\hat{a}$ ,  $\hat{b}$  und  $\hat{c}$  (für das zweite parabolische Modell) sowie  $\hat{a}$ ,  $\hat{b}$ ,  $\hat{c}$ ,  $\hat{\phi}_1$  und  $\hat{\phi}_2$  (für das dritte obige Modell), um anschließend den lokalen Mittelwert  $\hat{\Delta Z}^*$  über mehrere Halbwellen mittels folgenden Ausdrucks zu bestimmen:

$$\hat{\Delta z^*} = \hat{b}(t-t_0) + \hat{c}$$

$$\hat{\Delta z^*} = \hat{a}(t-t_0)^2 - \hat{b}(t-t_0) + \hat{c}, \quad \text{oder}$$

$$\hat{\Delta z^*} = \hat{a}(t-t_0)^2 + \hat{b}(t-t_0) + \hat{c} - \hat{\Phi}_1 \int [VE(t) - VE(t_0)] dt + \hat{\Phi}_2 \int [VN(t) - VN(t_0)] dt$$

[0015] Schließlich bestimmt es das Meßrauschen ZV über folgende Beziehung:

$$\hat{z}_V = \Delta z^*(t) - \hat{\Delta z^*}$$

[0016] Vorzugsweise sind die Analysemittel für das Meßrauschen durch Rechenmittel gebildet, die aus dem Meßrauschen  $\hat{z}_V$  drei Kenngrößen für die Meeresoberfläche ableiten, nämlich:

- eine erste Kenngröße ZVf, die durch den Mittelwert des gleichgerichteten Signals  $\hat{z}_V$  über einige Sekunden gebildet ist, welcher die Meeresstärke darstellt;
- eine zweite Kenngröße Rm1, die durch das über mehrere Sekunden bestimmte maximale Verhältnis zwischen dem gleichgerichteten Meßrauschen  $\hat{z}_V$  und der ersten Kenngröße ZVf gebildet ist und den Meerestyp darstellt; und
- eine dritte Kenngröße  $\Delta t m_1$ , welche durch die über einige Sekunden ermittelte maximale Dauer zwischen zwei Vorzeichenwechseln des Signals  $\hat{z}_V$  gebildet ist, welche die Meeresperiode darstellt.

[0017] In vorteilhafter Weise berechnen die zweiten Rechenmittel die Flughöhenstufe ZCOA über folgende Beziehung:

$$ZCOA = A ZV^2 + B ZV + C$$

[0018] Darin sind A, B und C Koeffizienten, die stetige Funktionen der zweiten und der dritten Kenngröße Rm1 und  $\Delta t m_1$  sind.

[0019] Gemäß einer wichtigen Besonderheit der Erfindung werden dem Kalman-Filter, um zuverlässige Ergebnisse selbst dann zu erzielen, wenn das Meer eine niedrige Frequenz aufweist, Abschätzungs-Gewinne aufgegeben, die es ermöglichen, eine Meeresfilterung vorzunehmen, unabhängig von seiner Beschaffenheit.

[0020] Damit der örtliche Mittelwert  $\hat{\Delta z^*}$  auch im Falle eines Meeres mit niedriger Frequenz gewonnen werden kann (Periode in der Größenordnung von 5 bis 10 s), muß der Kovarianzwert für das Meßrauschen  $R_0$  größer als die Varianz des Meeressignals sein, etwa gleich  $10 \text{ m}^2$  ( $R_0$  entspricht einer Abtastperiode  $T_{e1} = 12 \text{ ms}$  für das Kalman-Filter).

[0021] Gemäß der Erfindung ist daher vorgesehen, dem Kalman-Filter einen konstanten hohen Wert  $R_0$  aufzugeben, der vorzugsweise zwischen  $2000 \text{ m}^2$  und  $50 \text{ m}^2$ , insbesondere zwischen  $800 \text{ m}^2$  und  $200 \text{ m}^2$  liegt (für  $T_{e1} = 12 \text{ ms}$ ).

[0022] Vorzugsweise umfaßt jedoch die erfindungsgemäße Vorrichtung dritte Rechenmittel, welche die dritte Kenngröße der Analysemittel für das Meßrauschen empfangen und an das Kalman-Filter einen Wert  $R_0$  abgeben, der vom Wert der dritten Kenngröße abhängt. Man gelangt so zu einer selbstanpassenden Einstellung von  $R_0$  als Funktion der über das Meer abgeschätzten Halbperiode  $\Delta t m_1$  ausgehend von der Analyse des Signals  $\hat{z}_V$ .

[0023] Die Varianz von  $R_0$  in Abhängigkeit von  $\Delta t m_1$  kann durch eine plötzliche Änderung von einem Wert  $R_0 = 100 \text{ m}^2$  für  $\Delta t m_1 = 3 \text{ s}$  auf einen Wert  $R_0 = 500 \text{ m}^2$  für  $\Delta t m_1 = 5 \text{ s}$  gekennzeichnet werden, und umgekehrt (für  $T_{e1} = 12 \text{ ms}$ ).

[0024] Für Werte von  $\Delta t m_1$ , die kleiner als 3 s sind, kann  $R_0$  konstant gleich  $100 \text{ m}^2$  bleiben. Im Hochfrequenzbereich, d. h. für Werte für  $\Delta t m_1$ , die sehr viel kleiner als 2 s sind, kann  $R_0$  in der Nähe von  $10 \text{ m}^2$  gewählt werden.

[0025] Für die Werte von  $\Delta t m_1$ , die größer als 5 s sind, kann  $R_0$  konstant gleich  $500 \text{ m}^2$  bleiben. Für diese

Werte, die einer niedrigen Meeresfrequenz entsprechen, kann  $R_0$  bis etwa  $2000 \text{ m}^2$  zunehmen (für  $T_{e1} = 12 \text{ ms}$ ).

**[0026]** Wie oben bereits erwähnt wurde, ist die Kovarianz  $R_0$  für eine Abtast-Nennperiode  $T_{e1}$  bei den Berechnungen durch das Kalman-Filter gewählt worden, die gleich  $12 \text{ ms}$  ist. Falls die reelle Abtastperiode  $T_e$  des Kalman-Filters von  $T_{e1}$  verschieden ist, wird der Wert der Kovarianzmatrix gleich  $R = R_0 \cdot T_e / T_{e1}$ .

**[0027]** Um Abdriften der Massenträgheits-Navigationsmittel zu verhindern, ist es vorteilhaft, Mittel zur Neueinstellung vorzusehen, die ihnen periodisch die Schätzwerte für die Höhe  $\hat{\Delta Z}^*$  und für die Geschwindigkeit  $\hat{\Delta VZ}^*$  zuführen und gleichzeitig die Messungen des Kalman-Filters reinitialisieren. Die Periode  $T_c$  für eine Neueinstellung der Massenträgheits-Navigationsmittel und Reinitialisierung des Kalman-Filters kann zwischen  $10 \text{ s}$  und  $40 \text{ s}$  betragen. Auf diese Weise sind am Ende des ersten Zyklus von der Dauer  $T_c$  die zu identifizierenden Fehler  $\Delta Z^*$  und  $\Delta VZ^*$  gering, wodurch es außerhalb aller darauffolgenden Zyklen möglich ist, kleine Zustands-Kovarianz-Anfangswerte zu verwenden, um zu einer dynamischen Regelung des Filters zu gelangen, die zur Identifikation der Meeresbeschaffenheit sehr günstig ist.

**[0028]** Vorzugsweise umfassen die Vertikal-Lenkmittel einen ersten Subtrahierer, der eine erste Differenz zwischen der Flughöhenstufe  $ZCOA$  und der Höhengröße  $\hat{Z}$  bildet, einen ersten Verstärker mit dem Verstärkungsfaktor  $G_1$ , welcher diese erste Differenz  $ZCOA - \hat{Z}$  verstärkt, einen zweiten Subtrahierer, der eine zweite Differenz zwischen der ersten Differenz  $G_1(ZCOA - \hat{Z})$  und der Geschwindigkeitsgröße  $\hat{VZ}$  bildet, sowie einen zweiten Verstärker mit dem Verstärkungsfaktor  $G_2$ , welcher diese zweite Differenz verstärkt.

**[0029]** Diese zweite, verstärkte Differenz, welche den Beschleunigungs-Vertikalbefehl  $z\ddot{c}o$  bildet und in dem Achsensystem der Massenträgheits-Navigationsmittel berechnet wird, d. h. in einem Achsensystem, das mit dem Boden verknüpft ist, muß auf das Achsensystem des Fluggerätes bezogen werden. Die Mittel zum Anlegen dieses Vertikalbeschleunigungs-Befehls  $z\ddot{c}o$  an die Vertikal-Flugsteuerorgane umfassen einen Rechner, dessen Aufgabe darin besteht, einen solchen Achsenwechsel vorzunehmen und eventuelle Rollbewegungs-Korrekturen vorzunehmen (hauptsächlich für leistungsfähige Fluggeräte).

**[0030]** Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung und aus der Zeichnung, auf die Bezug genommen wird. In der Zeichnung zeigen:

**[0031]** [Fig. 1](#) schematisch einen Flugkörper über der Meeresoberfläche, zur Veranschaulichung der Bedeutung der Höhensignale, die von dem Höhenmesser und der Trägheits-Navigationszentrale abgegeben werden;

**[0032]** [Fig. 2](#) ein Blockdiagramm einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer Anwendung zur Lenkung eines Flugkörpers;

**[0033]** [Fig. 3a](#) und [Fig. 3b](#) Diagramme, welche die Höhe  $Z$  in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  zeigen, zur Veranschaulichung der Gewinnung der Trägheits-Abdrift und des Meeressignals durch das Kalman-Filter;

**[0034]** [Fig. 4](#) ein Blockschema der Vertikal-Lenkvorrichtung, die Bestandteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist;

**[0035]** [Fig. 5](#) ein in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  aufgezeichnetes Diagramm, welches die Neueinstellung der Trägheits-Navigationszentrale zeigt; und

**[0036]** [Fig. 6](#) ein Diagramm, welches die mögliche adaptive Veränderung zur Einstellung der Kovarianzmatrix für das Messungsrauschen zeigt.

**[0037]** In [Fig. 1](#) ist ein Flugkörper **1** gezeigt, der über das Meer **2** fliegt. Die Meeresoberfläche **3** besteht aus Wellungen (Dünung, Wellen...) bezüglich eines mittleren Pegels **4**. An Bord des Flugkörpers **1** wird unter anderem eine erfindungsgemäße Vorrichtung **5** mitgeführt, die es dem Flugkörper ermöglicht, möglichst niedrig über der Meeresoberfläche **3** zu fliegen, ohne mit ihren Wellungen in Berührung zu kommen. Diese Vorrichtung **5** wirkt auf die Vertikal-Flugsteuerelemente des Flugkörpers ein. In [Fig. 1](#) ist schematisch eine Steuerverbindung **6** zwischen der Vorrichtung **5** und dem Leitwerk **7** des Flugkörpers gezeigt. Es versteht sich, daß die Steuerung der Flughöhe des Flugkörpers **1** nicht unbedingt durch ein aerodynamisches Leitwerk erfolgt, wie in [Fig. 1](#) gezeigt; die Flughöhe kann auch durch Ansteuerung von seitlichen Austrittsdüsen oder durch irgendeine andere Lenkeinrichtung gesteuert werden.

**[0038]** Die Vorrichtung **5** umfaßt (vgl. [Fig. 2](#)) einen Höhenmesser **8** und eine Navigations-Trägheitszentrale **9**. Der Höhenmesser **8** gibt ein Signal aus, welches die Höhe Zalti des Flugkörpers bezüglich der Meeresoberfläche **3** darstellt. Die Navigations-Trägheitszentrale **9** gibt ein Signal ab, welches die Höhe ZCN des Flugkörpers in bezug auf den mittleren Pegel **4** des Meeres darstellt. In der weiteren Folge ist, wie aus der Figur hervorgeht, jederzeit die Differenz  $\Delta Z^*$  zwischen den vom Höhenmesser **8** und der Navigations-Trägheitszentrale **9** abgegebenen Signalen repräsentativ für die Summe aus der Differenz zwischen dem Augenblickspegel der Oberfläche **3** des Meeres und seinem mittleren Pegel einerseits sowie den Trägheits-Abdriften andererseits. Daraus ergibt sich, daß die Differenz  $\Delta Z^*$ , welche kontinuierlich gemessen wird, während der Flugkörper **1** über das Meer fliegt, mit den Wellungen der Meeresoberfläche **3** behaftet ist; diese Differenz wird in der folgenden Beschreibung als "Meeressignal" bezeichnet.

**[0039]** Außer dem Höhenmesser **8** und der Navigations-Trägheitszentrale **9** umfaßt die Vorrichtung **5** ein Kalman-Filter **10**, mittels welchem die Trägheits-Fehlerterme identifiziert werden können, deren Größenordnung vergleichbar mit der des Meeressignals ZV ist. Das Kalman-Filter **10** empfängt:

- das Signal Zalti, welches der Höhenmesser **8** liefert;
- ein Signal ZCNr, welches die Navigations-Trägheitszentrale **9** abgibt und wobei es sich um das oben definierte Signal ZCN handelt, welches aber periodisch in der im folgenden beschriebenen Weise neu eingestellt wird; und
- Signale VN und VE, von denen das erste die Geschwindigkeit des Flugkörpers **1** in Nordrichtung und das zweite diese in Ostrichtung darstellt; diese Signale werden von der Navigations-Trägheitszentrale **9** abgegeben.

**[0040]** Das Kalman-Filter **10** verarbeitet die Meßgröße  $Z^*$ , welche durch die Differenz zwischen dem Höhenmessersignal Zalti und der Höheninformation ZCNr gebildet ist. Wenn die Messung zu einem Anfangszeitpunkt  $t_0$  auf Null initialisiert wird, bewirkt das Kalman-Filter die Identifikation der Koeffizienten  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $\phi_1$ ,  $\phi_2$ , gemäß folgendem Berechnungsmodell:

$$\Delta Z^*(t) = a(t-t_0)^2 + b(t-t_0) + c - \phi_1 \int [VE(t) - VE(t_0)] dt + \phi_2 \int [VN(t) - VN(t_0)] dt + ZV$$

**[0041]** Darin sind:

- $Z^*(t)$  der Meßwert von  $Z^*$  zu einem Zeitpunkt  $t$ ,
- $a$  der Vertikal-Beschleunigungsmessungs-Halbfehler,
- $b$  der Geschwindigkeitsfehler zum Zeitpunkt  $t_0$ ,
- $c$  der Höhenfehler zum Zeitpunkt  $t_0$ ,
- $\phi_1$  der Winkelfehler der Trägheitszentrale **9** in der Drehung gegenüber der Nordrichtung,
- $VN(t)$  der Geschwindigkeitswert VN zum Zeitpunkt  $t$ ,
- $VN(t_0)$  der Geschwindigkeitswert VN zum Zeitpunkt  $t_0$ ,
- $\phi_2$  der Winkelfehler der Trägheitszentrale **9** in der Drehung gegenüber der Ostrichtung,
- $VE(t)$  der Geschwindigkeitswert VE zum Zeitpunkt  $t$ , und
- $VE(t_0)$  der Geschwindigkeitswert VE zum Zeitpunkt  $t_0$ .

**[0042]** Das Meßrauschen besteht also aus dem Meeressignal ZV. Das Kalman-Filter **10** greift somit auf keinerlei Modell zurück, welches für den Flugkörper, den Höhenmesser oder das Meer repräsentativ ist, wodurch eine sehr große Zuverlässigkeit unter schwierigen Bedingungen gewährleistet wird.

**[0043]** Da die Meßgröße einerseits aus den Abdriften der Trägheitszentrale **9** (die ersten fünf Terme des Ausdrucks für  $\Delta Z^*(t)$ ) und andererseits aus dem Meeressignal ZV besteht (letzter Term), besteht die grundlegende Erfindungsidee darin, mehrere Halbschwingungen des Meeres abzuwarten, um aus der Meßgröße  $\Delta Z^*(t)$  den örtlichen Mittelwert  $\hat{\Delta Z^*}$  abzuleiten (im Maßstab von mehreren Halbschwingungen des Meeres), so daß die Meeresbeschaffenheit durch folgende Beziehung identifiziert werden kann:

$$\hat{ZV} = \Delta Z^*(t) - \hat{\Delta Z^*},$$

wie durch die [Fig. 3a](#) und [Fig. 3b](#) veranschaulicht ist.

**[0044]** Das abgeschätzte Meeressignal  $\hat{z}_v$ , welches das Kalman-Filter **10** abgibt, wird an eine Vorrichtung **11** zur Analyse des Meeressignals abgegeben, die Bestandteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung **5** ist.

**[0045]** Diese Vorrichtung **11** analysiert das abgeschätzte Meeressignal  $\hat{z}_v$  und bildet drei Signale, die charakteristisch für das überflogene Meer sind. Diese drei Signale ZVf, Rm1 und  $\Delta t m1$  werden an eine Vorrichtung **12** zur Berechnung einer Flugstufe angelegt.

**[0046]** Das Signal ZVf soll die Stärke der Meeresbewegung darstellen. Zu diesem Zweck führt die Vorrichtung **11** beispielsweise eine Gleichrichtung des Signals  $\hat{z}_v$  durch und bestimmt durch Berechnung oder Filterung den Mittelwert des gleichgerichteten Signals  $\hat{z}_v$  über eine Dauer von beispielsweise 4 s; dieser Mittelwert bildet dann das Signal ZVf.

**[0047]** Das Signal Rm1 soll repräsentativ für die Meeresbeschaffenheit sein (sinusförmig, Pierson-Meerestyp, Stockes-Meerestyp...). Zu diesem Zweck berechnet die Vorrichtung **11** über eine gleitende Periode von beispielsweise 10 s das maximale Verhältnis Rm1 zwischen dem gleichgerichteten Signal  $\hat{z}_v$  und dem Stärkesignal ZVf. Wenn beispielsweise Rm1 größer als 3,3 ist, so handelt es sich bei der Oberfläche **3** um ein Meer vom Pierson-Typ. Wenn hingegen Rm1 kleiner als 1,4 ist, so ist die Oberfläche von sinusförmiger Beschaffenheit.

**[0048]** Schließlich soll das Signal  $\Delta t m1$  repräsentativ für die Frequenz-Kenngrößen des Meeres sein. Es kann aus der über eine gleitende Periode von beispielsweise 10 s bestimmten maximalen Dauer zwischen zwei Vorzeichenwechseln des Signals  $\hat{z}_v$  bestehen.

**[0049]** Aus den drei Signalen ZVf, Rm1 und  $\Delta t m1$  berechnet die Vorrichtung **12** eine selbsttätig angepasste Stufe ZCOA, die es dem Flugkörper **1** ermöglicht, möglichst niedrig über die Oberfläche des Meeres **2** zu fliegen, ohne Gefahr einer Berührung mit den Wellungen der Meeresoberfläche **3**.

**[0050]** Beispielsweise berechnet die Vorrichtung **12** die Stufe ZCOA über folgende Formel:

$$ZCOA = A(ZVf)^2 + B(ZVf) + C$$

**[0051]** Darin sind A, B und C Koeffizienten, die stetige Funktionen des Verhältnisses Rm1 und der Dauer  $\Delta t m1$  sind.

**[0052]** Beispielsweise betragen die Werte von A, B und C für ein Meer vom Typ Pierson 0,39, 4,62 und 2,35 bzw. 0, 1,57 und 2 für ein Meer von sinusförmiger Beschaffenheit.

**[0053]** Die Funktionen A, B und C hängen auch von der gewünschten Wahrscheinlichkeit eines vermiedenen Aufpralls des Flugkörpers **1** auf der Meeresoberfläche **3** ab. Es versteht sich, daß die Werte dieser Funktionen um so größer sind, desto größer die Wahrscheinlichkeit eines nicht erfolgenden Aufpralls ist. Die gewünschte Wahrscheinlichkeit wird bei **13** in den Rechner **12** eingegeben.

**[0054]** Man sieht, daß ausgehend von den Werten A, B und C, die oben für ein Meer vom Typ Pierson und ein Meer von sinusförmiger Beschaffenheit angegeben wurden, entsprechend  $Rm1 > 3,3$  und  $Rm1 < 1,4$ , es möglich ist, durch lineare Interpolation den Wert dieser Funktionen A, B und C für Werte von Rm1 zu bestimmen, die zwischen 1,4 und 3,3 liegen.

**[0055]** Die Anpassung der Koeffizienten A, B und C an  $\Delta t m1$  macht sich durch ein Anheben der Flugstufe ZCOA für monochromatische Meeresformen (sinusförmige, Stockes-Meertyp ...) und solche von geringer Frequenz (kleiner als 1 Hz) bemerkbar.

**[0056]** Ferner liefert das Kalman-Filter **10** ausgangsseitig einen Schätzwert für den Höhenfehler  $\hat{\Delta z}$ , einen Schätzwert für den Vertikal-Geschwindigkeitsfehler  $\hat{\Delta v_z}$  sowie Schätzwerte  $\hat{\phi}_1$  und  $\hat{\phi}_2$  für die Vertikal-Trägheitsfehler  $\phi_1$  und  $\phi_2$ .

**[0057]** Der Schätzwert für den Höhenfehler  $\hat{\Delta z}$  und der Schätzwert für den Vertikalgeschwindigkeits-Fehler  $\hat{\Delta v_z}$  werden einem Rechner **14** zugeführt, der ferner die Signale ZCNr und VZNr empfängt, welche die Navigations-Trägheitszentrale **9** abgibt. Der Rechner **14** kann daher folgende Größen berechnen:

$$\hat{\mathbf{z}} = \hat{\Delta \mathbf{z}} + \mathbf{zCNr}$$

$$\hat{\mathbf{vz}} = \hat{\Delta \mathbf{vz}} + \mathbf{vzCNr}$$

und

[0058] Diese Größen werden an eine Vorrichtung **15** abgegeben, die ferner das Signal ZCOA empfängt, um ein Signal  $\mathbf{z\ddot{c}o}$  für die befohlene Vertikalbeschleunigung zu erzeugen.

[0059] Wie [Fig. 4](#) zeigt, kann die Vorrichtung **15** einen ersten Subtrahierer **16** enthalten, der die Differenz zwischen dem Signal ZCOA und dem Signal  $\hat{\mathbf{z}}$  bildet, einen ersten Verstärker **17** enthalten, welcher die Differenz  $\text{ZCOA} - \hat{\mathbf{z}}$  verstärkt, sowie einen zweiten Subtrahierer **18**, der die so verstärkte Differenz zwischen dem Signal  $\text{ZCOA} - \hat{\mathbf{z}}$  und dem Signal  $\mathbf{zCOA} - \hat{\mathbf{z}}$  bildet, und einen zweiten Verstärker **19**, der diese letztgenannte Differenz verstärkt, um am Ausgang das Steuersignal  $\mathbf{z\ddot{c}o}$  für die Vertikalbeschleunigung auszugeben.

[0060] Dieses Vertikalbeschleunigungssignal  $\mathbf{z\ddot{c}o}$  wurde in einem Achsensystem berechnet, das mit dem Boden verknüpft ist und durch die Achsen der Navigations-Trägheitszentrale **9** dargestellt wird. Es ist somit erforderlich, dieses Signal auf das Achsensystem des Flugkörpers **1** zu übertragen. Zu diesem Zweck wird es einem Rechner **20** zugeführt, der ferner die Trimmlage-Information  $\theta$  und die Kurs-Information  $\phi$  des Flugkörpers **1** aus der Navigations-Trägheitszentrale **9** empfängt. Der Rechner **20** empfängt ferner die Schätzwerte für die Trägheitsfehler in Vertikalrichtung  $\hat{\phi}_1$  und  $\hat{\phi}_2$ , welche ihm über das Kalman-Filter **10** zugeführt werden.

[0061] Der Rechner **20** kann somit ausgehend von dem Signal  $\mathbf{z\ddot{c}o}$  Steuersignale  $\mathbf{y\ddot{c}oe}$  sowie  $\mathbf{z\ddot{c}oe}$  berechnen, die auf die Achsen des Flugkörpers bezogen sind, indem er die Rollwinkelkompensationen  $\Delta\phi$  vornimmt, die auf den Fehlern  $\hat{\phi}_1$  und  $\hat{\phi}_2$  beruhen, wobei  $\Delta\phi$  über folgende Beziehung gewonnen wird:

$$\Delta\phi = - (\hat{\phi}_1 \cos \phi + \hat{\phi}_2 \sin \phi) / \cos \theta.$$

[0062] Der Rechner **20** kann ferner aus einem Teil des Flugkörpers ein Signal für die Horizontalbeschleunigung  $\mathbf{y\ddot{c}o}$  empfangen, das bezüglich der mit dem Boden verknüpften Achsen berechnet wurde, um dieses Signal  $\mathbf{y\ddot{c}o}$  anschließend in Signale  $\mathbf{y\ddot{c}oe}$  und  $\mathbf{z\ddot{c}oe}$  umzuformen, die auf die Achsen des Flugkörpers bezogen sind.

[0063] Das Steuersignal  $\mathbf{z\ddot{c}oe}$  für die Vertikalbeschleunigung und gegebenenfalls das Steuersignal für die Horizontalbeschleunigung  $\mathbf{y\ddot{c}oe}$  werden zu einer Lenkvorrichtung **21** übertragen, welche den Flugkörper **1** über die Verbindung **6** steuert.

[0064] Wie oben gezeigt wurde, ist die Navigations-Trägheitszentrale **9** konstruktionsbedingt mit Abdriften behaftet. Infolgedessen geht in die Messung der Höhe ZCN zwangsläufig ein Fehler  $\Delta\text{ZCN}$  ein, wie durch die Kurve **22** in [Fig. 5](#) in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  dargestellt.

[0065] Um diesem Mangel abzuhelpen, wird die Navigations-Trägheitszentrale **9** periodisch mittels Informationen neu eingestellt, die von dem Kalman-Filter **10** abgegeben werden.

[0066] Zu jedem Zeitpunkt  $T_c, 2T_c, 3T_c, \dots, kT_c, \dots$ , werden der Navigations-Trägheitszentrale **9** beispielsweise über einen Taktgeber **23**, der einen Unterbrecher **24** steuert, die Augenblickswerte von  $\hat{\Delta \mathbf{z}}$  und  $\hat{\Delta \mathbf{vz}}$  zugeführt, mittels welchen die Werte von ZCN um VZCN neu eingestellt werden, um die neu eingestellten Werte ZCNr und VZCNr zu gewinnen, die oben definiert wurden. Zu jedem Zeitpunkt  $kT_c$  werden also die Werte von ZCNr und von VZCNr zu diesem Zeitpunkt um die Werte von  $\hat{\Delta \mathbf{z}}$  und  $\hat{\Delta \mathbf{vz}}$  korrigiert. Dieser Vorgang ist in [Fig. 5](#) veranschaulicht.

[0067] Es wird so ersichtlich, daß die Lenkinformationen  $\hat{\mathbf{z}}$  und  $\hat{\mathbf{vz}}$ , welche der Rechner **14** abgibt, gleichfalls in der Periode  $T_c$  neu eingestellt werden. Diese Periode  $T_c$  kann zwischen 10 s und 40 s betragen.

[0068] Gleichzeitig gibt der Taktgeber **23** zu jedem der Zeitpunkte  $kT_c$  an das Kalman-Filter **10** über die Leitung **25** einen Befehl zur Neuinitialisierung der Berechnungen ab.

[0069] Wie oben erläutert wurde, kann dem Kalman-Filter **10** ein hoher konstanter Wert für die Kovarianz des Meßrauschens  $R_0$  aufgegeben werden, entsprechend einer Abtastperiode  $T_{e1}$  des Filters von 12 ms. Dieser konstante Wert kann zwischen  $50 \text{ m}^2$  und  $2000 \text{ m}^2$  betragen, vorzugsweise jedoch zwischen  $200 \text{ m}^2$  und  $800 \text{ m}^2$  (für  $T_{e1} = 12 \text{ ms}$ ).

[0070] Um jedoch eine autoadaptive Einstellung oder Regelung zu erzielen, wird vorzugsweise ein zusätzli-



cher Rechner **26** vorgesehen, der das Signal  $\Delta t m_1$  von der Analysevorrichtung **11** empfängt und an seinem Ausgang, der mit dem Kalman-Filter **10** verbunden ist, einen Wert  $R_0$  abgibt, welcher von  $\Delta t m_1$  abhängt.

[0071] In [Fig. 6](#) ist ein Beispiel für die Funktion  $R_0$  gezeigt, die der Rechner **26** an das Kalman-Filter **10** abgibt:

- für  $\Delta t m_1 < 3$  s ist der Wert von  $R_0$  konstant und gleich  $100 \text{ m}^2$ ;
- für  $\Delta t m_1$  zwischen 3 s und 5 s nimmt  $R_0$  linear zu, um von  $100 \text{ m}^2$  auf  $500 \text{ m}^2$  anzuwachsen; und
- für  $\Delta t m_1 > 5$  s ist der Wert von  $R_0$  konstant gleich  $500 \text{ m}^2$  (für  $T_{e1} = 12$  ms).

[0072] Die in [Fig. 6](#) gezeigte Kurve ist nur ein mögliches Beispiel für die Veränderung von  $R_0$  in Abhängigkeit von  $\Delta t m_1$ . Für eine hohe Meeresfrequenz ( $\Delta t m_1 \ll 2$  s) können insbesondere für  $R_0$  Werte angesetzt werden, die in der Nähe von  $10 \text{ m}^2$  liegen. Bei sehr niedriger Frequenz ( $\Delta t m_1 > 5$  s) kann hingegen  $R_0$  bis auf etwa  $2000 \text{ m}^2$  gesteigert werden (für  $T_{e1} = 12$  ms).

[0073] Wenn die reelle Abtastperiode des Kalman-Filters **10**  $T_e$  statt  $T_{e1}$  beträgt, ist der Wert der Kovarianz für das Meßrauschen  $R$ , der zu berücksichtigen ist, dann:

$$R = R_0 \cdot T_e / T_{e1}.$$

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Lenkung eines Fluggerätes unmittelbar über der Meeresoberfläche, gekennzeichnet durch:

- Höhen-Meßmittel (**8**), die fortwährend ein erstes Signal  $Z_{alt}$  abgeben, welches repräsentativ für die Höhe des Fluggerätes (**1**) über der Meeresoberfläche (**3**) ist;
- Navigations-Trägheitsmittel (**9**), die fortwährend wenigstens ein zweites Signal  $Z_{CN}$  abgeben, welches repräsentativ für die Höhe des Fluggerätes (**1**) in bezug auf den mittleren Pegel (**4**) des Meeres ist, sowie ein drittes Signal  $V_{ZCN}$ , welches repräsentativ für die Vertikalgeschwindigkeit des Fluggerätes ist;
- ein Kalman-Filter (**10**) oder dergleichen, welches wenigstens das erste und das zweite Höhen-Signal  $Z_{alt}$  und  $Z_{CN}$  empfängt und wenigstens einen Höhen-Fehlerschätzwert  $\hat{\Delta Z}$ , einen Vertikalgeschwindigkeits-Fehlerschätzwert  $\hat{\Delta V_Z}$  sowie ein Meßrauschen  $\hat{ZV}$  abgibt;
- erste Rechenmittel (**14**), die einerseits von den Navigations-Trägheitsmitteln (**9**) das zweite Höhensignal  $Z_{CN}$  und das dritte Signal  $V_{ZCN}$ , also das Vertikalgeschwindigkeitssignal, sowie andererseits von dem Kalman-Filter (**10**) die Fehlerschätzwerte für die Höhe  $\hat{\Delta Z}$  und die Vertikalgeschwindigkeit  $\hat{\Delta V_Z}$  empfangen, um eine Höhen-Datengröße  $\hat{Z}$  und eine Vertikalgeschwindigkeit-Datengröße  $\hat{V_Z}$  abzugeben;
- Analysemittel (**11**) zum Analysieren des Meßrauschens  $\hat{ZV}$ , die aus diesem die Kenndaten der Meeresoberfläche (**3**) ableiten;
- zweite Rechenmittel (**12**), die aus den Kenndaten der Meeresoberfläche eine Flughöhenstufe  $Z_{COA}$  für das Fluggerät (**1**) berechnen;
- Mittel (**15**) zur Vertikallenkung des Fluggerätes (**1**), welche die Flughöhenstufe  $Z_{COA}$  sowie die Datengrößen für die Höhe  $\hat{Z}$  und für die Vertikalgeschwindigkeit  $\hat{V_Z}$  empfangen und einen Vertikalbeschleunigungs-Steuerbefehl  $\hat{Z\ddot{C}O}$  für das Fluggerät (**1**) abgeben; und
- Mittel (**20, 21, 6**) zum Anlegen des Vertikalbeschleunigungs-Steuerbefehls  $\hat{Z\ddot{C}O}$  an die Vertikal-Flugsteuerorgane (**7**) des Fluggerätes (**1**).

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Kalman-Filter (**10**) aus der Differenz  $\Delta Z^*$  zwischen dem ersten Signal  $Z_{alt}$  und dem zweiten Signal  $Z_{CN}$  die folgende Beziehung verarbeitet:

$$\Delta Z^*(t) = b(t - t_0) + c + ZV$$

worin:

- $t_0$  der Zeitpunkt ist, zu welchem die Messung bei Null initialisiert wird,
  - $b$  der Geschwindigkeitsfehler zum Zeitpunkt  $t = t_0$  ist,
  - $c$  der Höhenfehler zum Zeitpunkt  $t = t_0$  ist und
  - $ZV$  das Augenblicks-Meßrauschen ist;
- und daß das Kalman-Filter (**10**)  $b$  und  $c$  in der Form von Schätzwerten  $\hat{b}$  und  $\hat{c}$  identifiziert, um anschließend den lokalen Mittelwert  $\hat{\Delta Z}^*$  über mehrere Halbwellen mittels folgenden Ausdrucks zu bestimmen:

$$\hat{\Delta Z}^* = \hat{b}(t - t_0) + \hat{c}$$

um anschließend das Meßrauschen  $ZV$  über folgende Beziehung zu bestimmen:

$$\hat{z}_V = \Delta z^*(t) - \hat{\Delta z^*}.$$

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Kalman-Filter (10) aus der Differenz  $\Delta z^*$  zwischen dem ersten Signal Zalti und dem zweiten Signal ZCN die folgende Beziehung verarbeitet:

$$\Delta z^*(t) = a(t - t_0)^2 + b(t - t_0) + c + ZV$$

worin:

- $t_0$  der Zeitpunkt ist, zu welchem die Messung bei Null initialisiert wird,
  - $a$  der Halbfehler bei der Vertikalbeschleunigungsmessung ist,
  - $b$  der Geschwindigkeitsfehler zum Zeitpunkt  $t = t_0$  ist,
  - $c$  der Höhenfehler zum Zeitpunkt  $t = t_0$  ist, und
  - $ZV$  das Augenblicks-Meßrauschen ist;
- und daß das Kalman-Filter (10) die Größen  $a$ ,  $b$ ,  $c$  in der Form von Schätzgrößen  $\hat{a}$ ,  $\hat{b}$  und  $\hat{c}$  identifiziert und dann den lokalen Mittelwert  $\hat{\Delta z^*}$  über mehrere Halbwellen mittels folgender Beziehung bestimmt:

$$\hat{\Delta z^*} = \hat{a}(t - t_0)^2 + \hat{b}(t - t_0) + \hat{c}$$

um anschließend das Meßrauschen  $\hat{z}_V$  über folgende Beziehung zu bestimmen:

$$\hat{z}_V = \Delta z^*(t) - \hat{\Delta z^*}.$$

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß:

- die Navigations-Trägheitsmittel (9) ferner Signale VN und VE abgeben, von denen das erste die Geschwindigkeit des Fluggeräts in Nordrichtung und das zweite die Geschwindigkeit in Ostrichtung darstellt; und
- das Kalman-Filter (10) aus der Differenz  $\Delta z^*$  zwischen dem ersten Signal Zalti und dem zweiten Signal ZCN den folgenden Ausdruck verarbeitet:

$$\Delta z^*(t) = a(t - t_0)^2 + b(t - t_0) + c - \phi_1 \int [VE(t) - VE(t_0)] dt + \phi_2 \int [VN(t) - VN(t_0)] dt + ZV$$

worin:

- $t_0$  der Zeitpunkt ist, zu welchem die Messung bei Null initialisiert wird,
  - $a$  der Halbfehler bei der Vertikalbeschleunigungsmessung ist,
  - $b$  der Geschwindigkeitsfehler zum Zeitpunkt  $t = t_0$  ist,
  - $c$  der Höhenfehler zum Zeitpunkt  $t = t_0$  ist,
  - $\phi_1$  und  $\phi_2$  die Vertikal-Trägheitsfehler in der Drehung bezüglich der Nord-Achse und der Ost-Achse sind,
  - $VN(t)$  und  $VN(t_0)$  die Werte von VN zu den Zeitpunkten  $t$  und  $t_0$  sind,
  - $VE(t)$  und  $VE(t_0)$  die Werte von VE zu den Zeitpunkten  $t$  und  $t_0$  sind und
  - $ZV$  das Augenblicks-Meßrauschen ist;
- und daß das Kalman-Filter (10) die Größen  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $\phi_1$  und  $\phi_2$  in der Form von Schätzgrößen  $\hat{a}$ ,  $\hat{b}$ ,  $\hat{c}$ ,  $\hat{\phi}_1$  und  $\hat{\phi}_2$  identifiziert und dann den örtlichen Mittelwert  $\hat{\Delta z^*}$  über mehrere Halbwellen mittels folgenden Ausdrucks bestimmt:

$$\Delta z^*(t) = \hat{a}(t - t_0)^2 + \hat{b}(t - t_0) + \hat{c} - \hat{\phi}_1 \int [VE(t) - VE(t_0)] dt + \hat{\phi}_2 \int [VN(t) - VN(t_0)] dt$$

um das Meßrauschen  $ZV$  mittels folgender Beziehung zu bestimmen:

$$\hat{z}_V = \Delta z^*(t) - \hat{\Delta z^*}.$$

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Analysemittel (11) zum

Analysieren des Meßrauschens aus Rechenmitteln bestehen, die aus dem Meßrauschen  $\hat{z}_v$  drei Kenngrößen für die Meeresoberfläche ableiten, nämlich:

- eine erste Kenngröße ZVf, die durch den über einige Sekunden ermittelten Mittelwert des gleichgerichteten und gefilterten Signals  $\hat{z}_v$  gebildet ist und repräsentativ für die Stärke der Meeresbewegung ist;
- eine zweite Kenngröße RM1, die durch das über einige Sekunden ermittelte maximale Verhältnis zwischen dem gleichgerichteten Meßrauschen  $\hat{z}_v$  und der ersten Kenngröße ZVf besteht und repräsentativ für die Meeresbeschaffenheit ist; und
- eine dritte Kenngröße  $\Delta t m_1$ , welche durch die über einige Sekunden ermittelte maximale Dauer zwischen zwei Vorzeichenänderungen des Signals  $\hat{z}_v$  besteht und repräsentativ für die Meeresperiode ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die zweiten Rechenmittel (**12**) die Flughöhenstufe ZCOA über folgende Formel berechnen:

$$ZCOA = A ZVf^2 + B ZVf + C$$

worin A, B und C Koeffizienten sind, die stetige Funktionen der zweiten und der dritten Kenngröße Rm1 und  $\Delta t m_1$  sind.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Kovarianz des Meßrauschens des Kalman-Filters (**10**) konstant ist und zwischen 50 m<sup>2</sup> und 2000 m<sup>2</sup> für eine Abtastperiode Te1 des Kalman-Filters von 12 ms beträgt.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Kovarianz des Meßrauschens des Kalman-Filters (**10**) konstant ist und zwischen 200 m<sup>2</sup> und 800 m<sup>2</sup> für eine Abtastperiode Te1 des Kalman-Filters von 12 ms ist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 und 6, dadurch gekennzeichnet, daß sie dritte Rechenmittel enthält, welche die dritte Kenngröße Rm1 von den Analysemitteln (**11**) zur Analyse des Meßrauschens empfangen und an das Kalman-Filter (**10**) eine Größe für die Kovarianz des Meßrauschens Ro abgeben, die vom Wert der dritten Kenngröße  $\Delta t m_1$  abhängt.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Variation der Kovarianz des Meßrauschens Ro in Abhängigkeit von der dritten Kenngröße  $\Delta t m_1$  gekennzeichnet ist durch eine plötzliche Änderung von einem Wert Ro = 100 m<sup>2</sup> für  $\Delta t m_1 = 3$  s auf einen Wert Ro = 500 m<sup>2</sup> für  $\Delta t m_1 = 5$  s, für eine Abtastperiode des Kalman-Filters von 12 ms.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß Ro für Werte von  $\Delta t m_1$  kleiner als 3 s konstant gleich 100 m<sup>2</sup> bleibt, während Ro für Werte von  $\Delta t m_1$  von mehr als 5 s konstant gleich 500 m<sup>2</sup> bleibt, für eine Abtastperiode des Kalman-Filters von 12 ms.

12. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß Ro für Werte von  $\Delta t m_1$ , die sehr viel kleiner als 2 s sind, in der Nähe von 10 m<sup>2</sup> gewählt wird, während Ro für Werte von  $\Delta t m_1$ , die größer als 5 s sind, etwa gleich 2000 m<sup>2</sup> gewählt wird, für eine Abtastperiode des Kalman-Filters von 12 ms.

13. Vorrichtung nach den Ansprüchen 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß für eine reelle Abtastperiode des Kalman-Filters, die gleich Te anstatt von Te1 ist, der Kovarianzwert für das Meßrauschen R gleich  $R = Ro \cdot Te / Te1$  gewählt wird.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß sie Mittel (**23**, **24**, **25**) enthält, um periodisch die Navigations-Trägheitsmittel (**9**) neu einzustellen und gleichzeitig das Kalman-Filter (**10**) neu zu initialisieren.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Periode Tc für die Neueinstellung der Navigations-Trägheitsmittel (**9**) und für die gleichzeitige Neuinitialisierung des Kalman-Filters (**10**) zwischen 10 und 40 s beträgt.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Vertikal-Lenkmittel (**15**) einen ersten Subtrahierer (**16**) enthalten, der eine erste Differenz zwischen der Flughöhenstufe ZCOA und der Höhen-Datengröße Z bildet, einen ersten Verstärker (**17**) enthalten, dessen Verstärkungsfaktor G1 beträgt und der die erste Differenz ZCOA-Z verstärkt, einen zweiten Subtrahierer (**18**) enthalten, welcher eine zweite

Differenz zwischen dieser  $G1(ZCOA-Z)$  und der Geschwindigkeits-Datengröße  $VZ$  bildet, sowie einen zweiten Verstärker (**19**) enthalten, dessen Verstärkungsfaktor  $G2$  beträgt und der diese zweite Differenz verstärkt, um das Vertikalbeschleunigungs-Steuersignal  $ZCO$  auszugeben.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel (**20, 21, 6**) zum Anlegen des Vertikalbeschleunigungs-Steuerbefehls  $z\ddot{c}o$  an die Vertikal-Steuerorgane (**7**) des Fluggeräts (**1**) einen Rechner (**20**) umfassen, welcher diesen Steuerbefehl auf das Fluggerät umsetzt und eventuelle Rollwinkel-Korrekturen durchführt.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

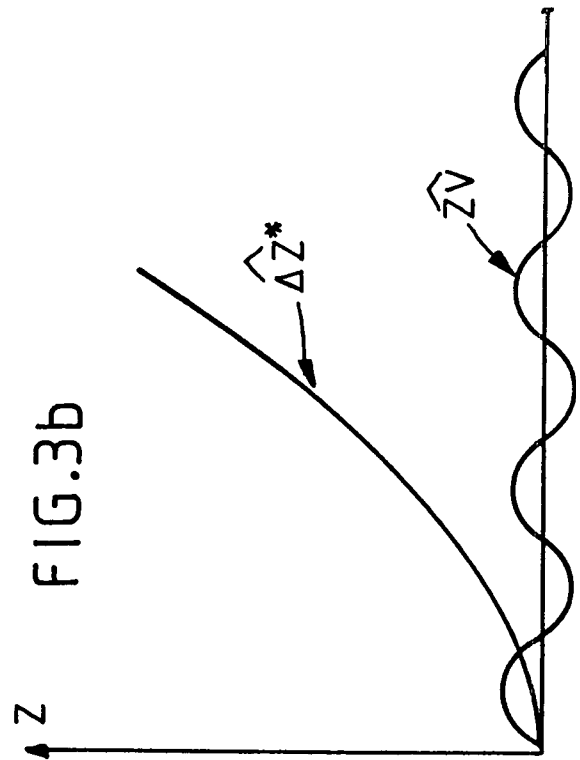
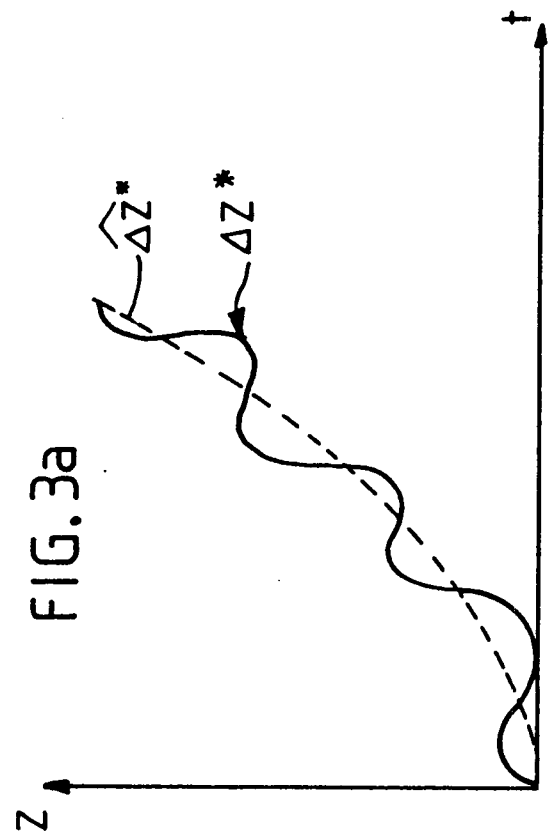
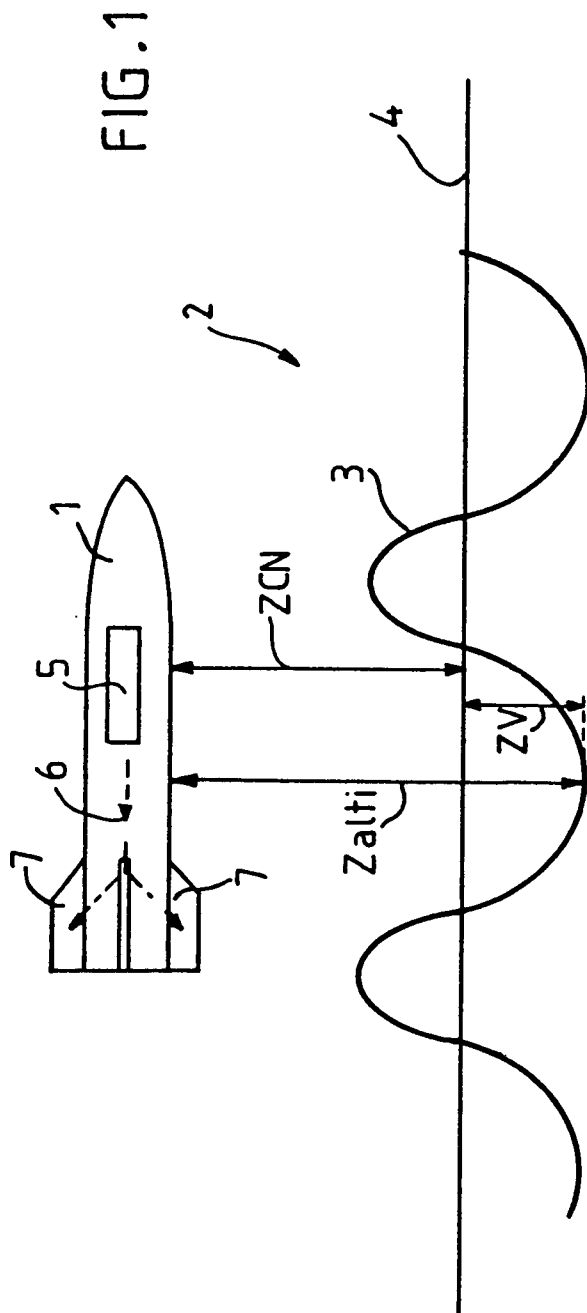


FIG. 2

