

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: **87106093.5**

51 Int. Cl.4: **B63G 9/06**

22 Anmeldetag: **27.04.87**

30 Priorität: **29.04.86 DE 3614527**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.12.87 Patentblatt 87/49

84 Benannte Vertragsstaaten:
ES FR GB GR IT NL SE

71 Anmelder: **Bundesrepublik Deutschland vertr. durch d. Bundesmin. d. Vert. dieser vertr. durch den Präs. d. Bundesamtes für Wehrtechnik u. Beschaffung Konrad-Adenauer-Ufer 2 - 6 D-5400 Koblenz(DE)**

72 Erfinder: **Flecken, Johann, Dr. Schoolsiekengang 5 D-2333 Holzbunge(DE)**
Erfinder: **Kock, Rudolf, Dipl.-Ing. Melldorferweg 16 D-2370 Rendsburg(DE)**

74 Vertreter: **Mehl, Ernst, Dipl.-Ing. et al Postfach 22 01 76 D-8000 München 22(DE)**

54 **Verfahren zur Einstellung einer magnetischen Eigenschutz (MES)-Anlage zur Kompensation des magnetischen Störfeldes eines Fahrzeuges, insbesondere Schiffes.**

57 Verfahren zur Einstellung einer magnetischen Eigenschutz(MES)-Anlage zur Kompensation des magnetischen Störfeldes eines Fahrzeuges, insbesondere Schiffes.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Einstellung einer magnetischen Eigenschutz(MES)-Anlage zur Kompensation des magnetischen Störfeldes eines Fahrzeuges (Schiff). Bei der Ersteinstellung der MES-Anlage wird das zu kompensierende Störfeld in mindestens einer Koordinatenrichtung gemessen. Im nächsten Schritt wird jede der MES-Spulen mit einem Einheitsstrom bestimmter Größe und Richtung beaufschlagt, das sich dabei einstellende Magnetfeld wird gemessen und in Verbindung mit den Spulendaten der Wicklungseffekt jeder Spule unter Korrektur von Lagekoordinatenfehlern in den Spulendaten ermittelt. Im nächsten Schritt werden unter Verwendung der Störfeldmeßwerten und der Werte für die Wicklungseffekte die Spulenströme (Kompensationsströme) nach Größe und Richtung so bestimmt, daß das resultierende Störfeld minimiert wird.

Die Daten der Ersteinstellung, insbes. die Wicklungseffekte, werden in einer Datenbank gespeichert. Bei einer Einstellkontrolle, die nach bestimmten Betriebszeiten zu erfolgen hat, erfolgt ein Vergleich der aktuellen Daten der MES-Anlage mit den gespeicherten Daten sowie eine Störfeldmessung; ggf. werden unter Verwendung der abgespeicherten Daten die Kompensationsströme neu berechnet und eingestellt.

EP 0 247 367 A1

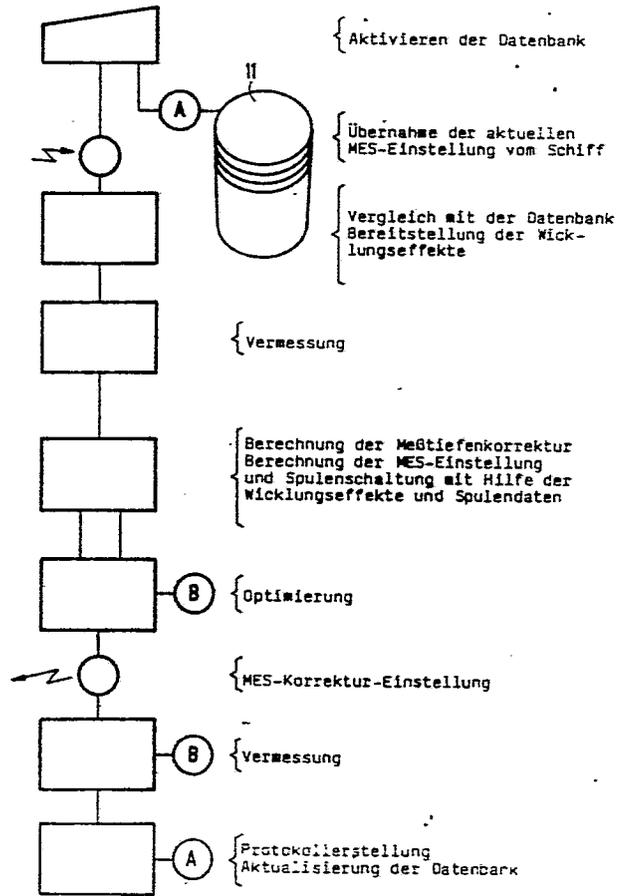


FIG 7

Verfahren zur Einstellung einer magnetischen Eigenschutz(MES)-Anlage zur Kompensation des magnetischen Störfeldes eines Fahrzeuges, insbesondere Schiffes.

Schiffe, Boote und andere Fahrzeuge der Bundeswehr, aber auch Handelsschiffe, werden von Minen und Torpedos mit magnetischen Sensoren direkt bedroht oder sind durch Ortungssysteme mit magnetischen Sensoren aufzuspüren. Aus diesem Grund sind die zu schützenden Fahrzeuge mit einer MES-Anlage ausgerüstet, die die Aufgabe hat, das magnetische Eigenfeld und damit die Gefährdung herabzusetzen.

5 Derartige Anlagen sind in der Literatur hinlänglich beschrieben (z.B. Kosack und Wangerin, "Elektrotechnik auf Handelsschiffen", Springer Verlag 1956, Seite 255-257 (Abb.234), so daß auf eine nähere Beschreibung des Prinzips und der Wirkung einer solchen Anlage hier nicht näher eingegangen zu werden braucht.

10 Jedes mit einer MES-Anlage ausgerüstete Schiff erfährt zunächst aufgrund einer sogenannten magnetischen Vermessung eine Grund-(Erst)-Einstellung der MES-Anlage, bei der durch Einstellen geeigneter Wicklungsströme ein optimaler Kompensationswert erreicht wird. Die danach eingeschaltete Regelung der MES-Anlage steuert die Ströme in den individuellen Spulen im Fahrbetrieb so nach, daß die eingestellte Kompensation des Störfeldes erhalten bleibt. Im Laufe des Fahrbetriebes muß jedes Schiff in bestimmten Zeitabständen magnetisch erneut vermessen und die MES-Anlage ggf. entsprechend neu eingestellt
15 werden (Einstellungskontrolle).

Die Einstellungen sind wegen der starken magnetischen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Spulen (und Teilspulen) der MES-Anlage unverhältnismäßig komplex. Durch die unregelmäßigen geometrischen Formen der Spulen entzieht sich das Problem auch einfachen mathematischen Berechnungsmethoden, insbes. was den Einfluß ferromagnetischer Einbauten auf das Magnetfeld der Spulen (reale Effekte)
20 anbelangt. Außerdem schränken fehlerbehaftete geometrische Daten zur Angabe der Spulenanlage im Schiff die Brauchbarkeit von Feldberechnungen ein.

Es ist bekannt, daß Schiffe in bestimmte "magnetische Abschnitte" zu unterteilen und für diese die Amperewindungszahlen, d.h. die Wicklungsströme zu bestimmen sind, die zum Ausgleich des magnetischen Eigenfeldes des Schiffes notwendig sind (Deutsche Marineräumdienstvorschrift Nr.16, 1946, insbes.
25 Seite 9-13). Dieses Verfahren würde - im wirtschaftlichen Rahmen - bezogen auf die heutige Ansprechempfindlichkeit der Magnetzünder der Minen, keine ausreichende Kompensation bzw. keine ausreichende Minderung des Minenansprechrisikos mehr gewährleisten.

Es ist auch bekannt, daß zunächst durch eine stark idealisierte Berechnung in grober Näherung eine Ausgangseinstellung vorgenommen werden kann. Durch Iteration zwischen wiederholten Messungen des
30 Rest-Eigenfeldes und Veränderungen der MES-Einstellungen wird ein minimales Rest-Eigenfeld, das die ausreichende Gefährdungstiefe gewährleistet, erreicht. Dieser Iterationsprozeß ist ein vielschrittiges Probieren, bei dem nach jeder Stromänderung in der MES-Anlage eine erneute Vermessung erfolgt, bis das Eigenfeld minimiert ist (empirisches Vorgehen); dabei spielt die langjährige Erfahrung des Meßleiters der Schiffsvermessungsstelle eine wesentliche Rolle.

35 Der Nachteil dieses praktizierten Verfahrens besteht in einem beträchtlichen Zeitaufwand, den Mängeln in der Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Einstellung und in der Abhängigkeit von der Erfahrung der Meßleiter. Die getroffenen Maßnahmen sind selbst bei guter Protokollführung in ihren Einzelschritten kaum nachzuvollziehen und stehen daher weder zum Erkenntnisgewinn noch zur Erzielung eines technischen Lerneffekts zur Verfügung. Genaue Schiffseinstellungen sind auf Überlaufmeßstrecken noch schwerer als
40 auf stationären Meßanlagen zu erreichen, mobile Meßstrecken scheiden bisher für die Schiffseinstellung aus.

Es ist auch ein Vorschlag bekannt geworden (DE-PS 31 32 933), die zur Kompensation erforderlichen Wicklungsströme selbsttätig aus einer Signalverarbeitungsanlage zu gewinnen, der Signale von Magnetfeld-
45 Meßsonden und über den Ort des Schiffes zugeführt sind, und die ein mathematisches Modell der magnetischen Wirkung der einzelnen MES-Wicklungen an den Raumpunkten, an denen sich die Meßsonden befinden, zugeordnet zu bestimmten Bereichen des Schiffes, enthält. Diese bekannte Methode unter Verwendung eines mathematischen Analogons in der Signalverarbeitungsanlage hat folgende Nachteile: Die Annäherung des Modells (des Analogons) an die Schiffsrealität ist verhältnismäßig grob und ungenau, da die Einflüsse des Schiffes auf die magnetischen Wirkungen der (ungestörten) MES-Spulen (stark idealisiert) nur berücksichtigt werden können, indem die Schiffsbereiche "blockweise" den jeweiligen Spulen
50 zugeordnet und in deren Übertragungsfunktion berücksichtigt werden sowie in nur wenigen Nachbarkbereichen in der Übertragungsfunktion, ebenfalls stark idealisiert, Berücksichtigung finden; damit bleibt der Einfluß von dem jeweiligen in der magnetischen Wirkung zu bestimmenden Schiffsabschnitt weit entfernten MES-Spulen - um den Aufwand vertretbar zu halten - unberücksichtigt. Ein Einfluß ferromagnetischer

Einbauten auf das Magnetfeld der Spule kann nicht realitätsgetreu erfaßt werden; fehlerhafte geometrische Daten zur Angabe der Spulenanlage im Schiff schränken die Brauchbarkeit der Feldberechnung, d.h. des Analogens, ebenfalls ein.

Das bekannte Verfahren ist daher nur beschränkt tauglich.

5 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Einstellung der MES-Anlage eines Fahrzeuges mit selbsttätig gewonnenen Werten für die Kompensationsströme so auszuführen, daß sie möglichst realitätsgetreu und damit genau ist, so daß die niedrigst mögliche Minenbedrohung erreicht wird.

Die Lösung dieser Aufgabe gelingt bei einem Verfahren zur Einstellung einer MES-Anlage zur Kompensation des magnetischen Störfeldes eines Fahrzeuges, insbes. Schiffes gemäß der Erfindung
10 dadurch, daß

-jede einzelne Spule mit einem Einheitsstrom vorgegebener Richtung beaufschlagt und mindestens eine Komponente des zugehörigen Magnetfeldes gemessen wird sowie daß

-durch einen ersten Algorithmus - bei Korrektur von Lagekoordinatenfehlern - der "Wicklungseffekt" jeder Spule, d.h. der Unterschied der realen Spule, deren Feld von ferromagnetischen Massen beeinflusst ist, zu
15 der entsprechenden ungestörten Spulenanlage (Luftstrom) iterativ ermittelt wird und daß

-unter Verwendung der korrigierten Spulengeometriedaten und der Wicklungseffekte optimale Ströme zur Annäherung des Spulensystemfeldes an das zu kompensierende Fahrzeugstörfeld in einem zweiten Algorithmus ermittelt werden.

Durch die Erfassung der "Wicklungseffekte" werden die realen Schiffsverhältnisse erfaßt; zusätzlich
20 werden Ungenauigkeiten/Fehler in den Spulengeometriedaten "korrigiert", so daß die Kompensation des Fahrzeugstörfeldes sehr genau wird.

Durch die Erfassung der "magnetischen Wicklungseffekte" aus unmittelbaren Messungen und ihrer Speicherung in einer Datenbank ist gemäß der Erfindung auch eine einfach durchzuführende Einstellkontrolle möglich. Die Speicherung der magnetischen Wicklungseffekte und der übrigen Daten bei der
25 Ersteinstellung erlaubt bei der Einstellkontrolle einen schnellen Vergleich mit dem Zustand der MES-Anlage hinsichtlich des Eintrittes von Veränderungen und damit eine schnelle und eindeutige Ermittlung von ggf. neuen Kompensationsströmen.

Anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels wird die Erfindung näher erläutert. Es zeigt:

30 FIG 1 bis 3 das dreiaxiale Spulensystem einer MES-Anlage in einem Schiffskörper,
FIG 4 die Vermessung eines Schiffes in zwei Meßebenen,
FIG 5 einen Datenflußplan für die Erstellung einer Datenbank,
FIG 6 das System der Datenübermittlung bei der Einstellkontrolle,
FIG 7 den Datenflußplan der MES-Einstellung bei einer Einstellkontrolle.

35 In den FIG 1-3 ist das großräumige, dreiaxiale Spulensystem einer MES-Anlage eines Schiffes 1 (als Beispiel eines Fahrzeuges als ferromagnetischer Störkörper) dargestellt. Dieses Spulensystem besteht aus Spulen 3,4,5 in den drei orthogonalen Achsen. Jede Spule 3 bzw.4 bzw.5 ist üblicherweise in drei - nicht mehr näher dargestellte - Teilspulen aufgeteilt. Die eine Teilspule dient zur Kompensation eines permanenten Störfeldanteils (und wird mit permanentem Strom beschickt). Eine zweite Teilspule dient zur Kompensation eines vom Erdfeld induzierten Störfeldanteils (und wird erdfeld- und kursabhängig mit Strom beschickt).
40

Da als Folge der Bewegung des Schiffes im Erdfeld in metallischen Teilen des Systems Wirbelfelder induziert werden, erfolgt deren Kompensation mit einer dritten Teilspule.

Die magnetischen Schiffsfelder werden üblicherweise nach den Schiffskoordinaten wie folgt bezeichnet:
45 Längsschiffskomponente = X-Komponente
Querschiffskomponente = Y-Komponente
Vertikale Komponente = Z-Komponente

50 Das X-Y-Z-Koordinatensystem wird als objektfest angenommen, d.h. ist auf den Erzeuger des magnetischen Störfeldes - im Ausführungsbeispiel das Schiff 1 - ausgerichtet.

Die Spulen wiederum werden entsprechend ihren magnetischen Haupttrichtungswirkungen bezeichnet. Die Spulen 3 nach FIG 1, die parallel zur Y-Z-Ebene liegen, sind die L-Spulen (L-MES-Wicklung), deren magnetische Wirkungsachsen in der Schiffsängsrichtung (X) liegen (L entspricht longitudinal).

55 Die Spulen 4 nach FIG 2 (nur eine ist dargestellt), die parallel zur X-Y-Ebene liegen, sind die V-Spulen (V-MES-Wicklung) mit vertikalen magnetischen Achsen (V entspricht vertikal). Die Spulen 5 nach FIG 3, die parallel zu oder in der X-Z-Ebene liegen, sind die A-Spulen (A-MES-Wicklung) mit der magnetischen Wirkungsrichtung in Y-Richtung (A entspricht athwort-ship).

Die Spulen 3,4,5 werden mit Gleichströmen in unterschiedlichen Richtungen beschickt. Die positiven Stromrichtungen resultieren dabei aus den positiven Richtungen des in FIG 1 dargestellten Koordinatensystems.

In der Ersteinstellung und bei Einstellungskontrollen (magnetische Vermessung) werden die Ströme so eingestellt, daß für das magnetische Eigenfeld des Schiffskörpers, das Störfeld, möglichst optimal kompensiert wird. Im laufenden Betrieb (Fahrt) sorgt ein Regler dafür, daß die eingestellten Stromwerte erhalten bleiben.

Die Erfindung bezieht sich auf die magnetische Vermessung eines Schiffes. Diese Vermessung erfolgt in üblicher Weise dadurch, daß gemäß FIG 4 das Schiff 1 in eine Vermessungsanlage mit einem Meßteppich von Magnetfeld-Meßsonden 2 gebracht wird und die Spulenströme so eingestellt werden, daß das Störfeld optimal kompensiert wird. Das Ermitteln der optimalen Spulenströme in möglichst kurzer Zeit ist, wie eingangs erläutert, das typische Problem der magnetischen Vermessung. In FIG 4 sind dabei die Meßsonden 2 in zwei unterschiedlichen Meßebenen angeordnet, um eine Aussage in unterschiedlichen Meßtiefen machen zu können. Die Meßsonden erfassen dabei das magnetische Störfeld des Schiffes 1 in Größe und Richtung.

An sich ist eine Vermessung der drei Komponenten des Schiffstörfeldes möglich und würde zahlreiche Vorteile mit sich bringen. Für die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dies jedoch nicht zwingend erforderlich. Es reicht, wie in FIG 4 dargestellt, die Vermessung einer Komponenten aus.

Das erfindungsgemäße Verfahren der magnetischen Vermessung bei einer Ersteinstellung wird wie folgt durchgeführt:

Im ersten Schritt wird das zu kompensierende Störfeld des Schiffes 1 gemessen. Die Störfeld-Meßwerte werden abgespeichert.

Im zweiten Schritt werden nacheinander sämtliche Spulen 3,4,5 der MES-Anlage mit einem Strom definierter Größe und Richtung (Einheitsstrom) beschickt und die magnetischen Störfelder der jeweils beschickten Spule 3 bzw.4 bzw.5 gemessen.

Aus diesem gemessenen Magnetfeld (Einheits-Meßwert) und den bekannten geometrischen Abmessungen und Daten der erzeugenden Spule 3 bzw.4 bzw.5 (Lage und Wicklungszahl der Spulen sind bei der Konstruktion des Schiffes festgelegt) wird der sogenannte "Wicklungseffekt" (auch Wicklungskoeffizient genannt) wie folgt bestimmt:

Bezüglich jedes Spulenfeldes gelte für das ungestörte, d.h. von ferromagnetischen Einbaueinflüssen freie Magnetfeld der k-ten-Spule des Systems (Luftspule) in einem Meßpunkt n das Biot-Savartsche Gesetz in der Form:

$$\vec{H}_{k,n} = AW_k \cdot \vec{F}_{k,n} \quad (1.1)$$

mit: Index k für die k-te Spule

Index n für den n-ten Aufpunkt Meßpunkt

$$AW_k = I_k \cdot W_k$$

W_k = Windungszahl der k-ten Spule

I_k = Strom (Ampere) in der k-ten Spule (1.2)

$$\vec{F}_{k,n} = \oint_S \frac{(\vec{r} - \vec{s}) \times d\vec{s}}{|\vec{r} - \vec{s}|^3} \quad (1.3)$$

Für die Komponenten des ungestörten Magnetfeldes der k-ten Spule schreibt man nun zweckmäßigerweise (aus 1.1 und 1.2)

$$H_{i,k,n} = I_k \cdot W_k \cdot F_{i,k,n} \quad (1.4)$$

mit Index $i = 1, 2, 3$ = X-, Y-, Z-Richtung.

Beeinflussen ferromagnetische Einbauteile/-massen das Magnetfeld der Spule, so nimmt man an, daß eine solche Störung eine proportionale Änderung des ungestörten Magnetfeldes bewirkt.

Also gilt für das veränderte Magnetfeld der k-ten Spule

$$5 \quad S_{i,k,n} = H_{i,k,n} \cdot P_{i,k} \quad (1.5)$$

Die proportionale Änderung $P_{i,k}$ des ungestörten Spulenfeldes wird in der Magnetik als "Wicklungseffekt" bezeichnet. Dieser Begriff umfaßt allerdings neben dem Einfluß ferromagnetischer Einbauteile auch den von Fehlern in den Spulengeometrien. Der Einfluß von Fehlern in der Spulengeometrie ist jedoch in aller Regel von überproportionaler, also gravierender Natur; diese Fehler müssen daher

10 "korrigiert" werden. Der so bereinigte "Wicklungseffekt" wird dann "Wicklungskoeffizient" genannt.

Das Magnetfeld eines Systems, aus mehreren, insges. N_{sp} Spulen, ergibt sich durch ortsgerechtes Aufsummieren der Felder der einzelnen Spulen in einem Aufpunkt n zu:

$$15 \quad RS_{i,k,n} = \sum_{k=1}^{k=N_{sp}} I_k \cdot w_k \cdot P_{i,k} \cdot F_{i,k,n} \quad (1.6)$$

20

Auf der Basis dieser Vorbetrachtung erfolgt die Bestimmung der Wicklungseffekte wie nachstehend:

Als Ausgangsgrößen sind folgende Werte vorhanden:

a) N Meßwerte einer oder mehrerer (drei) Komponenten des Störflußdichtefeldes $BK_{n,i}$ ($n = 1, \dots, N$, $i = 1, 2, 3$) mit den zugehörigen Meßorten $Xm_{n,i}$ ($n = 1, \dots, N$, $i = 1, 2, 3$), vorgegeben durch die Positionen der

25 Meßsonden 2 gesondert für die einzelnen Spulen 3, 4, 5 des Systems; dabei sei jede Spule 3 bzw. 4 bzw. 5 einzeln mit dem vorgegebenen Einheitsstrom beschickt worden.

Die Meßwerte $BK_{n,i}$ sind den Berechnungswerten $S_{i,k,n}$ der Gleichung (1.5) zuzuordnen und naturgemäß mit einer Streuung $\sigma_{i,n}$ behaftet. Die dieser Streuung zugrunde liegenden Meßfehler seien normal um Null

30 verteilt.

b) Die geometrischen Kenndaten, Windungszahlen und Einheitsströme der einzelnen Spulen 3, 4, 5. Die geometrischen Kenndaten können mit Fehlern behaftet sein, von denen in aller Regel nur sogenannte Lagekoordinatenfehler gravierend und daher korrekturwürdig sind. Als "Lagekoordinate" wird in diesem Zusammenhang die bei allen Eckpunkten einer Spule 3 bzw. 4 bzw. 5 konstante Koordinate verstanden, d.h.

35 bei einer

V-Spule 4 die Z-Koordinate, bei einer
L-Spule 3 die X-Koordinate und bei einer
A-Spule 5 die Y-Koordinate.

Daher sind die gegebenen Werte der Lagekoordinaten der einzelnen Spulen 3, 4, 5 als eine - ggf.

40 korrekturwürdige - Näherung zu verstehen. Aus Formel (1.1) und (1.3) ist unmittelbar zu entnehmen, daß die Koordinaten exponentiell in die Magnetfeldberechnung eingehen.

Der Algorithmus soll nun

- die Lagekoordinate (nichtlineare Einflußgröße) und
- 45 -die Proportionalitätsgröße $P_{i,k}$ (lineare Einflußgröße)

für jede einzelne Spule 3 bzw. 4 bzw. 5 des Systems bestimmen und zwar so, daß die Einheitsfeld-Meßwerte $Bk_{n,i}$ an den Meßorten $Xm_{n,i}$ möglichst gut angenähert werden. Hierzu wird ein erweiterter Minimum-Fehlerquadratansatz folgender Form verwendet:

50

$$RMS = \sum_{n=1}^{n=N} \sum_{i=1}^{i=3} \frac{1}{\sigma_{i,n}^2} \cdot (BK_{n,i} - S_{i,k,n})^2 \quad (1.6)$$

55

Die Meßwertstreuung σ dient als Gewichtungsgröße und bewirkt, daß Meßwerte um so weniger berücksichtigt werden, je größer ihre Streuung ist.

Um die Abhängigkeit des zu berechnenden, den Einheitsfeld-Meßwerten anzunähernden Spulenmagnetfeldes von den gesuchten Größen zu erfassen, schreibt man in Form eines Taylor-Ansatzes:

$$S_{i,k,n} = S_{i,k,n}(U_0) + \sum_{j=1}^{j=J} \left(\frac{\partial S_{i,k,n}}{\partial U_j} \right)_{U_0} \cdot \Delta U_j \quad (1.7)$$

Darin sind die

J die Anzahl der gesuchten Unbekannten

U_0 eine erste Näherung dieser Unbekannten und die

ΔU die "Verbesserung" dieser Unbekannten, die zum Minimum des mittleren Fehlerquadrats führen soll.

Verbesserte Unbekannte ergeben sich damit zu:

$$U_{\sigma+1} = U_{\sigma} + \Delta U_{\sigma} \quad (1.8)$$

wobei σ der Schrittzähler einer Iteration ist.

Setzt man Formel (1.7) in den Fehlerquadratansatz (1.6) ein, so ergibt sich

$$RMS = \sum_{n=1}^{n=N} \sum_{i=1}^{i=I} \frac{\left(B_{k,n,i} - S_{i,k,n}(U_0) - \sum_{j=1}^{j=J} \frac{\partial S_{i,k,n}}{\partial U_j} \cdot \Delta U_j \right)^2}{\sigma_{i,n}^2} \quad (1.9)$$

Das Fehlerquadratminimum wird erreicht, wenn die partiellen Ableitungen nach den gesuchten Verbesserungen u_j verschwinden, also

$$\frac{\partial RMS}{\partial (\Delta U)} = 0 \quad (1.10)$$

Dies liefert

$$\sum_{j=1}^{j=J} \Delta U_j \cdot A_{j,e} = R_e \quad \downarrow \begin{matrix} e=1 \\ \vdots \\ N_{sp} \end{matrix} \quad (1.11)$$

und

$$\Delta U_j = A_{j,e}^{-1} \cdot R_e \quad (1.12)$$

Die Koeffizienten der Matrix A und des Vektor R ergeben sich ohne weiteres beim Übergang von Gleichung (1.10) auf (1.11).

Die Formel (1.11) gibt ein Gleichungssystem wieder, mit dem sich zu einer vorzugebenden Näherung der gesuchten Größen U_0 (Wicklungskoeffizienten und Spulenlage) Verbesserungen ΔU errechnen lassen. Mit Formel (1.8) ergeben sich dann die verbesserten Größen U_{0+1} , welche ihrerseits zur Berechnung neuer Verbesserungen ΔU_{0+1} führen. Diese Iteration ist - unter Benutzung konvergenzsichernder Verfahren - so oft zu wiederholen, bis sich ein Minimum des mittleren Fehlerquadrats eingestellt hat oder bis sich zwei aufeinanderfolgende Näherungen nicht mehr wesentlich voneinander unterscheiden. Das Ergebnis besteht dann in einer korrigierten Spulenlagekoordinaten und in den Wicklungskoeffizienten P_i für die jeweils untersuchte Spule 3 bzw. 4 bzw. 5.

Im nächsten, d.h. dritten Verfahrensschritt sind nunmehr die Kompensationsströme zu bestimmen, d.h. es geht um die Aufgabe der Bestimmung der Ströme I_k in den einzelnen Spulen eines MES-Spulensystems, so daß das im Zustand "ungeschütztes Fahrzeug" gemessene magnetische Störfeld möglichst gut aufgehoben wird.

Als Ausgangsgrößen sind folgende Werte gegeben:

a) aus dem zweiten Verfahrensschritt die (korrigierten) Spulengeometriedaten, Windungszahlen und die Wicklungseffekte $P_{i,k}$ aller N_{sp} Spulen eines Systems und

b) N -Störfeld-Meßwerte der drei oder mindestens einer Komponente des zu kompensierenden magnetischen Störfeldes $B_{n,i}$ ($n=1, \dots, N$, $i = 1, 2, 3$) mit den zugehörigen Meßorten $X_{m,n,i}$ ($n=1, \dots, N$, $i = 1, 2, 3$).

Die Meßwerte seien auch jetzt mit einer Streuung $\sigma_{n,i}$ behaftet; die zugrunde liegende Meßfehlerverteilung sei normal mit dem Mittelwert 0.

Die gesuchten Kompensationsströme in den Spulen 3, 4, 5 sollen ein Magnetfeld erzeugen, welches das gemessene Störfeld an den Orten X_m im Sinne des kleinsten Fehlerquadrats annähert bzw. aufhebt. Wie im zweiten Verfahrensschritt wird wieder angesetzt:

$$RMS = \sum_{n=1}^{n=N} \sum_{i=1}^{i=3} \frac{1}{\sigma_{n,i}^2} (B_{n,i} - RS_{n,i})^2 = \text{Min} \quad (2.1)$$

$RS_{n,i}$ repräsentiert das von allen Spulen des Systems in den N Meßpunkten erzeugte Magnetfeld; setzt man den Formelausdruck (1.6) ein, so wird das mittlere Fehlerquadrat:

$$RMS = \sum_{n=1}^{n=N} \sum_{i=1}^{i=3} \frac{1}{\sigma_{n,i}^2} \left(B_{n,i} - \sum_{k=1}^{k=N_{sp}} I_k \cdot W_k \cdot P_{i,k} \cdot F_{i,k,n} \right)^2 \quad (2.2)$$

Die Ströme I_k sind offensichtlich eine lineare Einflußgröße; das Minimum des mittleren Fehlerquadrats stellt sich also ohne Iteration für

$$\frac{\partial RMS}{\partial I_l} = 0 ; \quad l = 1, \dots, N_{sp} \quad (2.3)$$

ein.

Das entsprechende Differenzieren führt auf folgendes Gleichungssystem:

55

$$\sum_{k=1}^{k=N_{sp}} I_k \cdot L_{k,e} = T_e \quad \downarrow \begin{matrix} e=1 \\ \vdots \\ N_{sp} \end{matrix} \quad (2.4)$$

$$\text{mit } T_e = \sum_{n=1}^{n=N} \sum_{i=3}^{i=3} (B_{n,i} \cdot w_e \cdot p_{i,e} \cdot F_{i,e,n}) / \sigma_{i,n}^2 \quad (2.5)$$

$$\text{und } L_{k,e} = \sum_{n=1}^{n=N} \sum_{i=3}^{i=3} (w_k \cdot p_{i,k} \cdot F_{i,k,n}) (w_e \cdot p_{i,e} \cdot F_{i,e,n}) / \sigma_{i,n}^2 \quad (2.6)$$

Die Bestimmungsgleichung für die Ströme I_k lautet:

$$I_k = L_{k,e}^{-1} \cdot T_e \quad (2.7)$$

Damit sind Ströme ermittelt, die das gemessene Störfeld $B_{n,i}$ in den Orten $X_{m,n,i}$ im Sinne des minimalen Fehlerquadrates annähern; eine Kompensation des gemessenen Störfeldes stellt sich durch einen Vorzeichnungswechsel ein, also für die Kompensation

$$I_{k_k} = L_{k,e}^{-1} \cdot (-T_e) \quad (2.8)$$

Im Gegensatz zu der eingangs erläuterten bekannten Lösung mit einem direkten mathematischen Modellansatz zwischen gemessenem Fahrzeugstörfeld und den Kompensationsströmen erfolgt bei dem Verfahren nach der Erfindung eine Bestimmung der "Wicklungseffekte", d.h. eines die Schiffsrealitäten berücksichtigenden Wertes, der von den Materialeigenschaften der real zu durchdringenden Außenwand und der realen Einbauteile abhängig ist sowie die Gewinnung einer Korrektur zu ungenauen Spulengeometriedaten.

Der Wicklungseffekt beschreibt letztlich den Unterschied zwischen einer realen, im Schiff 1 befindlichen Spule 3 bzw. 4 bzw. 5, deren Feld durch die ferromagnetischen Massen von Einbauteilen und der Außenhaut verändert ist und einem entsprechend ungestörten Spulenfeld (Luftspule).

Durch das Einbeziehen dieses Wicklungseffektes ist die durch das erfindungsgemäße Verfahren erreichbare Kompensation besser an die Realität angepaßt (die in einem mathematischen Modell so umfassend nicht darstellbar ist), d.h. sie ist dadurch wesentlich genauer, zumal auch Spulenfehler mit erfaßt bzw. korrigiert werden, die in dem Fall eines mathematischen Modells ebenfalls nicht berücksichtigt werden können.

Aus dem gemessenen Störfeld des Schiffes 1 werden mit Hilfe der Wicklungseffekte Kompensationsströme ermittelt. Das superpositionierte Feld der einzelnen MES-Spulen ergibt nach ein oder mehreren Optimierungsschritten (rechnerische Optimierung) das gemessene Störfeld mit umgekehrten Vorzeichen. Damit sind die einzelnen Korrektur-MES-Ströme ermittelt, die vorzeichengerecht auf den bisher eingestellten MES-Strömen aufaddiert werden müssen.

Die gegenseitige Beeinflussung der Spulenfelder ist durch die Vermessung der Spulenfelder mit einem Meßteppich hinreichend bekannt und kann entsprechend berücksichtigt werden; so ist der Gefahr einer Überkompensation begegnet.

Vorstehende Schritte können manuell oder mit Hilfe von entsprechenden Einrichtungen selbsttätig aber auch kombiniert manuell/selbsttätig ausgeführt werden. Derartige Einrichtungen zur Aufschaltung und Messung von Wicklungsströmen, Erfassen von Magnetfeldern, Bearbeiten von Algorithmen und dergleichen stehen dem Fachmann in ausreichender Auswahl zur Verfügung und können zu geeigneten Signalverarbeitungs-Einrichtungen in der Vermessungsanlage als Station zusammengefaßt werden.

Erbringt das erfindungsgemäße Verfahren bereits bei der Ersteinstellung erhebliche Vorteile, so zeigen sich die Vorteile auch besonders deutlich bei der Einstellkontrolle bei den üblichen nachfolgenden Routinevermessungen.

Bei der Erstvermessung werden dazu wesentliche Daten in einer Datenbank gespeichert, z.B. die die
5 Kompensation bewirkenden Wicklungsströme nach Größe und Richtung (Schaltzustand der Spulen), die (korrigierten) Spulendaten, die Wicklungseffekte.

Erforderlich ist ebenfalls, den Induziertanteil des Schiffes (nach horizontalen und vertikalen Komponenten getrennt) genau zu ermitteln, und diese Information ebenfalls in der Datenbank abzuspeichern. Die Induziertfelder haben nicht nur Informationswert, sondern können auch zur Fehlerermittlung herangezogen
10 werden. Die Übertragungsfunktionen für die Kompensation der horizontalen und vertikalen Induziertfelder stehen, einmal für ein Schiff ermittelt, fest und sind nur noch abhängig von den Störgrößen "Kurs" und "Einsatzgebiet". Das Ausregeln der Kursabhängigkeit ist Aufgabe der MES-Regelanlage. Sollte das Einsatzgebiet sich ändern, sind die Einspeisungen des MES zur Kompensation der Induziertanteile leicht zu ermitteln. Sollten an einem Schiff umfangreiche Umbauten stattgefunden haben, ist die Induziertfeldermit-
15 lung neu vorzunehmen.

Die FIG 5 zeigt einen Datenflußplan "Datenbank-Erstellung" für eine Schiffsdatenbank 11. Dieser Datenflußplan enthält neben den eigentlichen technischen Werten auch die notwendigen Nebendaten, Schritte für die Datenprüfung und Datenverwaltung.

In einer Eingabeeinheit 6 erfolgt die Erstellung der Identifikatoren und Nebendaten zur Statistik und
20 Kontrolle, somit eines "Steckbriefes-Schiff". Eine nachgeschaltete Prüfeinheit 7 übernimmt die Prüfung der Daten auf Vollständigkeit und Aktualität. Von der Prüfeinrichtung 7 können die Daten an eine Belegausgabe 8 oder eine Datenverwaltung 9 weitergeleitet werden. Durch die Datenverwaltung 9 werden Informationen für die Vermesser bereitgestellt sowie Prüfungen und Plausibilitätskontrollen der Messungen durchgeführt. Die Datenverwaltung 9 arbeitet mit einer das Vermessungsprogramm enthaltenden Einheit 10 und der
25 Schiffsdatenbank 11 zusammen. Die Schiffsdatenbank 11 enthält die Identifikatoren, Spulendaten, Wicklungseffekte und die P-J-Trennung. Der Datenfluß ist durch Pfeile zwischen den verschiedenen Geräteeinheiten gekennzeichnet.

Steht die Vermessung eines Schiffes 1 im Rahmen der Einstellkontrolle an, so werden, wie in FIG 6 dargestellt, vor der Vermessung des Schiffes 1 die Schaltzustände und Spulenströme der MES-Anlage an
30 die Meßstelle 12 übermittelt und mit den in der Schiffsdatenbank 11 abgespeicherten, bis dahin aktuellen Werten verglichen.

Der zugehörige Datenflußplan "MES-Einstellung" ist in FIG 7 dargestellt, wobei Meßwertübertragungspositionen durch Blitzsymbole gekennzeichnet sind.

Werden Abweichungen festgestellt, so ist auf jeden Fall zu ergründen, wie diese entstanden sind und
35 aus welchem Grund.

Anschließend wird das Schiff mit eingeschalteter MES-Anlage vermessen und es erfolgt ggf. mit Hilfe der Informationen aus der Datenbank eine Neuberechnung bzw. Neueinstellung der MES-Kompensationströme entsprechend den im dritten Verfahrensschritt der Ersteinstellung beschriebenen Verfahren mit einer nachfolgenden Kontrollmessung, ob die gewünschte Minimierung erreicht wurde, eine Aktualisierung
40 der Schiffsdatenbank.

Es ist eine automatische oder manuelle Übertragung der Schaltzustände und der aktuellen Wicklungsströme vom Schiff 1 zur Informationsverarbeitungsanlage in der Station 12 möglich. Die magnetische Vermessung und Erfassung der Daten kann in einer stationären Anlage oder im Überlaufverfahren in einer land-oder schiffsgestützten Sondenstreckenanlage, mit Wegstreckenermittlung erfolgen.

Bei einer manuell zu schaltenden MES-Anlage erfolgt zweckmäßig die Übergabe der Einstelldaten mit Hilfe eines Displays.

Bei automatischer Einstellung erfolgt die Übergabe der Einstelldaten zweckmäßig an den Automatikschaltschrank im Schiff oder an den MES-Bordrechner.

Durch die Ermittlung der MES-Ströme zur Einstellung der MES-Anlage mit Hilfe eines Informationsverarbeitungssystems, gestützt auf eine Datenbank der Wicklungseffekte, kann daher eine optimale, reproduzierbare MES-Einstellung in kürzester Zeit erreicht werden.

Die Zahl der Messungen kann auf eine Ankunfts- und eine Entlassungsmessung beschränkt werden.

Es ist mit Vorteil eine schnelle, exakte und reproduzierbare Einstellung der MES-Anlagen auch an Meßstellen, die keinen Meßteppich besitzen, möglich bzw. das Verfahren erlaubt eine MES-Einstellung mit
55 einer mobilen Meßanlage, d.h. von einem Vermessungsschiff aus mit einer Wegstreckenbestimmung für das zu vermessende Objekt.

Ansprüche

1. Verfahren zur Einstellung einer magnetischen Eigenschutz (MES)-Anlage mit einem großräumigen, dreiachsigen Spulensystem bestehend aus stromdurchflossenen Spulen (3,4,5) in drei orthogonalen Achsen zur Kompensation des magnetischen Störfeldes eines Fahrzeuges (1), bei dem im ersten Schritt in einer stationären Meßanlage bei abgeschalteter MES-Anlage das zu kompensierende Störfeld in mindestens einer Koordinatenrichtung in zwei Meßtiefen gemessen wird und die Spulenströme (Kompensationsströme) nach Größe und Richtung selbsttätig so bestimmt werden, daß das Störfeld minimiert wird,

dadurch gekennzeichnet,

daß in einem zweiten Schritt nacheinander jede Spule (3 bzw.4 bzw.5) mit einem Einheitsstrom in einer vorgegebenen Richtung beaufschlagt und jeweils mindestens eine Komponente des sich dabei einstellenden Einheits-Magnetfeldes an vorgegebenen Orten gemessen wird sowie daß unter Verwendung der vorgegebenen Meßwerte für den Einheitsstrom, des Einheits-Magnetfeldes und der Spulendaten, der "Wicklungseffekt" jeder Spule (3 bzw.4 bzw.5), d.h. der den Unterschied zwischen einer realen im Fahrzeug befindlichen Spule (3,4,5), deren Feld durch ferromagnetische Massen von Einbauteilen und Außenhaut verändert ist und einem entsprechenden ungestörten Spulenfeld (Luftspule) beschreibt - unter Korrektur von Lagekoordinatenfehlern in den Spulendaten - durch spuleniterative Annäherung des Rechenwertes des Einheits-Magnetfeldes an die entsprechenden Meßwerte mittels eines ersten Algorithmus bestimmt wird, daß in einem dritten Schritt unter Verwendung der Werte für das im ersten Schritt gemessene Fahrzeug-Störfeld und der im zweiten Schritt gewonnenen Werte für die Wicklungseffekte und der korrigierten Spulendaten die optimalen Kompensationsströme durch stromiterative Annäherung des Spulensystemfeldes an das gemessene Störfeld mittels eines zweiten Algorithmus ermittelt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

daß der Wicklungseffekt jeder Spule (3 bzw.4 bzw.5) und die Spulendaten sowie die optimalen Kompensationsströme nach Größe und Richtung (Schaltzustand der Spulen) in einer fahrzeugtypischen Datenbank (11) gespeichert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet,

daß zusätzlich die Größen des Permanent-, der Induziert- und des Wirbelfeldanteils des magnetischen Störfeldes getrennt gespeichert werden.

4. Verfahren zur Einstellungskontrolle einer magnetischen Eigenschutz(MES)-Anlage mit einem großräumigen, dreiachsigen Spulensystem, bestehend aus strombeschickten Spulen (3,4,5) in drei orthogonalen Achsen zur Kompensation des magnetischen Störfeldes eines Fahrzeuges,

dadurch gekennzeichnet,

daß in einer Datenbank (11) gespeicherte Werte über Spulendaten und die optimalen Kompensationsströme der Ersteinstellung mit den aktuellen Werten der MES-Anlage verglichen werden, anschließend mit eingeschalteter MES-Anlage eine Störfeldmessung erfolgt und ggf. aufgrund von in der Datenbank (11) gespeicherten Werten über die Wicklungseffekte der Spulen (3,4,5) und korrigierter Spulendaten neue optimale Kompensationsströme durch stromiterative Annäherung des Rechenwertes des Störfeldes an das gemessene Störfeld mittels eines Algorithmus ermittelt werden und daß danach im Rahmen einer Kontrollmessung festgestellt wird, ob die gewünschte Minimierung des Störfeldes erreicht ist.

5. Verfahren nach Anspruch 4,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Einstellungskontrolle auf stationären sowie auf Überlaufmeßstrecken, bei letzteren jedoch mit gleichzeitiger Ermittlung der Meßpunktkoordinaten bei der Überlaufmessung erfolgt.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Einstelldaten für die MES-Anlage im on-line-Verfahren an entsprechende Signalverarbeitungseinrichtungen des Fahrzeuges (MES-Automatikschränk; MES-Bordrechner) übergeben werden.

7. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Einstelldaten für die MES-Anlage mittels eines Bildschirms der Bedienungsperson der MES-Anlage übermittelt werden.

55

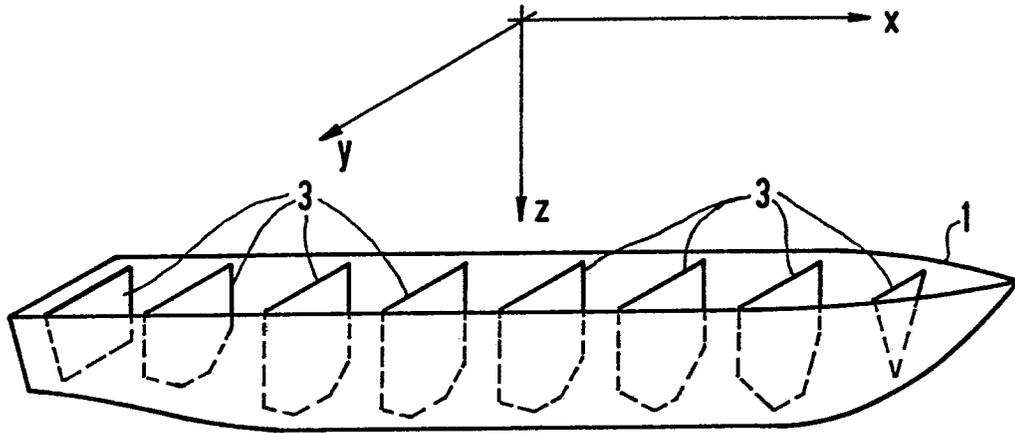


FIG 1

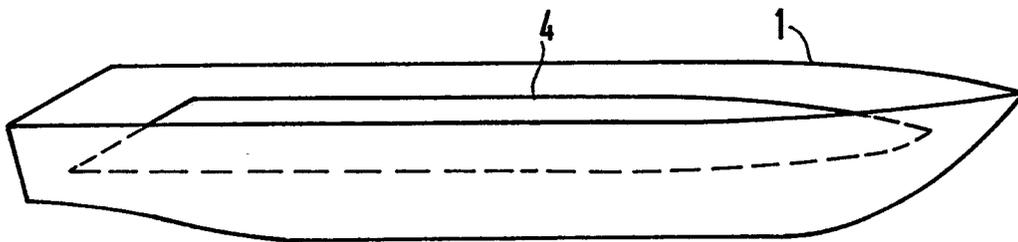


FIG 2

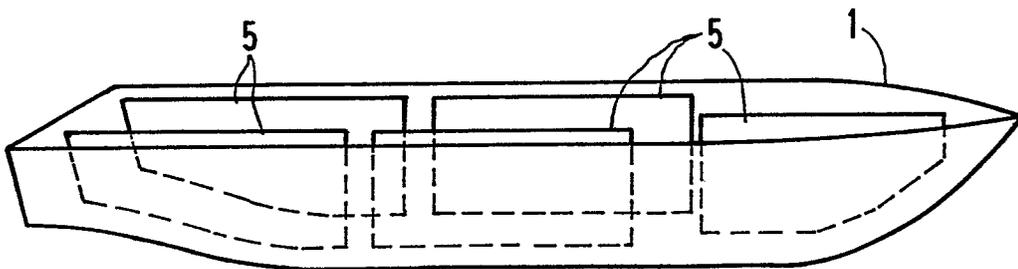


FIG 3

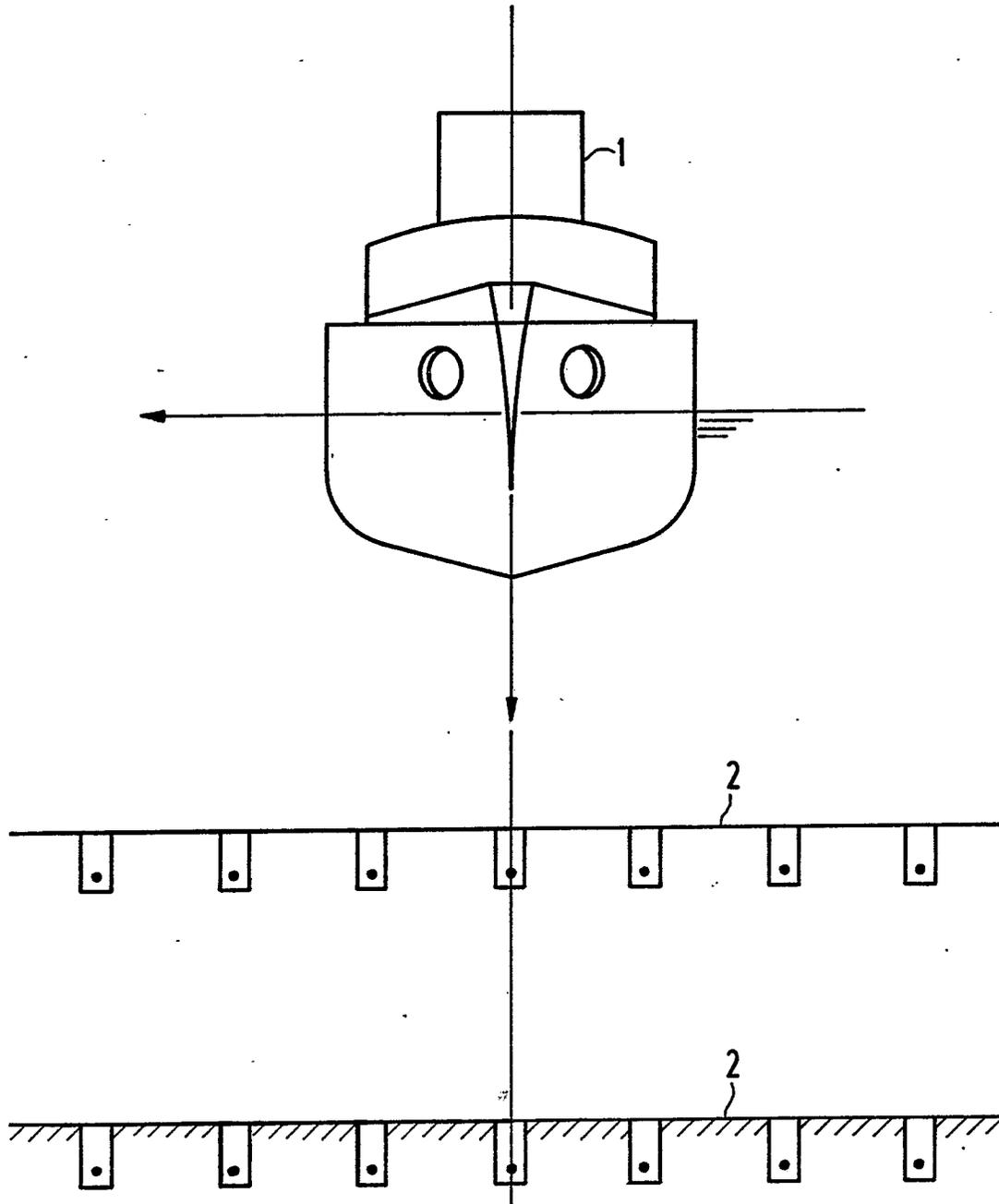


FIG 4

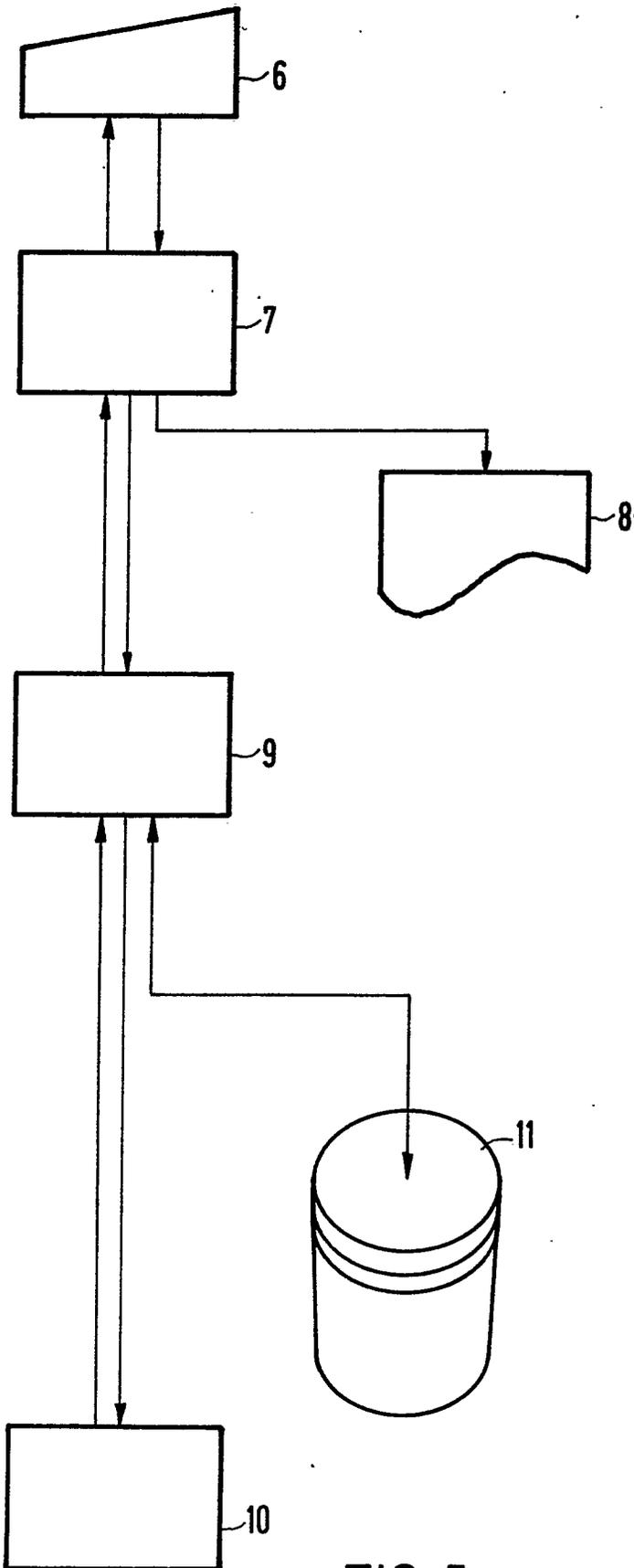


FIG 5

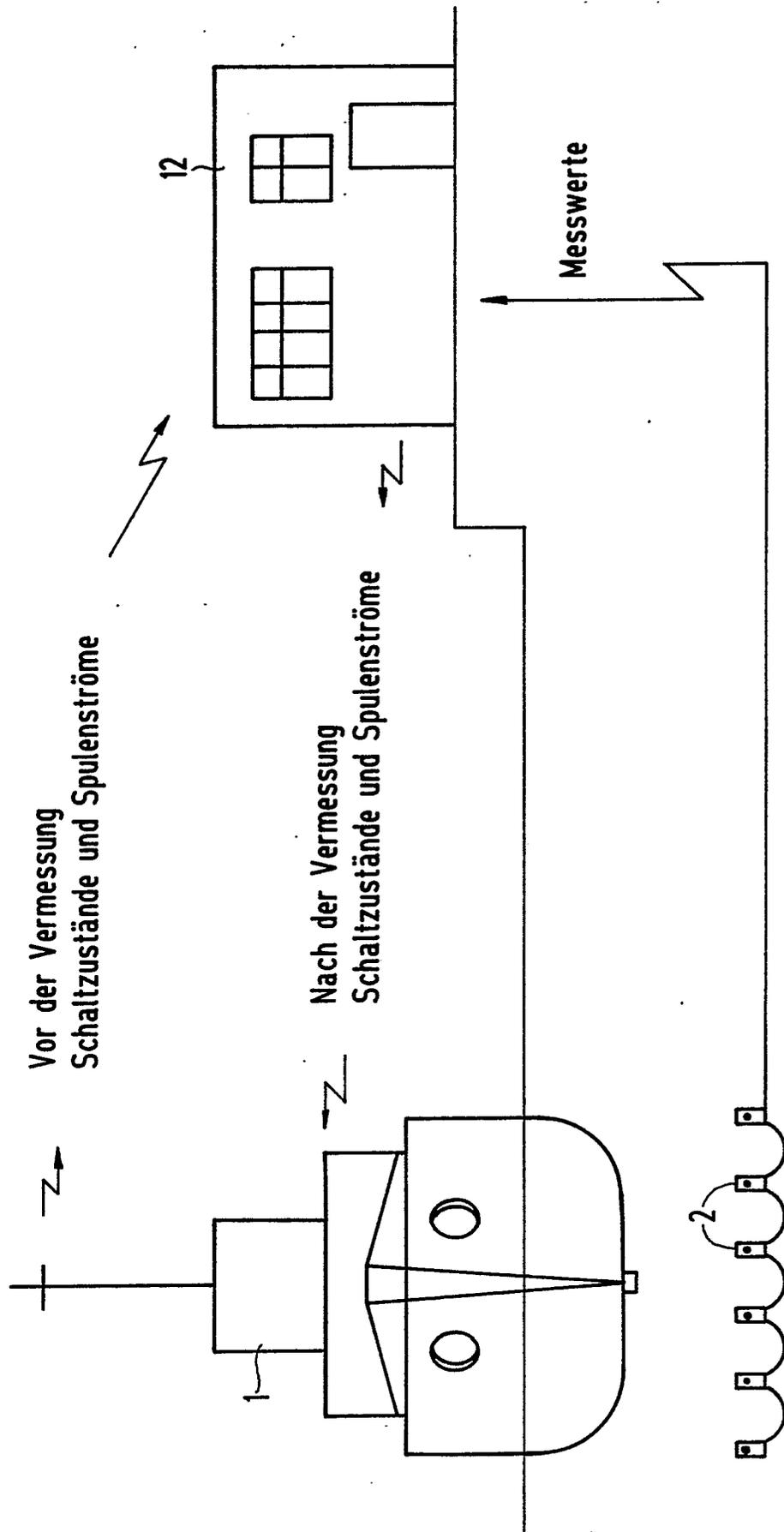


FIG 6

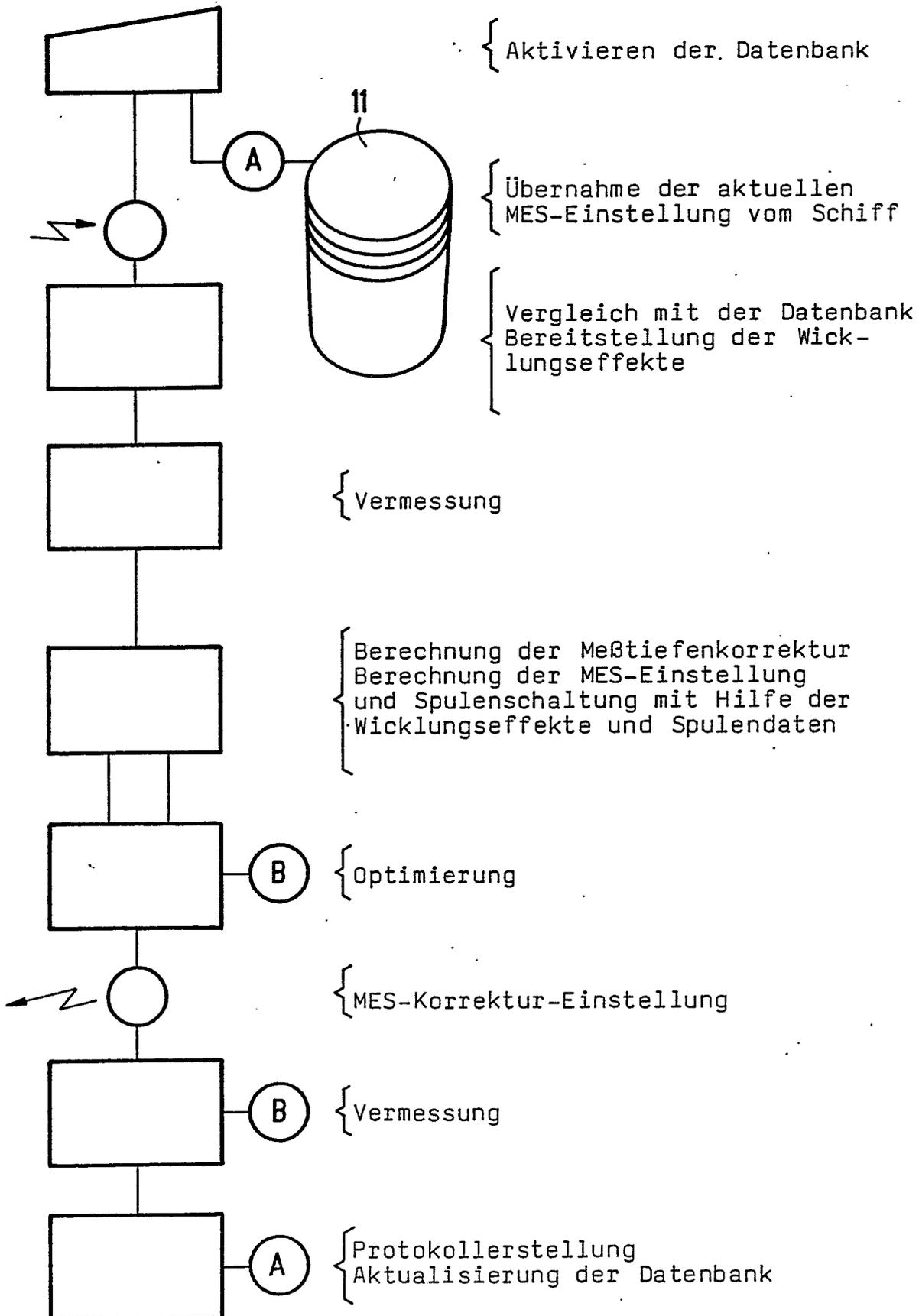


FIG 7



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.4)
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, Band 10, Nr. 24 (E-377)[2081], 30. Januar 1986; & JP-A-60 182 706 (SHIMAZU SEISAKUSHO K.K.) 18-09-1985 * Insgesamt *	1, 2, 3	B 63 G 9/06
A, P	--- EP-A-0 217 712 (THOMSON-CSF) * Seite 5, Zeilen 30-50; Seite 6, Zeilen 20-43; Figur 1 *	1	
A, P	--- WO-A-8 702 324 (A. THEOBALD) * Seite 4, Zeilen 8-25; Seite 5, Zeilen 6-10 *	1	
A	--- EP-A-0 024 307 (W. NISSEN) * Zusammenfassung *	1	
A	--- FR-A-2 510 805 (LICENTIA PATENT-VERWALTUNGS-GmbH) * Seite 8, Zeilen 1-18 *	1	B 63 G H 01 F G 01 R G 01 V

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 08-09-1987	Prüfer VISENTIN, M.

EPA Form 1503 03 82

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE

X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet
 Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie
 A : technologischer Hintergrund
 O : nichtschriftliche Offenbarung
 P : Zwischenliteratur
 T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze

E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
 D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
 L : aus andern Gründen angeführtes Dokument

& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument