

*Verlag*  
*1877*

# Der Kreiselkompass

Anschütz & Co.

Beschreibung  
des  
KREISELKOMPASSES

von

ANSCHÜTZ & CO.  
Neumühlen-Dietrichsdorf

Telephon: Kiel 1090, 1162

Telegr.-Adr.: Anschützco, Neumühlen-Dietrichsdorf (Holstein)

A. B. C. Code, 5. Edition

Kabel-Adresse: Anschützco, Kiel

Bankkonto: Ellerbeker Bank, Ellerbek

A handwritten signature in black ink, reading "M. J. I. Bose". The signature is written in a cursive style with a large, sweeping initial "M".

ZUR BEACHTUNG: Die Konstruktion des Kreiselkompasses  
und der Übertragung ist durch zahlreiche In- und Aus-  
lands-Patente und Patent-Anmeldungen geschützt.

Nachdruck des Textes und der Abbildungen, auch auszugs-  
weise, ist nur gestattet, wenn unser Einverständnis vorher  
eingeholt worden ist.

*„Eppur si muove“.*

Der Kreiselkompaß ist gegenwärtig der einzige Apparat, der praktischen Zwecken dienend uns fortgesetzt die Richtung der Erddrehung und ihren Drehsinn angibt; er gestattet sogar, die Geschwindigkeit der Erddrehung ganz unabhängig von irgendwelchen astronomischen Beobachtungen bis auf 1 % genau zu berechnen.

Diese interessanten Eigenschaften in Verbindung mit der erstmaligen Lösung der Kompaßfrage durch Anwendung dynamischer Kräfte erklären das Aufsehen, welches das Instrument bei seinem Eintritt in die Öffentlichkeit hervorgerufen hatte. Es sind uns seitdem aus Schiffahrtskreisen sowie von wissenschaftlicher Seite vielfache Anfragen nach einer Beschreibung der Konstruktion und der Wirkungsweise zugegangen, doch konnten wir diese nur durch unvollständige Skizzen und Erläuterungen beantworten. Es ist auch begreiflich, daß die fast beispiellos rasche Entwicklung eines neuen Zweiges der Technik wenig Zeit läßt, vollständige Kataloge herauszugeben. Dazu kam ferner der Umstand, daß wir jede Verbesserung, die sich durch den praktischen Gebrauch herausstellte, stets sofort eingeführt haben, sodaß die Drucksachen schon bei ihrer Herausgabe veraltet gewesen wären.

Auch die folgenden Zeilen werden notgedrungen die erstrebte Vollständigkeit noch an einzelnen Stellen vermissen lassen. Dagegen hat sich nach mehrjährigen Erfahrungen im Bordbetrieb nach und nach die Konstruktion herausgebildet, an der grundlegende Änderungen vorläufig wohl nicht mehr eintreten werden.

Wir benutzen diesen Zeitpunkt, den Freunden und Interessenten im nachstehenden die mehrfach versprochene Beschreibung zu überreichen.

Kiel, im Sommer 1910.

Anschütz & Co.

## Inhalt:

---

	Seite
Geschichtliches . . . . .	7
Beschreibung des Kreiselkompasses . . . . .	10
„ der Übertragung . . . . .	22
„ „ Nebenapparate . . . . .	28
Theorie . . . . .	30
Gebrauch an Bord . . . . .	51
Fabrikation . . . . .	59
Anhang I, Tabelle des Winkels $\delta$ . . . . .	69
„ II, Präzessionsbewegungen . . . . .	73
„ III, Vorschrift für das Maschinenpersonal . . . . .	77
„ IV, Vollständiges Schaltungsschema einer Über- tragungsanlage . . . . .	Einlage

---

## Geschichtliches.

Der bekannteste Versuch, den der große französische Physiker Foucault anstellte, ist zweifellos sein im Jahre 1851 gezeigtes Pendel zum Nachweis der Erdrotation. Weniger bekannt geworden sind dagegen seine Versuche, die er in der gleichen Absicht mit dem Kreisel vornahm.\*) Der Hauptgrund hierfür ist wahrscheinlich der Umstand gewesen, daß es nach ihm jahrzehntelang anderen Experimentatoren nicht gelingen wollte, mit auslaufenden Kreiseln, d. h. Kreiseln, die nach dem Aufziehen nur eine verhältnismäßig kurze Zeit laufen konnten, einen sicheren Nachweis der Erdrotation zu liefern. Ohne Zweifel hatte auch Foucault selbst mit den damaligen Hilfsmitteln die größten Schwierigkeiten, doch war er dank seines eminenten Folgerungsvermögens im Stande, durch logisches Denken auch da zu Resultaten zu kommen, wo das Experiment versagte. So stellte er das Gesetz auf, daß ein Kreisel mit drei Freiheitsgraden (d. h. ein Kreisel, der sich frei in den drei Dimensionen bewegen kann, unbeeinflusst durch die Schwerkraft der Erde), ähnlich wie das Pendel die Rotation der Erde anzeigen müsse. Er gelangte ferner zu der Folgerung, daß ein Kreisel mit nur zwei Freiheitsgraden auf der Erde infolge seiner Eigenrotation und der Erdrotation das Bestreben haben würde, seine Achse parallel der Erdachse zu stellen.

Als mit der zunehmenden Verwendung des Eisens im Schiffbau sich die Notwendigkeit herausstellte, einen vom Magnetismus unabhängigen Richtungsweiser zu finden, wurden vielfach Untersuchungen über Kreisel mit zwei und drei Freiheitsgraden angestellt, da man hoffte, hierin den gewünschten Ersatz für den Magnetkompaß zu finden.

Neben anderen begann Dr. Anschütz-Kaempfe im Jahre 1900 Versuche mit dem Kreisel, welche anfänglich auf dem

---

\*) Der Foucault'sche Kreiselsversuch soll bereits 1836 von Lang in Edinburg angeregt, jedoch nicht ausgeführt worden sein.

ersten Foucaultschen Prinzip basiert waren, d. h. Kreisel mit drei Freiheitsgraden zum Gegenstand hatten. Einen Kompaßersatz im eigentlichen Sinne hätte ein solches Instrument zwar nicht dargestellt, doch würde es durch Angabe einer festen Standlinie der Navigation bereits große Dienste leisten können. Allerdings war die Lösung der Aufgabe, einen Kreisel so aufzuhängen, daß sein Schwerpunkt mit dem Aufhängepunkt absolut zusammenfällt, eine außerordentlich schwere, ja vielleicht ist es überhaupt unmöglich, zu erreichen, daß sich ein Kreisel in vollkommen indifferentem Gleichgewicht befindet. (Vergl. Lauffer.) Die Vorrichtungen, die dieses herbeiführen sollten, wurden immer komplizierter, und trotzdem zeigten die im März 1904 an Bord S. M. S. „Undine“ gemachten Versuche, daß die Konstruktion noch nicht allen Anforderungen genügte, und daß ihre weitere Fortbildung zu immer größeren Komplikationen führen mußte.

Den Hauptwendepunkt in der Entwicklung der Konstruktion des Kreiselkompasses bildet das Frühjahr 1906, als Dr. Anschütz-Kaempfe zum ersten Male dem Kreisel mit drei Freiheitsgraden einen zweiten mit zwei Freiheitsgraden beifügte, der das ganze System in die Nord-Südlinie führte. Die folgenden Jahre zeigten, daß die Einführung des Kreisels mit zwei Freiheitsgraden der richtige Weg war, denn während sich das Azimuthinstrument immer mehr kompliziert hatte, begann jetzt ein Nebenteil nach dem anderen überflüssig zu werden, und der Apparat wurde stets einfacher.

Wie jedoch Dr. Martienssen in der Physik. Zeitschrift nachwies, ist ein Kreisel mit zwei Freiheitsgraden nicht allein der Erddrehung gegenüber empfindlich, sondern wird auch von allen Drücken beeinflußt, die infolge der Schiffsbewegungen auftreten. Diese Drücke versetzen den Kreisel in Schwingungen und beeinträchtigen seine Weisung.

Da der rotierende Kreisel eine große scheinbare Masse besitzt und fast reibungsfrei aufgehängt sein muß, so war zu erwarten, daß jede Schwingung sehr lange anhielt und sich im Betrag durch neue Bewegungsdrücke fortgesetzt ändern würde. Es lag also anscheinend eine Unmöglichkeit vor, den Kreisel zu einem Kompaßersatz auszubilden, bis es gelang, eine brauchbare Dämpfung der Schwingungen zu erzielen.

Hierzu war im Anfang ein besonderer Kreisel erforderlich, während jetzt die Dämpfung einen Bestandteil des einzigen Kreisels des Instruments bildet.

Es folgten weitere Verbesserungen, die auf zahlreichen Probefahrten auf Privatdampfern untersucht wurden, bis im April 1908 eine entscheidende Dauererprobung von 4 Wochen Länge auf S. M. S. „Deutschland“ vorgenommen wurde. Seitdem hat der Kreiselkompaß in rascher Folge auf zahlreichen Schiffen der deutschen Marine als Steuer- und Unterdeckskompaß Eingang gefunden.

Selten ist wohl die Anwendung eines neuen Prinzipes zu einem gelegeneren Zeitpunkte in die Praxis eingeführt worden. Während in der Kriegsmarine z. B. noch vor wenigen Jahren der Magnet-Kompaß auch auf den Linienschiffen gut kompensiert werden konnte, sind seitdem Displacements von 18 000 tons und darüber in Erscheinung getreten, und die Massen der schwenkbaren Türme und der anderen beweglichen Eisenteile an Bord haben enorm zugenommen.

Sodann fällt in die letzten Jahre die rapide Entwicklung des Unterseebootes. Für diese Waffe existierte bisher kein zuverlässiger Kompaß, trotzdem sie in ganz besonderem Maße auf einen solchen angewiesen ist.

Diese kurzen Hinweise genügen zur Erklärung des lebhaften Interesses, das alle größeren Marinen an unseren Konstruktionen genommen haben; die Vorteile, welche die Anwendung des Kreiselskompasses an Bord der Kriegsschiffe ergibt, werden in späteren Abschnitten besprochen.

---

## Beschreibung.

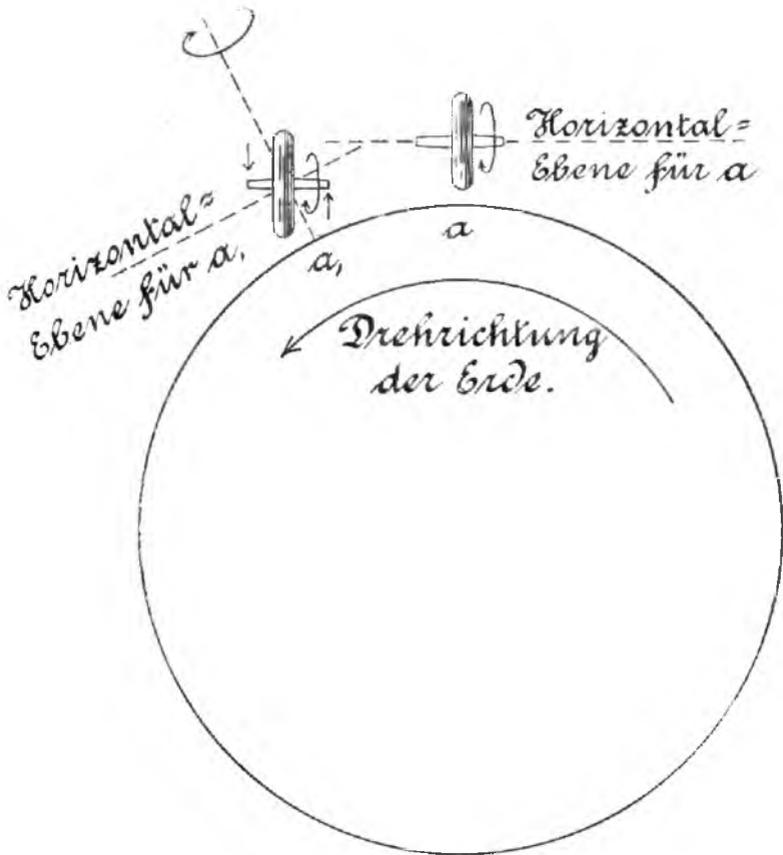
Um die Beschreibung des Kreiselkompasses verständlich zu machen, haben wir vor allen Dingen die Entstehung der Richtkraft zu besprechen. Der Foucaultsche Satz besagt ganz allgemein, daß jeder frei rotierende Körper, dem man eine neue Rotation zu erteilen sucht, seine Drehachse auf dem kürzesten Wege der Achse der neuen Rotation parallel stellt, so daß beide Rotationen im gleichen Drehsinn erfolgen. Auf unseren Kreisel angewandt bedeutet der Satz, daß die Drehung der Erde dem Kreisel die Tendenz verleiht, seine Achse der Erdachse parallel zu stellen.

Bei der Erläuterung der Bewegungsvorgänge, welche dieses Resultat herbeiführen, dürfen wir wohl den Begriff der Präzessionsbewegung als bekannt voraussetzen.\*) Wir haben ferner vor auszuschicken, daß der Kreisel an einem von Quecksilber getragenen Schwimmer derart befestigt ist, daß er mit diesem allseitig wie ein vollkommenes Pendel schwingen kann, wenn er nicht rotiert. Der Kreisel hängt mit wagrechter Achse im tiefsten Punkte des ganzen schwimmenden Systems (bestehend aus Kreisel, Schwimmer und Rose, siehe auch Abb. 3, 4 und 5). Infolge seines Gewichts pendelt er in diese Stellung zurück, wenn man ihn anstößt. Man kann also sagen, daß die Schwerkraft die Achse in die horizontale Lage zurückbringt, falls der Kreisel nicht in Betrieb ist.

Ein rotierender Kreisel hat dagegen das Bestreben, die Richtung seiner Achse beizubehalten (Beispiel: Diabolo). Wir denken uns einen rotierenden Kreisel in der Anfangsstellung a der Figur 1 befindlich. In dieser Figur soll der Kreis den Äquator unserer Erde vorstellen. In a ist also die Kreiselachse horizontal und in der W/O-Richtung. Befindet sich nun nach einer bestimmten Zeit der Aufstellungsort des Kreisels infolge der Erdrotation in  $a_1$ , so wird die Richtung der Achse

---

\*) Siehe auch Anhang II.



Figur 1

Einfluß der Erddrehung auf den Kreisel, schematisch.

nicht mehr mit der Horizontalebene übereinstimmen: Die Horizontalebene neigt sich fortgesetzt, weil sich die Erde dreht, der Kreisel dagegen behält seine Achse parallel zur Anfangsstellung.

Sowie aber die Kreiselachse aus der Horizontalebene herausragt, sucht die Schwerkraft sie in diese zurückzudrücken, wie oben gesagt. Diese Wirkung der Schwerkraft kann dargestellt werden als Kräftepaar, das durch die beiden geraden Pfeile der Figur 1 repräsentiert wird. Unter dem Einfluß dieses Kräftepaars macht der Kreisel eine Präzessionsbewegung,

deren Richtung durch den gebogenen Pfeil über dem Kreisel in  $a_1$  angedeutet ist.

Steht die Kreiselachse in der Anfangsstellung  $a$  dem Äquator nicht ganz parallel, so wird sie trotzdem eine Elevation durch die Erdrotation erfahren. Eine einfache Überlegung zeigt ferner, daß sie überhaupt in jeder Stellung, die nicht genau N/S ist, von der Erdbewegung beeinflußt eine Präzessionsbewegung nach dem Meridian machen muß. Man kann ferner an Hand der Präzessionsgesetze nachprüfen, daß immer ein bestimmtes Ende der Achse nach N, das andere aber nach S wandern muß und findet in Übereinstimmung mit dem Foucaultschen Satze bestätigt, daß am Äquator die Ruhelage der Kreiselachse parallel der Erdachse bei gleichem Drehungssinn beider sein muß.

In der Theorie gilt das für jeden rotierenden Körper, und Prof. Perry hat darum in gewissem Maße recht, wenn er sagt (Spinning tops, S. 108):

„Ein eigentümliches Gefühl überkommt uns, wenn wir zum ersten Mal erkennen, daß alle rotierenden Körper, wie die Schwungräder der Dampfmaschinen und dergl., sich stets dem Polarstern zuwenden wollen; solange sie in Bewegung sind, drücken sie leise, aber vergeblich an ihren Unterlagen, um sich nach dem Gegenstand ihrer Verehrung herumzudrehen.“ Natürlich ist diese Richtkraft nur bei sehr hohen Umlaufszahlen und Ausschaltung aller Reibungskräfte nachzuweisen; unter gewöhnlichen Verhältnissen ist sie viel zu gering, um überhaupt wahrgenommen zu werden.

Stellen wir uns den Kreisel der Figur 1 in anderen Breiten als am Äquator vor, so können wir nicht mehr von einem strikten Parallelismus zur Erdachse sprechen: Die Achse wird vielmehr von der stärkeren Schwerkraft in die Horizontalebene gefesselt und innerhalb dieser von der Richtkraft in die Meridianebene dirigiert.\*)

Die richtende Kraft, welche die Erddrehung auf den Kreisel ausübt, nimmt mit der Annäherung an die Pole immer mehr ab. An den Polen selbst ist die Richtkraft gleich Null,

---

\*) Dieser Satz wie überhaupt die Erklärung der Richtkraft in diesem Artikel gilt nur angenähert; eine vollständigere Analyse der Bewegungen findet sich im Kapitel Theorie.

da am Pol die Horizontalebene keine Winkelverdrehung mehr erfährt, der Kreisel also keine Veranlassung haben würde, eine Elevation der Achse durch die Erddrehung zu erhalten. Außerdem hört ja am Pol der Unterschied der Himmelsrichtungen auf; jede Gerade ist eine Meridianlinie, also Südrichtung am Nordpol.

Zur Illustration des Einflusses der Erddrehung auf den Kreisel stellt die Firma das in Figur 2 abgebildete Modell her. Der große Ring a ist in dem Fuß b drehbar und soll einen beliebigen Meridian der Erde repräsentieren. c ist ein kleiner Kreisel, der im Innern einen Drehstrommotor besitzt, d der Umformer, der Gleichstrom in Drehstrom für den Kreisel verwandelt.

Der Kreisel c ist drehbar wenn die elastischen Schnüre k an dem kleinen Ring g ausgehängt werden:

1. um seine Achse,
2. um eine senkrechte Achse, da der Ring e im Fuß f drehbar ist,
3. um eine Achse senkrecht zur Kreiselachse, da der Ring g mit dem Kreisel bei h und i in Spitzen läuft.

Die Anordnung repräsentiert dann einen Kreisel mit drei Freiheitsgraden. Setzt man den Kreisel in Betrieb, indem man bei m den Steckkontakt des Gleichstroms aufsteckt, so beobachtet man, daß eine Drehung des Meridianrings a nur einen ganz geringen Einfluß auf den Kreisel ausübt (infolge der noch vorhandenen Reibung in den Lagern), und daß die Kreiselachse annähernd nach ein und demselben Punkte im Zimmer weist.

Durch Einhängen der elastischen Schnüre k an den Ring g wird ein Freiheitsgrad fast vollständig unterdrückt. Diese Schnüre ersetzen bei unserem Modell die Schwerkraft, welche beim Kreiselkompaß den Kreisel in die Horizontalebene fesseln. Wie die Schwerkraft nach dem Mittelpunkt der Erde gerichtet ist, so weisen die Schnüre nach dem Mittelpunkt des Meridianrings a und bringen die Kreiselachse in die Horizontalebene unseres Erdmodells (= Tangentialebene) zurück. Setzen wir jetzt den Kreisel in Betrieb und erteilen dem Ring a mit der Hand eine langsame Drehung, so sehen wir sofort,

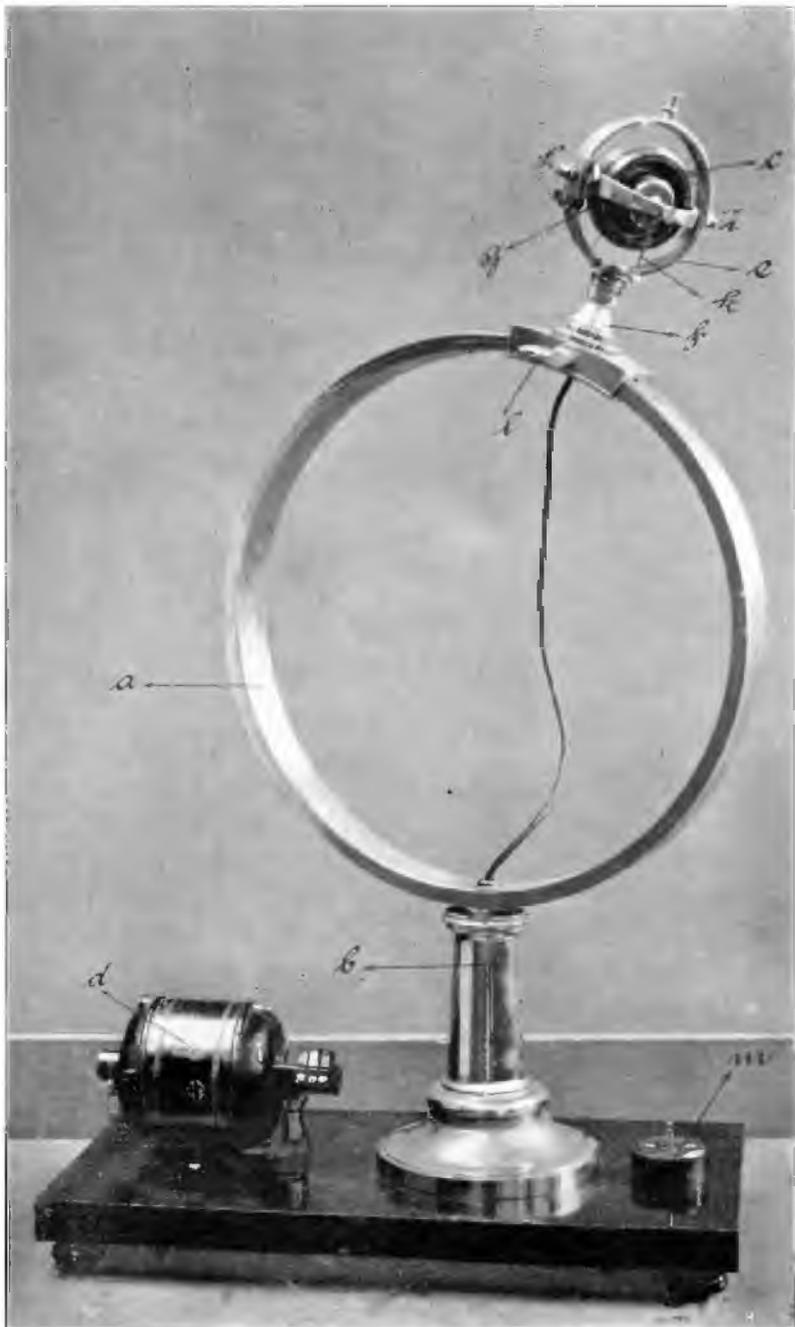


FIGURE 2

**Modell zur Demonstration des Einflusses der Erddrehung  
auf einen Kreisel mit zwei Freiheitsgraden.**

- a Meridianring.
- b Fuß mit Lager für a.
- c Drehstromkreisel.
- d Umformer des Gleichstroms in Drehstrom.
- e äußerer Ring, in f drehbar.
- f Fuß des Kreisels.
- g innerer Ring, in h und i drehbar.
- h und i Spitzenlager.
- k Elastische Schnüre.
- l Hebel zum Feststellen des Fußes f auf Ring a.
- m Steck-Kontakt für Gleichstrom (110 Volt).

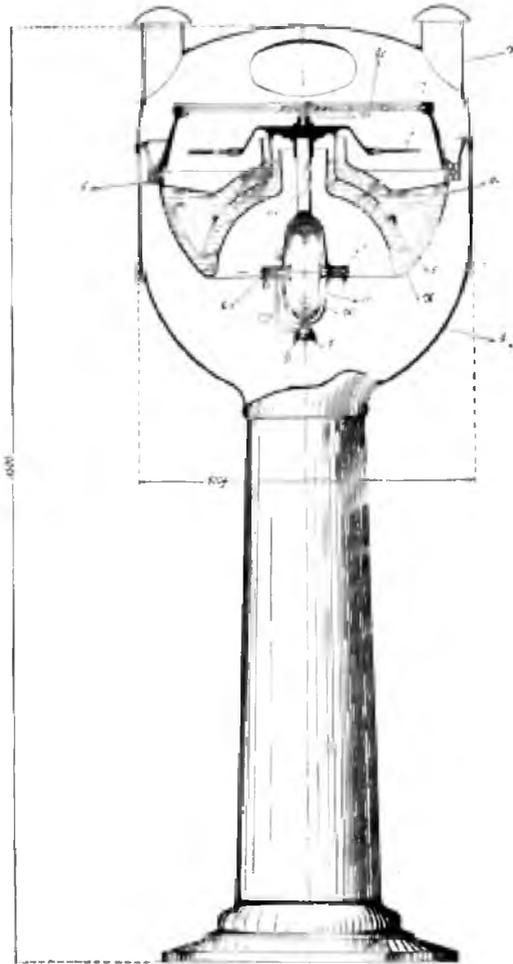
wie der Kreisel seine Achse nach einigen pendelnden Bewegungen dem Ring, also dem Meridian unseres Modells, parallel stellt.

Der Fuß f des Kreisels ist nach Lockern des Hebels l auf dem Meridianring verschiebbar. Wir können den Kreisel auf jedem Breitengrad des Modells aufstellen und hierdurch die Abnahme der Richtkraft mit der Annäherung an die Pole verfolgen. Wir können ferner beobachten, wie die Kreiselachse um  $180^\circ$  anders zeigt, sobald wir die Drehrichtung des Meridianrings umkehren. Man ersieht hieraus, daß wir von einem Nordpol und einem Südpol der Achse sprechen können; nur ist zu beachten, daß es sich hier um Drehpole und nicht um Magnetpole handelt.

Sobald mittels des Modells der Beweis geführt ist, daß die Achse eines rotierenden Kreisels bei richtiger Aufhängung infolge der Erddrehung mit einer Richtkraft begabt ist, die in vielen Stücken der Richtkraft einer Magnethöhle ähnelt, ist die nebenstehende schematische Figur 3 ohne weiteres verständlich. Sie stellt einen senkrechten Schnitt durch den Mittelpunkt des Apparates dar.

Die Kappe B, die links und rechts die Lager L des Kreisels trägt, ist vermittle des Ansatzstückes V an den Schwimmer S befestigt. (Wir sehen auf der Figur von dem Schwimmer nur zwei Querschnitte und haben ihn uns als einen hohlen Ring aus weichem Eisen vorzustellen). Aus dem gleichen Material ist der

*Schematischer Schnitt durch einen Meisselkompass v. Anschütz & C.*



Figur 3

ebenfalls ringförmige Kessel K gefertigt, der das Quecksilber Q enthält. Mit dem Schwimmer S ist ferner die Rose R starr verbunden, die demzufolge alle Bewegungen des Schwimmers und des Kreisels mitmacht. An der Teilung der Rose lesen wir die Bewegungen der Kreiselachse in der Horizontalebene ab, während uns eine auf der Rose angebrachte Libelle ermöglicht, etwaige Elevationen der Achse zu erkennen. Die Libelle ist in dieser Figur nicht mit dargestellt, aber deutlich in Figur 24 auf Seite 52 zu erkennen.

Der Quecksilberkessel K ist in bekannter Weise kardanisch gehängt; der äußere kardanische Ring C ist durch Federn und andere elastische Medien gegen Stöße geschützt. Außerdem kann das schwimmende System im Quecksilber etwas auf- und niedertauchen, sodaß der Kessel allen harten Stößen entzogen ist. Abgesehen von der besonderen ringförmigen Gestalt weicht die Hängung im Prinzip nicht von der Hängung eines magnetischen Fluidkompasses ab. Man kann also den Kreiselkompaß als einen Fluidkompaß bezeichnen, bei welchem die Magnetnadel durch einen Kessel ersetzt ist.

Zur Zentrierung des schwimmenden Systems ist ein Stift St in die Glasplatte Gl eingesetzt. Konzentrisch zum Stift ist eine Stromzuführungshülse vorhanden. Diese und der Stift leiten je eine Phase des Drehstroms vermittels konzentrischer Quecksilberkontakte in den Kessel ein, während die dritte Phase als Körperschluß durch Kessel, Schwimmer und Quecksilber verlegt ist.

Der Motor des Kreisels (hier nicht eingezeichnet) ist als Dreiphasen-Asynchron-Motor ausgebildet; der Stator trägt die Wicklung und ist innerhalb der Kreiselkappe angebracht, sodaß alle Leitungen fest verlegt werden können. Der Rotor ist in den Schwungring des Kreisels fest eingepreßt. Im normalen Betriebe macht der Kessel 20 000 Umdrehungen in der Minute. Er ist aus Nickelstahl hergestellt, Welle und Körper aus einem Stück, sodaß jede Fuge oder Verschraubung vermieden ist. Dagegen besitzen die Lagerenden Auflagen von besonders hartem Material, das selbst nach langem Betriebe keine wesentliche Abnutzung zeigt und im Bedarfsfalle ausgewechselt werden kann. Die Achse ist nach dem Lavalschen Vorbilde als „schwanke Welle“ ausgebildet, wodurch sich der

Schwerpunkt des Kreisels selbsttätig in die Rotationsachse einstellt, sobald die Tourenzahl die „kritische“ überschritten hat. Trotz der verhältnismäßig schwachen Welle ist der Kreisel im



Figur 4



Figur 5

Die wichtigsten Teile des Kreiselkompasses :

Kessel mit kard. Hängung

Schwimmendes System

Kreisel

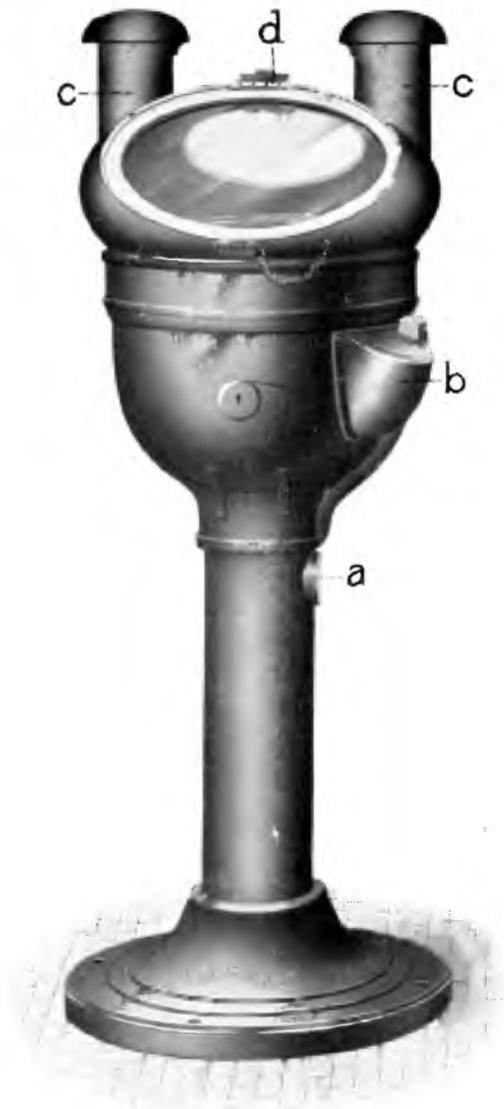
Aufsatz



Figur 6  
**Kreiselkompaß mit abgenommener Haube,**  
Tür geöffnet zur Inspektion der Ölgefäße am Kreisel

Betriebe vollkommen unempfindlich gegen Stöße, da die Achse auch während des kürzesten Stoßes sich immer einige Male um sich selbst dreht (333 Mal in der Sekunde) und so die biegenden Kräfte nacheinander von allen Seiten auf die Achse einwirken.

Die Kreiselkappe B besitzt auf beiden Seiten in der Nähe der Welle einige Luftzuführungslöcher und an der Peripherie einen Ausschnitt mit daran anschließender Düse. Diese An-



**Figur 7. Kompletter Kreiselkompaß.**

- a) Lichtschalter
- b) Kontrollapparat für den Drehstrom des Kreisels
- c) Kamine mit Glühlampen. Die Kamine sind so konstruiert, daß auch die normalen Lampen für Kompaßbeleuchtung eingehängt werden können.
- d) Dunkelschalter

ordnung wirkt bei der hohen Tourenzahl des Kreisels als Zentrifuge und erzeugt einen kräftigen Luftstrom, der neben der Kühlung des Kreiselmotors die Aufgabe hat, die Schwingungen des Kreisels um die Nord-Süd-Richtung zu dämpfen. Wie dieses erreicht wird, ist später besprochen in dem Abschnitt, der die Theorie des Kreiselkompasses ausführlicher behandelt. (Seite 30 und folgende.)

Abbildung 4 und 5 geben die wichtigsten Teile eines Kreiselkompasses wieder (von links nach rechts):

Quecksilberkessel mit kardanischen Ringen

Schwimmendes System, bestehend aus Kiesel in Kappe,  
Schwimmer und Rose,

Der Kiesel selbst, ohne Kappe,

Verschiebbarer Aufsatz mit Zentrierstift.

Wie die Teile zusammengehören, geht aus den Abbildungen 17 und 24 auf Seite 34 und 51 hervor.

Abbildung 6 zeigt den Kreiselkompaß mit abgenommener Haube und offener Tür, Abb. 7 den kompletten Apparat, wie er z. B. im Kommandoturm Aufstellung findet.

## Fernübertragung des Kreiselkompasses.

Die Einführung eines schnell rotierenden Kreisels an Stelle der Magnetonadel hat neben der Unabhängigkeit vom Magnetismus den Vorteil, der Rose einen energischen Widerstand gegen jede Richtungsänderung zu verleihen. Dieser Widerstand macht sich auch in der Vertikalebene geltend, oder in anderen Worten, die Rose kann nur um die Nord-Süd-Linie pendeln, sodaß nur Osten und Westen der Rose auf und ab pendeln können, während N und S der Rose stets in gleicher Höhe bleiben.

Diese Erscheinung ermöglicht es, mit Hilfe des Kreiselkompasses eine bessere Kompaßübertragung zu konstruieren, als mit dem Magnetkompaß, der in jeder Richtung schwanken kann.

Die Kompaß-Übertragung der Firma Anschütz & Co. besteht aus einem Mutterkompaß und mehreren Tochterkompassen.\*) Auf Kriegsschiffen vom Dreadnought-Typus wird man zweckmäßig einen zweiten Mutterkompaß als Reserve anordnen und die Schaltung so treffen, daß die Tochterkompassse beliebig von dem einen oder anderen Mutterkompaß betrieben werden können.

Der Mutter-Apparat unterscheidet sich vom Einzel-Apparat im wesentlichen dadurch, daß sein Quecksilberkessel nochmals drehbar gelagert ist. Dieser drehbare Teil wird stets in genau derselben Richtung gehalten wie die Rose des Kreiselkompasses, ohne daß der Kiesel selbst diese Arbeit zu leisten hat. Diese Arbeit wird von einem Wendemotor geleistet; der Kiesel selbst hat nur eine Kontaktvorrichtung zu betätigen, die je nach dem Anliegen einen von zwei Stromkreisen schließt und dadurch den Wendemotor links oder rechts herum laufen läßt.\*) Der Wendemotor führt den drehbaren Teil der Kompaßrose nach, mittels einer Zahnrad- und Schraubenüber-

\*) Vergleiche das Schaltungsschema am Schluß der Schrift.



Fig. 9. Mutterkompaß der Fernübertragung des Kreiselkompasses

setzung, die so gewählt ist, daß selbst bei der schnellsten Kursänderung, deren ein Schiff fähig ist, kein Nachschleppen entstehen kann.

Auf der Achse des Wendemotors befindet sich nun ein Kollektor, der die Stromverteilung für die synchron mit ihm



Figur 10

**Aufsicht auf den Tochterkompaß, in der Mitte Minutenrose.**

laufenden Antriebsmotoren der Tochter-Kompass übernimmt. Die Antriebsmotoren der Tochter-Kompass sind mittels einer gleich hohen Übersetzung mit den Tochterrosen verbunden, die somit stets die Stellung des nachgedrehten Teiles am Mutterkompass anzeigen. In dieser Weise ist man im Stande, eine größere Anzahl Tochterrosen in Tätigkeit zu setzen und es besteht theoretisch kein Hindernis, eine beliebige Zahl mit beliebig hoher Kraft zu betreiben.

In nebenstehender Figur 9 ist die Gesamtansicht eines Mutter-Kompasses gegeben (unten Wendemotor mit Kollektor), während Fig. 10 die Aufsicht auf die Rose des Tochter-Apparates zeigt. Man erkennt hier in der Mitte der Gradrose



Figur 11

**Tochterkompaß der Übertragung,**

in wasserdichtem Gehäuse, halb von unten gesehen

- a Verschraubungen für die Lampen
- b Lichtschalter
- c Stecker mit Kabeleinführung
- d gerändelter Knopf zum Einstellen der Rose

eine sogenannte Minutenrose, die eine vollständige Umdrehung bei einer Kursänderung von  $10^0$  macht und somit erlaubt, noch Bogenminuten abzulesen. Der Steuernde ist danach im Stande, die geringsten Beträge von Ausschereu des Schiffes

zu erkennen sowie die Geschwindigkeit der Änderung zu schätzen und sofort entsprechend Stützruder zu geben.

Wie Abbildung 16 zeigt, kann der Tochterkompaß bei großer Rose klein hergestellt werden. Eine kardanische Hängung wird überflüssig, die Haube für die Beleuchtung kann wegfallen, da die Mattglas-Rose von innen erleuchtet wird. Der Tochterkompaß kann auch transportabel hergestellt werden; eine Parallelstellung des Steuerstriches mit der Längsachse des Schiffes ist überflüssig (mit Ausnahme der Peilkompassse).



Figur 16  
Tochterkompaß mit Säule und Außenring für den Peilaufsatz.



Figur 8.  
Mutterkompaß (für knappe Platzverhältnisse).

## Nebenapparate.

Der Dreiphasen-Wechselstrom zum Antrieb des Kreisels des Einzelinstrumentes oder der Übertragung wird von einem besonders hierfür konstruierten Umformer erzeugt. (Abb. 12.) Gleichstrom- und Drehstromseite sind elektrisch völlig voneinander getrennt. Er kann für jede übliche Gleichstromspannung (80, 100, 110, 200, 220 V) geliefert werden und ver-



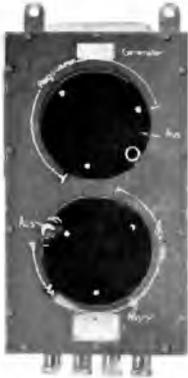
Figur 12.

### **Umformer mit Umdrehungsmesser**

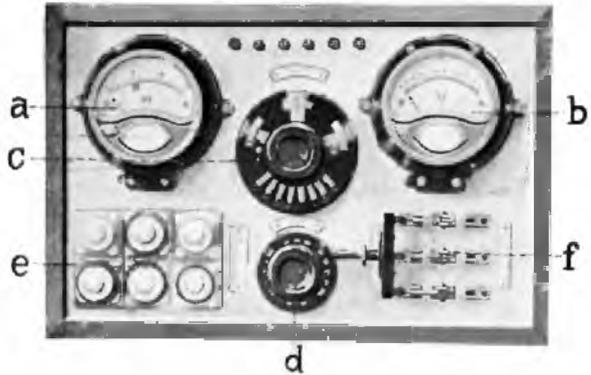
braucht durchschnittlich 640 Watt. Die Drehstromseite besitzt 16 Pole, während der Kreiselmotor zweipolig ist. Um die 20 000 Touren des Kreisels zu erhalten, muß also der Umformer mit 2500 T. p. M. laufen. Der Umformer ist mit einem Tourenzeiger ausgerüstet, der durch eine elastische Kupplung mit der Achse verbunden ist. Auf Abb. 12 ist das Zifferblatt des Tourenmessers rechts sichtbar.

Zu jeder Anlage gehört außer dem Umformer noch eine Schalttafel sowie ein Anlasser, kombiniert mit Regulierwiderständen. (Abb. 13). Die Schalttafel 1 wird in zwei verschiedenen Modellen ausgeführt, quer wie Abb. 14, oder hoch wie Abb. 15. Mittels des Schalters c kann das Ampèremeter a in jede Phase des Drehstroms eingeschaltet werden, während das Voltmeter b mittels des Schalters d die Spannungen zwi-

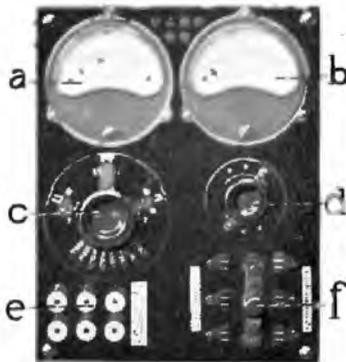
schen Phase 1 und 2, 1 und 3 oder 2 und 3 messen kann. Die Sicherungen sind doppelt vorgesehen. Je nach der Stellung



Figur 13  
Anlasser mit Regler  
für den Umformer



Figur 14  
Schalttafel, quer



Figur 15.  
Schalttafel, hoch

- |   |                |   |                           |
|---|----------------|---|---------------------------|
| a | Ampèremeter    | d | Phasenmeter für Voltmeter |
| b | Voltmeter      | e | Sicherungen               |
| c | Phasenschalter | f | dreipoliger Umschalter    |

des Umschalters f ist die obere oder die untere Reihe in Betrieb. Durch einfaches Umlegen des Hebels ist man im Stande, bei Störungen die zweite Reihe einzuschalten und die Auswechslung der beschädigten Sicherungen vorzunehmen, ohne den Kreislauf abzustellen.

Die vollständige Bedienungsvorschrift findet sich als Anhang III am Ende dieser Schrift abgedruckt.

# Theorie.

Dieser Abschnitt wendet sich vor allen Dingen an diejenigen Leser, denen die allgemeine Theorie des Kreisels und ihre mathematische Behandlung bereits bekannt ist. Elementare Darstellungen hiervon finden sich besonders in englischen Büchern, z. B.:

Harold Crabtree, *Spinning Tops and Gyroscopic Motion*, London 1909.

Von deutschen Lehrbüchern erwähnen wir die ausführliche Monographie

F. Klein und A. Sommerfeld, *Über die Theorie des Kreisels*, Leipzig, bis jetzt 3 Bände, ferner

A. Föppl, *Vorlesungen über technische Mechanik*, Leipzig 1909, Vierter und sechster Band.

Jede Masse behält nach dem Newtonschen Gesetze ihre Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung im Raume so lange bei, als keine äußeren Kräfte auf sie einwirken. Dieser Satz gilt für jedes Massenteilchen unseres Kreisels und läßt sich dann dahin fassen, daß der Drehimpuls der Größe und Richtung nach im Raume konstant bleibt, solange keine äußeren Kräfte auf den Kiesel einwirken.

Bei dem Kieselkompaß wird der Drehimpuls stets in Richtung der Figurenachse erteilt und in dieser erhalten. Die Bedingungen hierfür sind: Zusammenfallen von einer stabilen Hauptträgheitsachse des rotierenden Körpers mit seiner Figurenachse und Antrieb um seine Figurenachse. Es gilt demnach für unseren Kiesel, daß nicht nur sein Impuls, sondern auch seine Figurenachse ihre Richtung im Raume beibehält, solange keine äußeren Kräfte auf ihn einwirken. Hierbei sei gleich erwähnt, daß das stetig wirkende Drehmoment des Kieselmotors unberücksichtigt bleiben kann; die Motorkräfte können nur eine Tourenzahländerung des Kreisels, aber keine Richtungsänderung seiner Achse zur Folge haben.

Zu einer parallelen Verschiebung eines rotierenden Kreisels ist nur dieselbe Kraft erforderlich wie zu der eines ruhenden.

Dagegen setzt er jeder Richtungsänderung seiner Achse einen energischen Widerstand entgegen; dieser wird als Deviationswiderstand bezeichnet. Er entspricht der Zentrifugalkraft eines sich auf einer Kurve fortbewegenden Massenpunktes und wächst proportional der Rotationsgeschwindigkeit des Kreisels. Seine Achse steht senkrecht zur Achse der Drehbewegung und der Achse der Kreiselrotation. Dies ist die bekannteste Erscheinung der Kreiselbewegung; sie wird gewöhnlich als Präzessionsbewegung bezeichnet.\*)

Streng genommen gelten diese Betrachtungen nur solange, als Figurenachse und Impulsachse zusammenfallen. Da aber der Eigenimpuls unseres Kreisels stets mindestens 100 000, meistens sogar zirka 1 000 000 mal größer ist als die Komponente des Impulsvektors, die der Präzessionsgeschwindigkeit entspricht, so nehmen wir zur Vereinfachung der Rechnung an, daß obige Bedingung erfüllt sei, da die Differenz nicht mehr wahrgenommen werden kann. Im Winkelmaß entspricht dies einer Vernachlässigung von 2—20 Sekunden.

Nach Festlegung dieser allgemeinen Sätze der Kreiseltheorie sei auf die spezielle Anwendung beim Kreiselkompaß übergegangen. Wie auf Seite 10 beschrieben, ist das schwimmende System (siehe Abb. 4 und 5 Seite 18) mit den Lagern des Kreisels starr verbunden, und infolgedessen gezwungen, allen Präzessionsbewegungen der Kreiselachse zu folgen. Auftriebspunkt und Schwerpunkt des schwimmenden Systems differieren um ein bestimmtes Maß (im Schiffbau metazentrische Höhe genannt). Wenn der Kreisel nicht rotiert, ist die Ruhelage der Achse die Horizontalebene, bei einem Anstoß pendelt das System um diese Gleichgewichtslage. Wird der Abstand zwischen Auftriebspunkt und Schwerpunkt mit  $a$  bezeichnet, und das Gewicht des Systems mit  $M \cdot g$ , so übt die Schwerkraft bei einem Neigungswinkel  $\beta$  ein Drehmoment =

$$M g a \sin \beta$$

aus. Wird nun der Kreisel in Rotation versetzt, und hat seine Achse den Neigungswinkel  $\beta$  zur Horizontalen, so ist auch der Schwerpunkt um den Winkel  $\beta$  aus seiner Gleichgewichtslage gehoben und die Kreiselachse unterliegt der Einwirkung des Drehmoments

\*) Siehe auch Anhang II.

$$M g a \sin \beta,$$

dessen Achse horizontal und im rechten Winkel zur Kreiselachse liegt. Das Drehmoment hat eine Präzessionsbewegung des Kreisels in der Horizontalebene zur Folge, deren Geschwindigkeit von dem Impuls des Kreisels und der Größe des Moments abhängt. Abgesehen von Flüssigkeitsreibung und Dämpfung, die später besprochen werden, ist das obige Schweremoment die einzige äußere Kraft, die auf den Kreiselkompaß wirkt. Wir können also zur Aufstellung der ersten Differentialgleichung hierfür schreiten, wobei wir zu berücksichtigen haben, daß die Horizontalebene an der Drehung der Erde teilnimmt. Ist  $U$  die Winkelgeschwindigkeit der Erde,  $\varphi$  die geographische Breite, so ist die Winkelgeschwindigkeit der Erde um die Vertikale  $= U \cdot \sin \varphi$ , um den Meridian  $= U \cdot \cos \varphi$ . Nennen wir ferner den Winkel zwischen Kreiselachse und Meridian  $\alpha$ , so ist die Präzessionsgeschwindigkeit der Kreiselachse in der Horizontalebene bezogen auf den Raum:

$$\frac{d\alpha}{dt} + U \cdot \sin \varphi$$

Demnach schreibt sich die erste Differentialgleichung, wenn wir den Kreiselimpuls  $J$  nennen:

$$(1) \quad J \cos \beta \left( \frac{d\alpha}{dt} + U \cdot \sin \varphi \right) = M g a \sin \beta$$

oder, da in der Praxis nur kleine Winkel  $\beta$  in Betracht kommen:

$$(1a) \quad J \left( \frac{d\alpha}{dt} + U \cdot \sin \varphi \right) = M g a \beta$$

In Worten besagt diese Gleichung, daß die Änderungsgeschwindigkeit des Impulses dem äußeren Drehmoment gleich ist.

Wenden wir dieses Gesetz nochmals in der Vertikalebene durch die Kreiselachse an, so wissen wir, daß das äußere Drehmoment  $= 0$  (abgesehen von minimalen und daher hier vernachlässigten Reibungskräften). Somit muß die Änderungsgeschwindigkeit des Impulses  $J$  auch zu Null werden, also

$$(2) \quad J \left( \frac{d\beta}{dt} + U \cdot \cos \varphi \cdot \sin \alpha \right) = 0.$$

Durch Differentiation von (1a) erhält man

$$(3) \quad J \cdot \frac{d^2\alpha}{dt^2} = M g a \frac{d\beta}{dt}$$

und durch Elimination von  $\beta$  aus (3 und 2)

$$(4) \quad \frac{J^2}{M g a} \cdot \frac{d^2\alpha}{dt^2} + J \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \sin \alpha = 0.*$$

In dieser Form bedeutet die Gleichung eine Pendelschwingung um die Gleichgewichtslage  $\alpha = 0$ , also um die Richtung des Meridians. Das richtende Moment wird am größten für  $\alpha = 90^\circ$  (Ost-Westrichtung der Kreiselachse) und ist in diesem Falle

$$J \cdot U \cdot \cos \varphi.$$

Es entspricht der Richtkraft des Magnetkompasses und soll im folgenden analog als Richtkraft des Kreiselkompasses =  $R$  bezeichnet werden.

Die mit dem Differentialquotienten  $\frac{d^2\alpha}{dt^2}$  verbundene Konstante  $\frac{J^2}{M g a}$  repräsentiert die schwingende Masse des Pendels. Da das Quadrat des Kreiselimpulses im Zähler steht, wird sie durch eine sehr große Zahl ausgedrückt. Infolgedessen können die übrigen Trägheitsmomente des schwimmenden Systems diesem Gliede gegenüber vernachlässigt werden.

Natürlich ist diese Größe nur eine ideelle und sagt aus, daß sich der Kompaß äußeren Drehmomenten gegenüber ebenso verhält wie ein Pendel, das diese Masse wirklich besäße. Wir bezeichnen die schwingende Masse  $\frac{J^2}{M g a}$  im Folgenden mit  $M_s$ . Die Schwingungszeit wird nach der Theorie der Pendelschwingungen

$$(5) \quad T_s = 2 \pi \sqrt{\frac{M_s}{R}}$$

$$= 2 \pi \sqrt{\frac{J}{M g a \cdot U \cdot \cos \varphi}}$$

Bei der bisherigen Behandlung sind wir zu einer ungedämpften Schwingung gelangt, da wir von allen Reibungen

\*) Der Wert  $J$  ist absichtlich nicht gekürzt, um der Dimensionsformel gerecht zu werden.

abgesehen haben. Die natürliche Flüssigkeitsreibung der Quecksilberaufhängung würde beim Kreiselkompaß viel zu klein sein, um eine merkliche Abnahme der Schwingungsbögen herbeizuführen. (Siehe Kurve Nr. 18 auf Seite 40.) Infolgedessen wurde bei dem Instrument eine künstliche Dämpfung eingeführt, die in nebenstehender Figur 17 abgebildet ist. Der eingekapselte Kreisel wirkt als Luftzentrifuge und preßt durch die Düse c einen stetigen Luftstrahl heraus. Durch den pendelnd aufgehängten Schieber u wird die Düse in zwei Öffnungen a und b unterteilt, derart, daß bei horizontaler Stellung der Kreiselachse beide gleich groß sind, während bei Neigungen des Systems die eine weiter geöffnet, die andere gedrosselt wird.



Figur 17

**Kreiselkompaß, von unten gesehen.**

- a und b Austrittsöffnungen des Luftstrahls
- c Düse
- d Pendel
- e Ölgefäß

- f Lager des Kreisels
- g Eintrittsöffnung für die Luft
- h Lager des Quecksilberkessels (= innerer kard. Ring)
- i Öse zum Herausheben des Kompasses aus dem Kompaßhaus
- k Aufsatz (siehe auch Fig. 4 und 5)
- l Stellschraube
- m äußerer kardanischer Ring
- n Schneide des äußeren kardanischen Rings
- o Quecksilberkessel
- p Kreiselkappe
- q Eintrittsöffnung für die Luft
- r Lager
- s Ölgefäß
- t Reguliergewicht
- u Schieber.

Die beiden aus den Öffnungen a und b heraustretenden Luftstrahlen üben Reaktionswirkungen auf das System aus; die Differenz bildet ein Drehmoment um die Vertikalachse des Systems. Unter dem Einfluß dieses Drehmoments vollführt die Kreiselachse die entsprechende Präzessionsbewegung, welche so gerichtet ist, daß die Kreiselachse der Horizontalebene zustrebt.

Bei den Mutterapparaten, wo der Aufstellungsort gestattet, ein größeres Gehäuse anzuwenden oder den Apparat ganz frei aufzustellen (siehe Figur 9, Seite 23) wird eine etwas verschiedene Dämpfungseinrichtung verwandt. Das Pendel ist fortgefallen und die Öffnung der Düse als schmales, aufrecht stehendes Rechteck gehalten. Ferner ist der Luftstrahl bedeutend stärker, da bei einer Neigung der Kreiselachse der Hebelarm der Reaktionskraft nicht so schnell wächst wie bei der Pendelvorrichtung. Der Effekt beider Anordnungen ist jedoch vollkommen gleich.

Aus der Konstruktion folgt, daß die Differenz der Reaktionskräfte proportional sein muß dem Neigungswinkel der Kreiselachse, den wir mit  $\beta$  bezeichnet haben. Da nun aus der früheren Gleichung (1a) hervorgeht, daß die Schwingungsgeschwindigkeit des Kompasses in der Horizontalebene ebenfalls proportional dem Neigungswinkel  $\beta$  ist, so folgt, daß auch das Düsendrehmoment den Schwingungen stets im Verhältnis zu ihrer jeweiligen Geschwindigkeit entgegenwirkt.

Nähere Aufschlüsse über die Wirkung der Dämpfung erhalten wir, wenn wir sie in die Grundgleichung ( 2 ) einführen. Beträgt das Drehmoment der Düsenreaktion für eine Elevation der Kreiselachse von  $90^{\circ}$   $D$ , so wird es bei einer Elevation  $\beta = D \cdot \sin \beta$  oder bei kleinen Neigungswinkeln,  $D \cdot \beta$ . Dieses Drehmoment wirkt in der Vertikalebene. Gleichung (1a) bleibt demnach bestehen, dagegen erhalten wir in Gleichung (2) zu den übrigen Gliedern auch noch das Düsendrehmoment. Die beiden zusammengehörenden Gleichungen lauten demnach:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{I.} \quad J \left( \frac{d\alpha}{dt} + U \cdot \sin \varphi \right) = M g a \beta \\ \text{II.} \quad J \left( \frac{d\beta}{dt} + U \cdot \cos \varphi \sin \alpha \right) = -D\beta \end{array} \right.$$

Durch Kombination beider Gleichungen kommt man ebenfalls zu einer Schwingungsgleichung:

$$(6) \quad \frac{J^2}{M g a} \cdot \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + J \cdot U \cdot \cos \varphi \sin \alpha + \frac{J}{M g a} \cdot D \cdot \frac{d\alpha}{dt} + \frac{J}{M g a} \cdot D \cdot U \cdot \sin \varphi = 0.$$

Die beiden ersten Glieder der Gleichung (4) finden wir unverändert wieder, d. h. Richtkraft und schwingende Masse werden durch Einführung der Dämpfung in keiner Weise berührt. Von den beiden neuen Gliedern ist das eine abhängig von der Schwingungsgeschwindigkeit  $\frac{d\alpha}{dt}$ ; es ist ein Drehmoment, das analog den Reibungskräften der Schwingungsgeschwindigkeit entgegenwirkt. Die Konstante  $\frac{J}{M g a} \cdot D$  entspricht den dämpfenden Reibungskräften und wird mit  $k$  bezeichnet.

Das andere neue Glied der Gleichung

$$\frac{J}{M g a} \cdot D \cdot U \cdot \sin \varphi$$

stellt ein Drehmoment dar, das stetig vorhanden ist, gleichgültig, ob und wie weit der Kompaß schwingt; es ist nur abhängig von der geographischen Breite und der Größe der Dämpfungskonstante  $k$ . Seinen Ursprung findet es darin, daß die Dämpfung nicht proportional der Schwingungsgeschwin-

digkeit auf der Erde, sondern derjenigen im Raume ist. Dieses Drehmoment ist für eine bestimmte geographische Breite konstant und verschiebt die Gleichgewichtslage des Kompasses um soviel, bis die Richtkraft ihm die Wage hält. Die Bedingungsgleichung hierfür ist:

$$(7) \quad J \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \sin \alpha_0 = - \frac{J}{M g a} \cdot D \cdot U \cdot \sin \varphi$$

oder, da  $\alpha_0$  stets klein bleibt,

$$(8) \quad \alpha_0 = - \frac{D}{M g a} \cdot \operatorname{tg} \varphi.$$

Die Kreiselachse bildet mit der Horizontalebene in der Gleichgewichtslage einen kleinen Winkel  $\beta_0$ , dessen Wert sich aus Gleichung (1a) für  $\frac{d\alpha}{dt} = 0$  ergibt mit:

$$\beta_0 = \frac{J}{M g a} \cdot U \cdot \sin \varphi.$$

Wir haben hier ebenfalls vollkommene Analogie zwischen Magnet- und Kreiselkompaß: Nur am Äquator bleibt die Kreiselachse genau in der Horizontalebene, auf jeder anderen Breite hat sie eine Elevation ähnlich der Inklination der Magnetnadel. Durch ein kleines Übergewicht auf der Rose läßt sich die Kreiselachse für eine bestimmte Breite in die Horizontalebene zurückbringen. Da in diesem Falle die Dämpfung bei der Ruhelage des Kompasses kein Drehmoment mehr ausübt, so verschwindet der Wert für  $\alpha_0$  und der Kompaß hat wieder genaue Nordweisung. Der Kompaß kann also für eine bestimmte Breite ausreguliert werden; bei einem Wechsel der Breite wird er natürlich um einen entsprechenden Betrag abgedrängt.

Für die jetzt gebräuchliche Konstruktion sind im Nachstehenden die Werte für diese Abdrängung gegeben:

I. Der Kompaß sei für den Äquator ausreguliert:

Breite:	Abdrängung:
60° N	2,2° östlich
40° „	1,1° „
20° „	0,5° „
0° Äquator	0°
20° S	0,5° westlich
40° „	1,1° „
60° „	2,2° „

II. Der Kompaß sei für eine Breite von  $50^{\circ}$  nördlich ausreguliert:

Breite:	Abdrängung:
$60^{\circ}$ N	$0,6^{\circ}$ östlich
$50^{\circ}$ „	$0^{\circ}$
$40^{\circ}$ „	$0,5$ westlich
$20^{\circ}$ „	$1,1^{\circ}$ „
$0^{\circ}$ (Äquator)	$1,6^{\circ}$ „
$20^{\circ}$ S	$2,1^{\circ}$ „
$40^{\circ}$ „	$2,7^{\circ}$ „
$60^{\circ}$ „	$3,8^{\circ}$ „

Man sieht, daß die Korrektion für die Abdrängung des Kreiselkompasses sich in viel geringeren Grenzen bewegt, als die magnetische Mißweisung. Erst bei erheblichen Veränderungen der Breite braucht sie berücksichtigt zu werden. Veränderungen der geographischen Länge üben naturgemäß keinen Einfluß auf den Kreiselkompaß aus.

Rechnet man den Winkel  $\alpha$  nicht von der Meridianebene, sondern dreht die Bezugsebene um den Winkel  $\alpha_0$ , so gelangt man zu den gewöhnlichen Differentialgleichungen für gedämpfte Pendelschwingungen (siehe z. B. Helmholtz, Vorlesungen, Band I, Abt. 2, § 32). Diese schreibt sich unter Benutzung der auf Seite 33 gegebenen Abkürzungen:

$$(9) \quad M_s \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = -R \cdot \sin \alpha - k \frac{d\alpha}{dt}$$

Die exakte Lösung dieser Gleichung führt zu elliptischen Funktionen, doch setzen wir hier in üblicher Weise zur Vereinfachung  $\sin \alpha = \alpha$ . Die Gleichung gilt dann nur mehr für kleine Ausschläge und lautet:

$$(9a) \quad M_s \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = -R \cdot \alpha - k \frac{d\alpha}{dt}$$

Die Lösung hiervon ist bekannt. Rechnet man die Zeit von einem Durchschlagspunkt durch die Gleichgewichtslage, so erhält man:

$$(10) \quad \alpha = A \cdot e^{-\frac{k}{2M_s} \cdot t} \cdot \sin \sqrt{\frac{R}{M_s} - \frac{k^2}{4M_s^2}} \cdot t$$

A = Amplituden Konstante

und hieraus die Schwingungszeit des gedämpften Kreiselkompasses:

$$(11) \quad T_d = \frac{4 \pi M_s}{\sqrt{4 M_s \cdot R - k^2}}$$

Wird in der letzten Gleichung  $k^2 \geq 4 M_s \cdot R$ , so erhalten wir keine reelle Schwingungszeit mehr, sondern eine aperiodische Einstellung. Dieses läßt sich mittels der geschilderten Konstruktion ebenfalls erreichen, wird aber für die in Betracht kommenden Breiten vermieden. Daß die Breite überhaupt in die Gleichung hineinspielt, rührt daher, daß die Richtkraft  $R$  mit dem Kosinus der geographischen Breite  $\varphi$  abnimmt.

Ist  $k^2 < 4 M_s \cdot R$ , so kommen reelle Schwingungen zustande, die allein hier betrachtet werden sollen. (Siehe Kurve 19 Seite 40.) Ihre Ausschläge nehmen in einem konstanten Verhältnis ab, das je nach dem Verwendungszwecke des einzelnen Instruments auf 0,1 bis 0,5 gehalten wird. Der log. nat. dieses Verhältnisses wird als logarithmisches Dekrement bezeichnet und besitzt nach der Schwingungstheorie den Wert

$$= - \frac{k}{4 M_s} \cdot T_d = - \varepsilon.$$

Für den Kompaß ist:

$$= - \frac{k}{4 M_s} = - \frac{D}{4 J},$$

wie man sich durch Einsetzen der Größen an Stelle der Abkürzungen leicht überzeugt. Das log. Dekrement  $\varepsilon$  ist also nur von der Konstruktion des Apparates und nicht von der geographischen Breite abhängig. Die log. Kurven:

$$+ A \cdot e^{-\frac{k}{2 M_s} \cdot t}$$

begrenzen die Schwingungsausschläge;  $A$  ist als Amplitudenkonstante von der ersten Ablenkung abhängig. Man kann demnach für einen Kreiselkompaß angeben, in welcher Zeit er sich bei einer bestimmten Anfangsablenkung beruhigt. Die Anzahl der dazwischen liegenden Schwingungen dagegen variiert mit der geogr. Breite, wie aus Gleichung (11) ersichtlich.

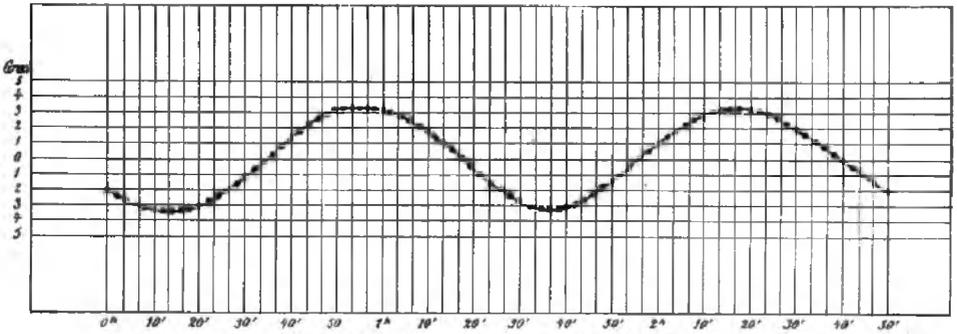


Fig. 18. **Kurve ohne Dämpfung**

Es ist bemerkenswert, wie genau die an dem Apparat durch Ablesung gewonnenen Kurven den errechneten Schwingungskurven entsprechen. Fig. 18 gibt die Kurve eines Apparates ohne Dämpfungsvorrichtung; eine Abnahme der Schwin-

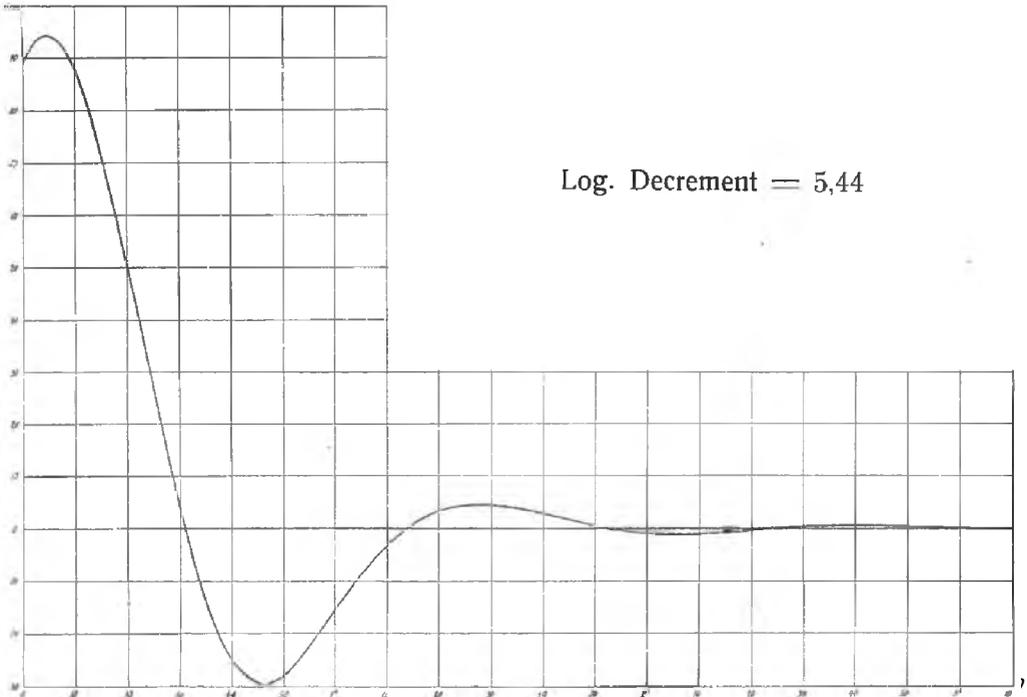


Fig. 19. **Kurve mit Dämpfung**

gungsbögen durch die Flüssigkeitsreibung ist daraus nicht zu ersehen. Fig. 19 zeigt eine Kurve mit einem log. Dekrement der Dämpfung von 1,6.

Bisher haben wir nur die Schwingungen der Kreiselachse in der  $\alpha$  (Horizontal-) Ebene verfolgt. Gleichzeitig sind damit auch Schwingungen in der  $\beta$  (Vertikal-) Ebene verknüpft. Für den Fall, daß keine Dämpfung vorhanden, bestehen die Gleichungen:

$$(12) \quad \begin{cases} \text{I. } \alpha = A \cdot \sin \frac{2\pi}{T_s} \cdot t \\ \text{II. } \beta = A \cdot \frac{2\pi}{T_s} \cdot \frac{J}{M g a} \cdot \cos \frac{2\pi}{T_s} \cdot t + \beta_0 \end{cases}$$

wie man sich durch Einsetzen in die Grundgleichung (4) überzeugt.  $\beta_0$  ist der früheren Festsetzung entsprechend  $= \frac{J}{M g a} \cdot U \cdot \sin \varphi$ . Trägt man nun die Werte für  $\alpha$  und  $\beta$  in einem rechtwinkligen Koordinatensystem ab, d. h. breitet man die Kugelkalotte, in der die Kurven liegen, in eine Ebene aus, so stellen diese Gleichungen eine Ellipsenschar mit konstantem Achsenverhältnis vor. Die lange Achse ist um den Winkel  $\beta_0$  aus der Horizontalebene gehoben. Zu jeder Amplituden-Konstante  $A$  gehört eine bestimmte Ellipse. Macht der Kreisel keine Schwingung, so muß  $\alpha = 0$ ,  $\beta = \beta_0$  sein.

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei Berücksichtigung der Dämpfung, nur beschreibt das Ende der schwingenden Kreiselachse nicht einfache Ellipsen, sondern eine Art elliptische Spiralen. Die beiden zusammengehörenden Gleichungen lauten entsprechend der Grundgleichungen

$$(13) \quad \begin{cases} \text{I. } \alpha = A \cdot e^{\frac{-k}{2M_s} \cdot t} \cdot \sin \frac{2\pi}{T_d} \cdot t + \alpha_0 \\ \text{II. } \beta = \frac{J}{M g a} \cdot \frac{d\alpha}{dt} + \beta_0 \end{cases}$$

Durch Differenzierung von I erhalten wir

$$(14) \quad \frac{d\alpha}{dt} = A \cdot e^{\frac{-k}{2M_s} \cdot t} \left( \frac{2\pi}{T_d} \cdot \cos \frac{2\pi}{T_d} \cdot t - \frac{k}{2M_s} \cdot \sin \frac{2\pi}{T_d} \cdot t \right).$$

$\frac{2\pi}{T_d}$  und  $\frac{k}{2M_s}$  werden dabei nach Gleichung (5 und 11)

verknüpft

$$\left(\frac{T_d}{T_s}\right)^2 = 1 + \left(\frac{\varepsilon}{\pi}\right)^2$$

oder, da  $\varepsilon = \frac{k}{4 M_s} \cdot T_d$

$$\left(\frac{2\pi}{T_s}\right)^2 = \left(\frac{2\pi}{T_d}\right)^2 + \left(\frac{k}{2 M_s}\right)^2$$

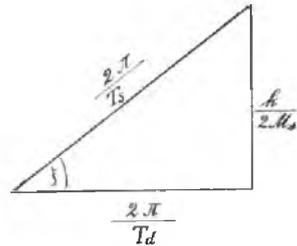
Führt man nach Figur 20 den Winkel  $\xi$  ein, so ergibt sich:

$$\frac{2\pi}{T_s} \cdot \sin \xi = \frac{k}{2 M_s}$$

$$\frac{2\pi}{T_s} \cdot \cos \xi = \frac{2\pi}{T_d}$$

$$\text{tang } \xi = \frac{k}{2 M_s} \cdot \frac{T_d}{2\pi} = \frac{\varepsilon}{\pi}$$

$$\xi = \text{arctg } \frac{\varepsilon}{\pi}$$



Figur 20

Setzt man  $\xi$  in die Gleichung (14) ein, so wird:

$$(15) \quad \frac{d\alpha}{dt} = A \cdot e^{\frac{-k}{2 M_s} \cdot t} \cdot \frac{2\pi}{T_s} \cdot \cos \left( \frac{2\pi}{T_d} \cdot t + \xi \right)$$

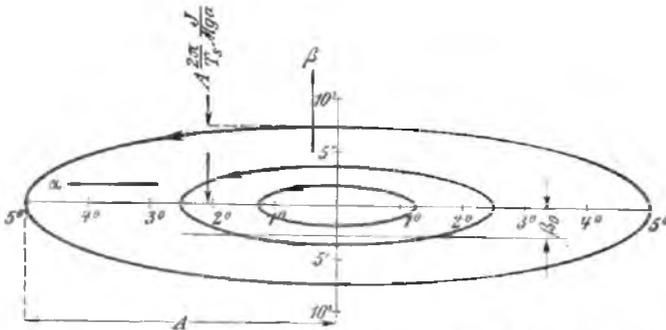
Durch Kombination der Gleichungen (13) und (15) erhält man die Funktionen  $\alpha$  und  $\beta$  abhängig vom Parameter  $t$ .

$$(16) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{I. } \alpha = A \cdot e^{\frac{-k}{2 M_s} \cdot t} \cdot \sin \frac{2\pi}{T_d} \cdot t + \alpha_0 \\ \text{II. } \beta = \frac{A \cdot J}{M g a} \cdot \frac{2\pi}{T_s} \cdot e^{\frac{-k}{2 M_s} \cdot t} \cdot \cos \left( \frac{2\pi}{T_d} \cdot t + \xi \right) + \beta_0 \end{array} \right.$$

Die graphische Lösung der Gleichungen (12) und (16) findet sich in Figur 21 und 22. Die Daten sind einem ausgeführten Kreiselkompaß entnommen. Da die wichtigsten Größen, für welche die Kurven gezeichnet sind, auch zahlenmäßiges Interesse haben, so seien sie hier kurz zusammengestellt:

Richtkraft am Äquator	$R = 20\,190 \text{ Dyn} \cdot \text{cm}$
Schwingende Masse	$M_s = 404 \cdot 10^7 \text{ g} \cdot \text{cm}^2$
Schwingungszeit gedämpft	$T_d = 4\,110 \text{ sek.}$
„ ungedämpft	$T_s = 3\,680 \text{ sek.}$
log. Dekrement der gedämpften Schwingung	$\varepsilon = 1,56$





Figur 21. Ungedämpfte Schwingungskurven, beschrieben von dem Nordende der Kreiselachse, gesehen in der S-N-Richtung. (Die Werte  $\beta$  sind zehnfach vergrößert.)

Da die Richtkraft des Kreiselkompasses auf dynamischen Gesetzen beruht, nämlich auf der Winkelgeschwindigkeit der Erdschwere, so müssen auch Schiffsbewegungen auf die Weisung des Kreisels vom Einfluß sein. Jede Fortbewegung des Schiffes auf der Kugeloberfläche der Erde läßt sich in zwei Komponenten zerlegen, von denen die eine in die Nord-Südrichtung, die andere in die Ost-Westrichtung fällt. Letztere Komponente addiert sich lediglich zu der Rotationsgeschwindigkeit der Erde und hat somit eine Verstärkung oder Schwächung der Richtkraft zur Folge, was jedoch wegen des sehr geringen Betrags unberücksichtigt bleiben kann. Dagegen entspricht die Nord-Südkomponente einer Winkeldrehung um die Ost-Westlinie. Sie addiert sich graphisch zur Winkelgeschwindigkeit der Erde. Der Kompaß zeigt nun die resultierende Drehrichtung an, weicht also um einen gewissen Winkel  $\delta$  von dem Meridian ab. Dieser Winkel erreicht jedoch selbst bei den höchsten Schiffsgeschwindigkeiten nur kleine Werte. Er kann in Tabellen berechnet und bei der Navigation berücksichtigt werden. Ist  $v$  die Weggeschwindigkeit des Schiffes mit Bezug auf die Nord-Südrichtung,  $E$  der Erdradius, so ist  $\frac{v}{E}$  die der Schiffsgeschwindigkeit entsprechende Winkelgeschwindigkeit. Der Winkel  $\delta$  zwischen resultierendem Drehpol und Meridian ist dann

$$(17) \quad \delta = \frac{v}{E} \cdot \frac{1}{U \cos \varphi}.$$

Der Winkel  $\delta$  ist westlich bei Süd-Nordkurs, östlich bei Nord-Südkurs. Er ist unabhängig von dem Kreisel und lediglich eine geometrische Relation zwischen Schiffsgeschwindigkeit und Erddrehung. In folgender Tabelle ist  $\delta$  in Graden für verschiedene Breiten und Geschwindigkeiten zusammengestellt.

Komponente d. Schiffsgeschwindigkeit in S/N-Richtung	$\varphi = 0^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 40^\circ$	$\varphi = 60^\circ$	$\varphi = 70^\circ$
4 Knot. i. d. Stunde	0,25	0,27	0,33	0,51	0,74
8 " " " "	0,51	0,54	0,66	1,02	1,49
12 " " " "	0,76	0,81	1,0	1,53	2,23
16 " " " "	1,02	1,07	1,33	2,03	2,97
20 " " " "	1,27	1,35	1,66	2,54	3,72
24 " " " "	1,53	1,62	1,99	3,05	4,46

(Ausführliche Tabelle siehe Anhang I).

Von diesem Winkel  $\delta$  ist zu unterscheiden der Ausschlag  $\mu$ , den der Kreiselkompaß infolge einer Geschwindigkeitsänderung des Schiffes erfährt. Alle Beschleunigungsdrücke werden nämlich auf den Aufhängepunkt des Kreisels übertragen, während die Trägheitskräfte in dem Schwerpunkt des schwimmenden Systems angreifen. Nach der Theorie des Kreiselkompasses muß aber Aufhängepunkt und Schwerpunkt um den Wert  $a$  auseinander liegen. Weist der Kreiselkompaß ruhig nach Norden, und wirkt ein Beschleunigungsdruck in der Ost-Westrichtung, so hat dies offenbar nur ein Kanten des Schwimmers um die Nord-Südachse zur Folge. Die Richtung der Achse wird jedoch nicht beeinflusst. Anders verhält sich der Kreisel bei Beschleunigungsdrücken in der Richtung des Meridians, d. h. in der Richtung seiner Achse. Dann verhindert der Trägheitswiderstand des Kreisels die Kantung des Schwimmers, und der Kreisel macht unter dem Einfluß des äußeren Drehmoments eine Präzessionsbewegung. Ist  $\gamma$  die Beschleunigung in der Süd-Nordrichtung, so erhält man, da nur kleine Winkel in Betracht kommen, nach dem Flächensatze:

$$(18) \quad J \frac{d\alpha}{dt} = M a \cdot \gamma$$

$$(19) \quad \mu = \alpha = \frac{M a}{J} \int_0^T \gamma \cdot dt$$

Richtkraft und Dämpfung sind hierbei nicht berücksichtigt, so daß die Gleichung nur für den Grenzfall genau gilt, daß die Zeit  $T$  der Störung als unendlich klein gegenüber der Schwingungszeit des Instruments angesehen werden kann. Das Integral:

$$\int_0^T \gamma \cdot dt$$

bildet dann als Grenzwert  $T=0$  einen Impulsstoß. Sein Wert ist gleich  $v_2 - v_1$ , d. h. gleich der Differenz der Schiffsgeschwindigkeiten in Richtung des Meridians. Die Gleichung ergibt dann

$$(20) \quad \mu = \frac{M a}{J} \cdot (v_2 - v_1)$$

Der Winkel  $\mu$  ist, wie man aus der Gleichung ersieht, nicht abhängig von der Erdrotation oder von der geographischen Breite, wie der oben berechnete Winkel  $\delta$ , sondern nur von Konstruktionsgrößen des Apparates. Er muß sich also auf eine bestimmte Größe herabdrücken lassen. Um eine handlichere Formel zu bekommen, setzen wir die ungedämpfte Schwingungszeit  $T_s$  nach Gleichung (5) ein:

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{J}{M g a \cdot U \cdot \cos \varphi}}$$

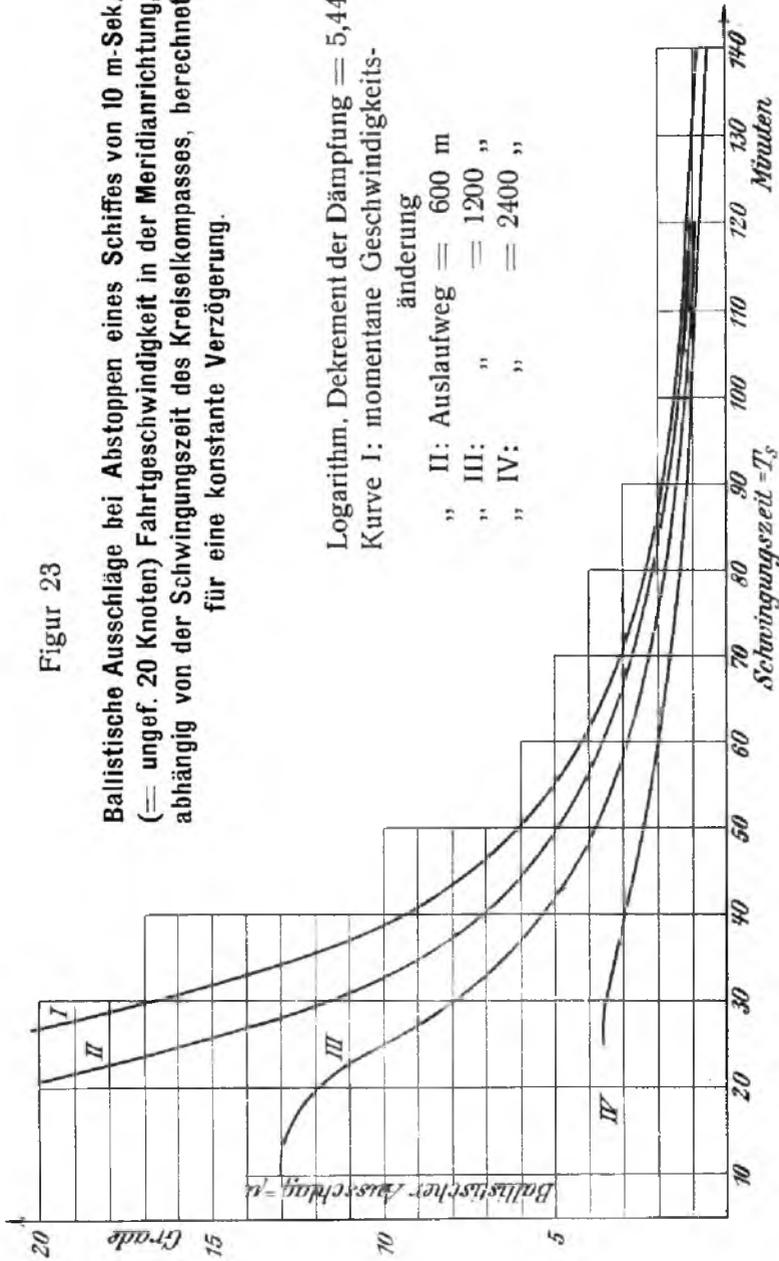
Man erhält dann

$$(21) \quad \mu = \frac{4\pi^2}{g \cdot U \cdot \cos \varphi_B} \cdot \left(\frac{l}{T_s}\right)^2 \cdot (v_2 - v_1)$$

$\varphi_B$  ist die geographische Breite, für die  $T_s$  bestimmt wurde. Aus der Formel geht hervor, daß  $\mu$  mit dem Quadrat der Schwingungszeit abnimmt. Bei nebenstehender Kurvenschar sind die Werte von  $\mu$  im Verhältnis zur Schwingungszeit eingetragen. Da nun die maximale Schiffsgeschwindigkeit und

Figur 23

Ballistische Ausschläge bei Abstoppen eines Schiffes von 10 m-Sek.  
 (= ungef. 20 Knoten) Fahrtgeschwindigkeit in der Meridianrichtung,  
 abhängig von der Schwingungszeit des Kreisellkompasses, berechnet  
 für eine konstante Verzögerung.



somit auch der größte Wert, den  $(v_2 - v_1)$  erreichen kann, bekannt ist, so läßt sich nach obiger Gleichung (21) angeben, wie weit der Kreiselkompaß unter den ungünstigsten Umständen ausschlagen kann. Es ist dabei einerlei, in welcher Weise (durch Wenden, Stoppen oder Anfahren) oder in welcher Reihenfolge die Änderungen der Geschwindigkeit mit Bezug auf den Meridian vor sich gehen. Der Wert  $\mu$  für  $(v_2 - v_1)_{\max}$  kann niemals überschritten werden. Er läßt sich auch durch Wahl einer entsprechend langen Schwingungszeit auf eine beliebige Größe herunterdrücken. Sobald die Schiffsgeschwindigkeit  $v_2$  erreicht ist, schwingt der Kreisel in einer normalen Kurve (Fig. 19) wieder in die Gleichgewichtslage zurück, die alsdann um den Winkel  $\delta$  gegen den Meridian verschoben ist.

Der „Ballistische Ausschlag“  $\mu$  ist immer nach derselben Seite gerichtet wie der Winkel  $\delta$ , ohne sich zu ihm zu addieren. Es läßt sich nun das Instrument für bestimmte Breiten so konstruieren, daß der ballistische Ausschlag genau so viel beträgt wie die Differenz zwischen Winkel  $\delta$  des alten Kurses und dem des neuen, daß also der Apparat sofort in seine neue Gleichgewichtslage kommt. Hierzu ist es nur notwendig, die Schwingungszeit  $T$ , entsprechend lang zu wählen.

In der Tabelle auf Seite 49 sind diese Werte zusammengestellt.

In der Praxis kommen plötzliche Änderungen der Schiffsgeschwindigkeit nicht vor. Infolgedessen werden die beobachteten Werte der ballistischen Ausschläge hinter den nach obiger Gleichung (21) errechneten Maximalwerten etwas zurückbleiben. Um eine bessere Annäherung an die wirklichen Verhältnisse zu erzielen, muß über den Verlauf der Beschleunigung  $\gamma$  eine bestimmte Annahme getroffen werden. Die Kurven der vorstehenden Figur 23 sind für den einfachsten Fall berechnet, daß  $\gamma$  konstant sei. Wie man für diesen Einzelfall die entsprechende Lösung finden kann, ersieht man am besten aus Figur 22, in der die Bewegung der Kreiselachse in beiden Ebenen dargestellt ist. Befindet sich der Kreiselkompaß in Ruhe, so ist  $\alpha = 0$ ,  $\beta = \beta_0$ . Wirkt nun ein Beschleunigungsdruck  $\gamma$ , so neigt sich die Gleichgewichtslage um den Betrag  $\frac{\gamma}{g}$ ; dies ist gleichbedeutend mit einem Heben des Impulsvektors um einen

**Maximaler Ballistischer Ausschlag  $\mu$**   
 abhängig von der ungedämpften Schwingungszeit.  
 Geschwindigkeitsänderung in Richtung des Meridians um:

$T_s$	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	Knoten
5	62,0	90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\mu$ wird $\delta$ bei einer geogr. Breite von:
10	15,5	31,0	46,5	62,0	77,6	90	—	—	—	—	—	—	—	—	
20	3,9	7,8	11,6	15,5	19,4	23,3	27,2	31,0	34,9	38,8	42,7	46,5	50,4	54,2	
30	1,7	3,5	5,2	6,9	8,6	10,4	12,1	13,8	15,5	17,3	19,0	20,7	22,4	24,2	
40	1,0	1,9	2,9	3,9	4,9	5,8	6,8	7,8	8,7	9,7	10,7	11,6	12,6	13,6	
45	0,8	1,5	2,3	3,1	3,8	4,6	5,4	6,1	6,9	7,7	8,4	9,2	10,0	10,7	
50	0,6	1,2	1,9	2,5	3,1	3,7	4,4	5,0	5,6	6,2	6,8	7,5	8,1	8,7	
55	0,5	1,0	1,5	2,0	2,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	5,6	6,1	6,7	7,2	
60	0,4	0,9	1,3	1,7	2,2	2,6	3,0	3,5	3,9	4,3	4,7	5,2	5,6	6,0	
65	0,4	0,7	1,1	1,5	1,8	2,2	2,6	2,9	3,3	3,7	4,0	4,4	4,8	5,1	
70	0,3	0,6	1,0	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	
75	0,3	0,6	0,8	1,1	1,4	1,7	1,9	2,2	2,5	2,8	3,0	3,3	3,6	3,9	
80	0,2	0,5	0,7	1,0	1,2	1,5	1,7	1,9	2,2	2,4	2,7	2,9	3,2	3,4	
90	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	
100	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	
110	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	
120	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	

Winkel  $\frac{\gamma}{g}$ . Trägt man diesen Wert in Figur 22 ein, so kommt man auf eine bestimmte elliptische Spirale, der man so lange zu folgen hat, wie die Beschleunigung  $\gamma$  anhält. Fährt nun das Schiff wieder mit konstanter Geschwindigkeit auf einem Kurs, so erlischt die Beschleunigung  $\gamma$ . Der Wert  $\frac{\gamma}{g}$  ist wieder zurückzutragen, und die Gleichgewichtslage ist um den Wert  $\delta$  des neuen Kurses zu verschieben. Das Instrument schwingt nun in diese mittels einer normalen Schwingung ein.

Die Richtkraft eines Kreiselkompasses jetziger Konstruktion beträgt etwa das fünfzehnfache der Richtkraft eines guten magnetischen Fluidkompasses. Dabei ist zu berücksichtigen, daß bei der Aufstellung an Bord die Richtkraft nicht durch Eisenmassen und Kompensierung verkleinert wird, wie dieses beim Magnetkompaß der Fall ist.

Bei der großen schwingenden Masse des Kreisels sind Schleppfehler bei schnellen Drehungen vollkommen ausgeschlossen. In geringem Maße können sie in Erscheinung treten, wenn der Drehkreis des Schiffes mit der Schwingungszeit des Kompasses übereinstimmt. Bei der Kompaß-Übertragung fällt auch dieser Rest weg, da die Gesamtdrehung in kurze Teildrehungen zerlegt wird.

Von bedeutend größerem Einfluß für die Genauigkeit sind Schlinger- und Stampfbewegungen, sowie Maschinerschütterungen. Einzelne Stöße, seien sie auch noch so groß (Breitseite), machen auf die Weisung nichts aus. Die rhythmischen, sich stets summierenden Stöße der Maschine können dagegen allmählich einen so starken Einfluß ausüben, daß in einigen Fällen, wo die Verhältnisse besonders ungünstig lagen, das Einzel-Instrument unzuverlässig wurde. Abhilfe ließ sich schaffen durch Hängung in besonders weichen und langen Federn (siehe Abb. 9 Seite 23), doch nimmt dann der Kreiselpkompaß mehr Platz in Anspruch, als beispielsweise im Kommandoturm zur Verfügung steht. In solchen schwierigen Fällen greift man am besten zur Übertragung, für die man, dem Schiffe entsprechend, einen günstigen Aufstellungsort aussucht. Dieses gelingt um so eher, als der Apparat neben jeder elektrischen Maschine, neben jeder eisernen Schottwand etc. Platz finden kann und auch nicht streng an die Mittschiffslinie gebunden ist.

Überblicken wir zum Schluß die verschiedenen Einflüsse, denen der Kreiselpkompaß ausgesetzt ist, so kommen wir zu dem durch die Praxis bestätigten Resultat, daß die hier und da auftretenden Schwingungen um die Mittellage beim Gebrauch des Instruments als Steuerkompaß vollkommen vernachlässigt werden können, da sie im normalen Betrieb  $2^{\circ}$  nicht überschreiten. Eine fühlbare Wegverlängerung tritt bei der langen Schwingungszeit nicht ein, auch bleibt die eventuelle Kursversetzung innerhalb der Genauigkeit, mit der sich große Schiffe navigieren lassen.

Vor allen Dingen ist es aber viel leichter, mit dem Kreiselpkompaß große Schiffe im Kurs zu halten; man kommt hierbei mit viel weniger Ruderlegen aus als beim Magnetkompaß, was auf die Fahrtgeschwindigkeit erheblichen Einfluß hat.

## Der Kreiselkompaß an Bord.

Aus Abschnitt 3 über die Theorie des Kreiselkompasses wissen wir, daß seine Angaben zwei Korrekturen unterworfen sind:

1. der sogenannten „Abdrängung“ infolge von Änderungen der geogr. Breite,
2. dem Winkel  $\delta$ , der von Kurs und Geschwindigkeit des Schiffes abhängt.

Für die erste Korrektur, die **Abdrängung**, setzen wir die Werte nochmals hierher:

Breite:	Abdrängung:
60° N	0,6° östlich
50° „	0°
40° „	0,5° westlich
20° „	1,1° „
0° „	1,6° „
20° S	2,1° „
40° „	2,7° „
60° „	3,8° „

Man sieht, daß es vollkommen genügt, diese Ablenkung erst bei einem Wechsel der Breite von mindestens 10° zu berücksichtigen. Will man sie ganz aus der Berechnung verschwinden lassen, so lockert man die beiden Stellschrauben c, verschiebt den Aufsatz mit dem Steuerstrich um den entsprechenden Winkel und zieht die Schrauben wieder an (Fig. 24).

Die Werte für den Winkel  $\delta$  sind in der Tabelle Anhang I enthalten. Auch hier treffen wir viel kleinere Korrekturen an als wie beim Maguetkompaß; beim Manövrieren sowie bei niederen Geschwindigkeiten wird man den Winkel  $\delta$  vernachlässigen.

Veranlassungen zu geringfügigen Schwingungen bilden Spannungsschwankungen im Gleichstromnetz des Schiffes, falls sie so groß werden, daß erhebliche Veränderungen in der Tourenzahl des Kreisels auftreten. Es empfiehlt sich also,



Fig 24. **Kreiselkompaß mit abgenommener Haube**  
a Libelle b Mittelstift c Stellschraube

falls man eine große Genauigkeit der Kontrollbeobachtung erstrebt, ungefähr 8 Ablesungen in Abständen von je 5 Minuten hintereinander vorzunehmen und graphisch aufzuzeichnen, wodurch die geringste Schwingung deutlich hervortritt. Plötzliche Sprünge kann der Kreiselkompaß infolge des Widerstands-Vermögens seiner Achse niemals machen, selbst wenn eine schwere Störung eingetreten sein sollte. Wenn also von einigen in kurzer Folge gemachten Beobachtungen eine um einen größeren Betrag differieren sollte, so wird man in den meisten Fällen einen Ablesefehler oder einen Fehler der Vergleichsobjekte (z. B. Magnetkompaß) nachweisen können.

Da der Kreiselkompaß von magnetischen Einflüssen unabhängig ist, besitzt er keine Mißweisung und keine Deviation. Hat man die Weisung auf einem Kurse für richtig befunden, so gilt dies für alle Kurse.

Als praktisches Beispiel nehmen wir an, daß ein neu-  
eingebauter Kreiselkompaß auf seine Aufstellung kontrolliert  
werden soll, während das Schiff mit 18 Seemeilen in der Stunde  
NW steuert (rechth. Kurs). Gegen Peilungen nach Landmarken  
ergibt sich, daß der Kurs im Augenblicke des Ablesens immer  
korrekt gewesen ist. Die Ablesungen am Kreisel ergeben:

317,8  
317,7  
317,1  
322,4  
317,8  
317,0  
318,0  
317,5

Wir können hiernach mit Sicherheit feststellen, daß Beobachtung Nr. 4 um  $5^0$  zu hoch abgelesen wurde. Wir sehen ferner, daß eine Schwingung des Kompasses nicht stattgefunden hat; die Differenzen in den Dezimalen rühren von der begrenzten Ablesegenauigkeit der Peilungen her. Wir addieren nunmehr obige Reihe und ziehen von der Summe:

2545,3  
5 für den Fehler in der Ableseung 4 ab.  
Den Rest 2540,3 teilen wir durch die Anzahl der Ablesungen = 8

und erhalten 317,5 als Mittelwert. Hiervon haben wir zu subtrahieren 1,4 als westlichen Winkel  $\delta$  laut Tabelle Anh. I und erhalten 316,1, während sich 315 für rechth. NW. ergeben sollte. Wir ersehen also, daß der Steuerstrich des Kreiselkompasses um  $1,1^\circ$  von der Mittellinie des Schiffs abweicht und verschieben ihn um diesen Betrag nach W.

Wie gesagt, sind hiermit alle Kurse korrigiert. Beispielsweise wird auf einer Reise von Europa nach New-York im ganzen nur die Abdrängung zu berücksichtigen sein, die sich allmählich um  $0,6^\circ$  ändert, während der Winkel  $\delta$  bei dem fast genau westlichen Kurse nichts ausmacht. Von Hamburg nach Bergen dagegen würde außer der Abdrängung auch Winkel  $\delta$  laut Tabelle in Frage kommen.

Ein anscheinender Nachteil, der dem Kreiselkompaß manchmal vorgeworfen wird, ist die erforderliche Zeit vom Anlassen bis zu seiner Bereitschaft. Hat er beim Anlassen vom Meridian entfernt gestanden, so dauert es zwei Stunden, bis man ihn als Steuerkompaß verwenden kann, und drei Stunden, bis man genaue Beobachtungen mit ihm machen kann (siehe Kurve auf Seite 40). Auf der anderen Seite ist es aber mindestens drei Stunden vorher bekannt, wann das Schiff auslaufen soll, sodaß man den Kompaß rechtzeitig anstellen kann. Außerdem spricht nichts dagegen, den Kompaß auch während des Aufenthalts im Hafen laufen zu lassen, da die Abnutzung der Lager trotz der hohen Tourenzahl nur eine sehr geringe ist; z. B. haben Instrumente, die im ganzen rund 4000 Stunden im Betrieb gewesen sind, keine Abnutzung der Lager erkennen lassen. Man kann ferner die Einpendelungszeit des Kreiselkompasses bedeutend abkürzen, wenn man den Kreisel mit der Hand auf N/S und horizontale Lage nach der Libelle auf der Rose einstellt, sobald er seine vollen Touren hat.

Der Widerstand der schnell umlautenden Schwungmasse des Kreisels macht den Kreisel in sehr hohem Maße unabhängig von Schleppfehlern (vergl. Theorie Seite 50), sodaß die geringsten Abweichungen des Schiffes vom gewollten Kurse deutlich abzulesen sind. Die Rose ist gänzlich frei von der Unruhe mancher Magnetkompassse und macht das Steuern leichter.

Noch mehr gilt dies von der Übertragung, bei der jeder Schleppfehler von vornherein ausgeschlossen ist. Die Minutenrose der Übertragung gestattet ferner eine zehnmal deutlichere Ablesung als die bisher üblichen Kompassse. Der Kurs kann bedeutend genauer und mit weniger Ruderlegen eingehalten werden.

Für die Schiffe der Handelsflotte wird aus der Einführung der Kompaßübertragung voraussichtlich eine merkliche Verkürzung des Schiffsweges und Erhöhung der Durchschnittsgeschwindigkeit resultieren, da sofort Stützruder gegeben werden kann, ehe das Schiff um einen nennenswerten Betrag ausschert.

Besonderen Nutzen werden die Handelsdampfer vom Kreiselkompaß haben in den ersten Monaten nach ihrer Fertigstellung, solange ihr magnetischer Zustand noch nicht konstant geworden ist. Sobald dieses der Fall ist, kann der Apparat mit geringen Kosten auf ein anderes Schiff kommen, wodurch die Reederei nicht für jedes Schiff die Ausgabe für einen Kreiselkompaß zu machen braucht.

Das Absetzen der rechtweisenden Kurse auf der Karte wird ebenfalls sehr erleichtert; es ist nur eine, und zwar geringfügige Korrektur zu berücksichtigen, die bei nicht zu hohen Anforderungen auch vernachlässigt werden kann.

Hat man den Kreiselkompaß neben magnetischen Kompassen im Gebrauch, so bietet er ein treffliches Mittel zur Bestimmung der Deviationen, da seine deviationsfreien Angaben eine feste Richtlinie ersetzen. Es genügt ein langsames Rundschwojen des Schiffes, um Parallelablesungen der 32 Striche zu erhalten, die dann in bekannter Weise als Deviationskurve aufgezeichnet werden. Umgekehrt prüft man gleichzeitig hierdurch die richtige Stellung des Steuerstrichs beim Kreiselkompaß, da die gerade Linie, die seine deviationsfreien Angaben darstellt, nach Berücksichtigung der lokalen Mißweisung die Deviationskurve eines richtig aufgestellten Magnetkompasses halbieren muß.

Die bei der Übertragung bestehende Verbindung zwischen Mutterkompaß und Tochterkompaß ähnelt im Prinzip einem elektrischen Maschinentelegraphen. Durch diesen Teil kann also kein Nachschleppen entstehen. Da die Motoren des Nachdrehens am Mutterapparat diesen schneller zu drehen vermögen,

als irgendein Schiff Kurs ändern kann, so folgt, daß auch hier die Entstehung eines Schleppfehlers ausgeschlossen ist. In der Tat hat die Praxis gezeigt, daß die Übertragung des Kreiselkompasses absolut frei von einem Nachschleppen ist.

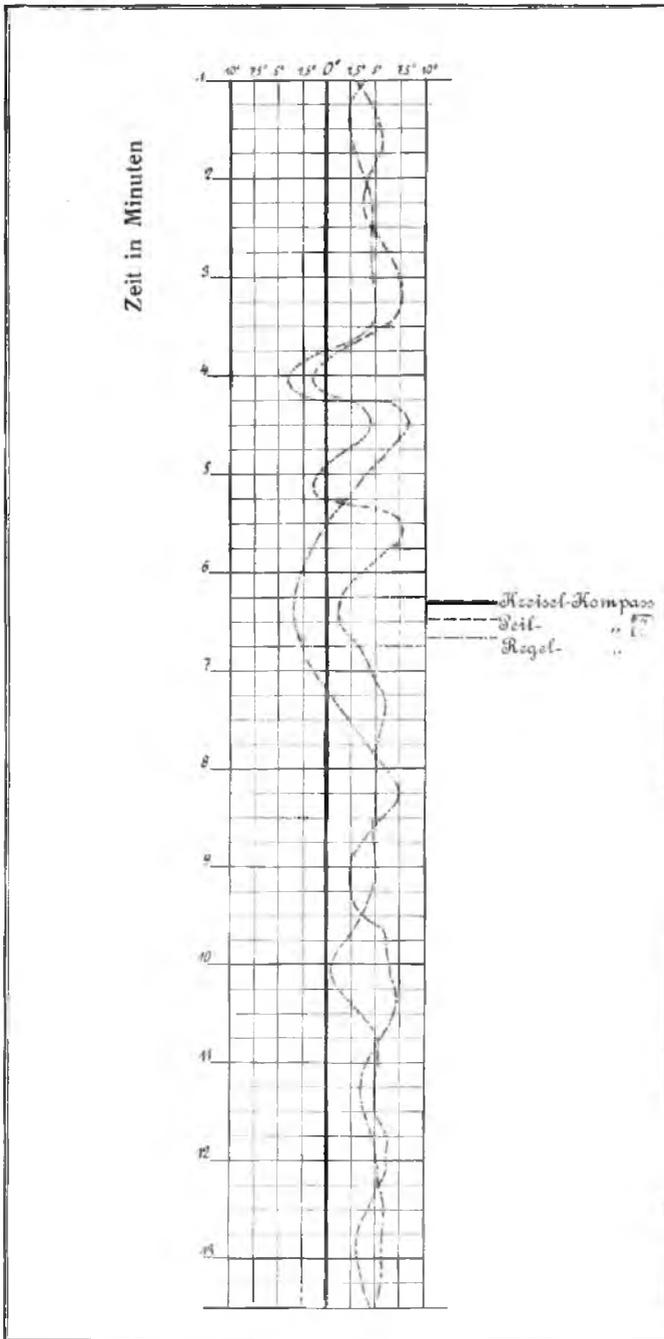
Die Tochterrosen haben alle dieselbe Weisung und können in jeder Stellung an jedem beliebigen Platze Aufstellung finden. Nur die zu Peilungen dienenden Tochterkompassse müssen horizontal und mittschiffs aufgestellt werden. Bei richtiger Anordnung mehrerer Tochterkompassse gibt es keinen Punkt am Horizont, der für Peilungen durch Aufbauten verdeckt wird, da man mit den Beobachtungen beliebig von einem Tochterkompaß zum andern übergehen kann und stets die identischen Weisungen vorfindet. Es können ferner verschiedene Beobachter gleichzeitig peilen und sicher sein, daß ihre Kompassse stets genau übereinstimmen.

Die Genauigkeit der Angaben des Kreiselkompasses hängt von den speziellen Verhältnissen des Aufstellungsorts ab. Die günstigste Aufstellung ist natürlich nahe beim Schwingungsmittelpunkt des Schiffes. Ferner ist ein gut versteiftes Deck erforderlich und ein Platz, wo Maschinenvibrationen nur wenig gefühlt werden. Sind diese Bedingungen erfüllt und keine großen Schwankungen in der Spannung des Schiffsnetzes vorhanden, so wird man auf eine Genauigkeit von  $1^{\circ}$  nach jeder Seite rechnen.

Ist man jedoch gezwungen, mit etwas ungünstigeren Verhältnissen vorlieb zu nehmen, so werden vorübergehende Abweichungen bis  $2^{\circ}$  nach jeder Seite eintreten können. Es ist unmöglich, vorauszusagen, wie die Bewegungen der verschiedenen Schiffe den Kreiselkompaß beeinflussen werden. Es empfiehlt sich daher für den Navigationsoffizier, nach Installation des Kreisels eine Reihe von Versuchen vorzunehmen, die ihm am besten ein Bild von der Genauigkeit des Instruments geben.

Sind besonders schwierige Verhältnisse an Bord, so wird man durch die Kreiselkompaß-Übertragung Abhilfe schaffen, wie am Ende des theoretischen Teiles erläutert.

Mit obigen Bemerkungen sind noch nicht alle Vorteile erschöpft, die die Benutzung des Kreiselkompasses in der Hand des Praktikers bietet. Aus diesem Grunde wird die Firma stets



Schwingungen von Magnetkompassen während Schießens der Mittelartillerie

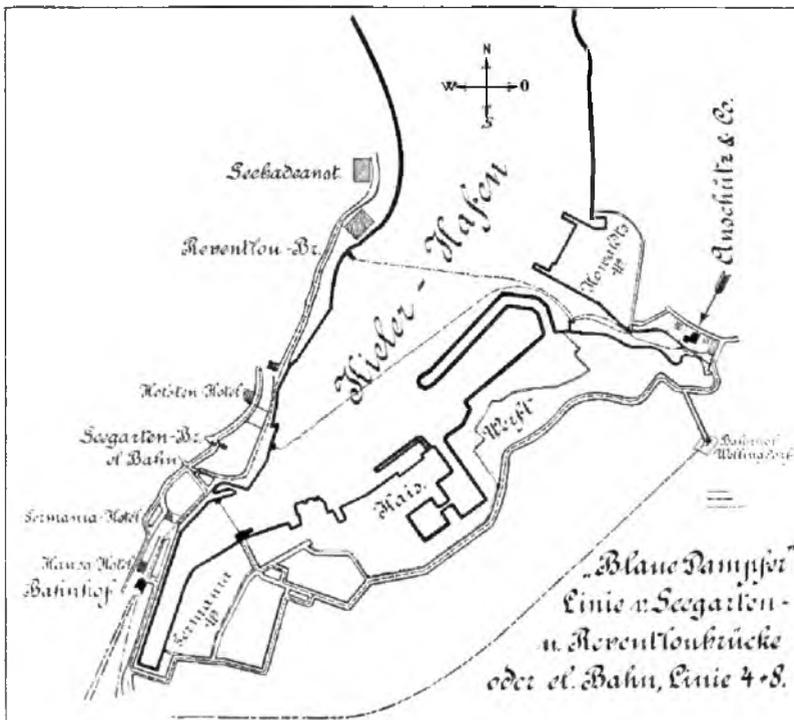
dankbar sein für die Übermittlung von Erfahrungen, welche im Betrieb gemacht werden, sowie für Einsendung bemerkenswerter Beobachtungen. Es ist z. B. sehr interessant, an den Vergleichsablesungen zwischen Kreisel und Magnetkompaß alle die kleinen Veränderungen zu erkennen, denen der letztere durch Vorbeifahren eiserner Schiffe, durch Krängung, durch einseitige Erwärmung durch Sonnenbestrahlung und dergl. ausgesetzt ist.

Mit dem Kreiselkompaß ist es ja zum ersten Male möglich geworden, den Magnetkompaß bei bedecktem Himmel und Fehlen von Landmarken fortgesetzt bequem zu überwachen. Auf nebenstehendem Blatte geben wir als Beispiel in graphischer Form die Differenzen, welche zwei Magnetkomпасse in ihrer Weisung während einer Schießübung mit Mittelartillerie zeigten. Man sieht deutlich die erheblichen Schwingungen der Magnetkomпасse, während der Kreiselkompaß von den Erschütterungen ebensowenig beeinflußt wird wie von den magnetischen Kräften.

---

## Fabrikation.

Die ersten Anfänge des Kreiselkompasses entstanden in München bei der Firma Falter & Sohn, bei denen im Laufe von etwa 2 Jahren die ersten 3 Modelle hergestellt wurden, die bereits im Jahre 1904 bei der Prüfung auf S. M. S. „Undine“ ein ganz beachtenswertes Resultat ergaben. Bei dieser Gelegenheit wurde der Betrieb nach Kiel verlegt, doch waren noch weitere vier Jahre erforderlich, um das Instrument dem Gebrauche an Bord anzupassen.



Figur 25. **Situationsplan.**

Während dieses Zeitraumes war die Versuchswerkstatt schließlich zu einer kleinen Fabrik geworden, die in dem engen Hintergebäude der Dammstraße keinen Platz mehr fand. Um bessere Aufstellungsorte für die Präzisionsmaschinen zu

schaffen, sowie zur Erleichterung des Verkehrs mit den Schiffen der Kaiserlichen Marine, erwies es sich als notwendig, an den Kieler Hafen überzusiedeln.

Seit Anfang 1910 sind nun die Werkstätten nach Neumühlen-Dietrichsdorf, an das Ufer der Schwentine verlegt worden. Von den geräumigen Gebäuden, die zur Zeit gegen 110 Angestellte und Arbeiter beherbergen, wird ein außergewöhnlich großer Teil vom Zeichnersaal, Prüfstand, Laboratorium, Demonstrations-



Figur 26.

**Fabrik von der Wasserseite.**

raum usw. eingenommen. Dies zeigt sofort, daß der Kreiselkompaß und seine Fernübertragung, die einzigen Gegenstände, die hier fabriziert werden, eine ganz besondere Sorgfalt und Berücksichtigung der wissenschaftlichen Seite bedingen.

Dasselbe finden wir bei einem Rundgange durch die eigentlichen Fabrikationsräume bestätigt. Leichte Dreherei, schwere Dreherei, Montageraum, alle sind mit den besten und neuesten Maschinen ausgestattet, die es ermöglichen, auch große Arbeitsstücke mit hoher Präzision herzustellen. Aber es gehört auch ein Stamm von vorzüglichen Arbeitern an diese

Maschinen; Hand in Hand mit den jahrelangen Versuchen und Berechnungen ging die vielleicht nicht minder schwere Aufgabe, die Leute zu einer Peinlichkeit und gleichzeitig Selbständigkeit der Arbeit zu erziehen, wie sie selten gefordert werden.



Abb. 27.

### **Konstruktions-Saal.**

Betrachten wir beispielsweise den Kreisel selbst, so ist ohne weiteres klar, daß er infolge seiner hohen Umdrehungszahl von 20 000 in der Minute enorme Fliehkräfte entwickelt. Die Kräfte, die auf den Schwungring des Kreisels wirken, entsprechen einem Innendruck von ungefähr 1200 Atmosphären.

Natürlich darf nur ein entsprechend ausgewähltes und bearbeitetes Material so hoch beansprucht werden. Um ganz sicher zu gehen, daß der hohe Sicherheitsfaktor der Rechnung in Wirklichkeit genügenden Schutz bietet, wurde einmal ein Kreisel absichtlich immer weiter hinauf in den Umlaufszahlen getrieben, bis er schließlich unbrauchbar wurde. Nur mit vieler Mühe konnte dieses Resultat erreicht werden: Der Kreisel mußte im luftleeren Raume laufen, da sonst die mit dem Quadrat der Geschwindigkeit wachsende Luftreibung zu groß

wurde, ein besonderer Umformer mußte gebaut werden zur Erzeugung des nötigen hochperiodigen Drehstroms usw. Fig. 28 zeigt den Kreisel, der sich am Schlusse des Versuches gedehnt hatte, die Kreiselkappe anstriefte und zerstörte, ohne jedoch selbst zu zerreißen, da er durch das Anstreifen rasch abgebremst wurde. Es war eine fünffache Überlastung erforderlich, um die Dehnung herbeizuführen, ein Beweis, daß man



Abb. 28.

**Kreisel, durch Zentrifugalkräfte zerstört.**

in der Praxis ein Nachgeben des Materials niemals zu befürchten hat.

Die Umfangsgeschwindigkeit des Kreisels berechnet sich im gewöhnlichen Betriebe auf 155 m i. d. Sekunde (= 558 km i. d. Stunde); die Luftreibung hierbei ist bereits eine so große, daß sie 95 % der Arbeit des Kreiselmotors verzehrt. Ein Kreisel mit mehreren Tausend Betriebsstunden ist glatter, als einer, der fein geschliffen von der Schleifbank kommt, was ohne Zweifel auf die Reibung gegen die Luft zurückzuführen ist.

In der leichten Dreherei wird unser Interesse sich am meisten der Herstellung der Kugellager für den Kreisel zuwenden. Das Aussuchen der Kugeln, die auf ein zweitausendstel Millimeter in der Größe übereinstimmen müssen und

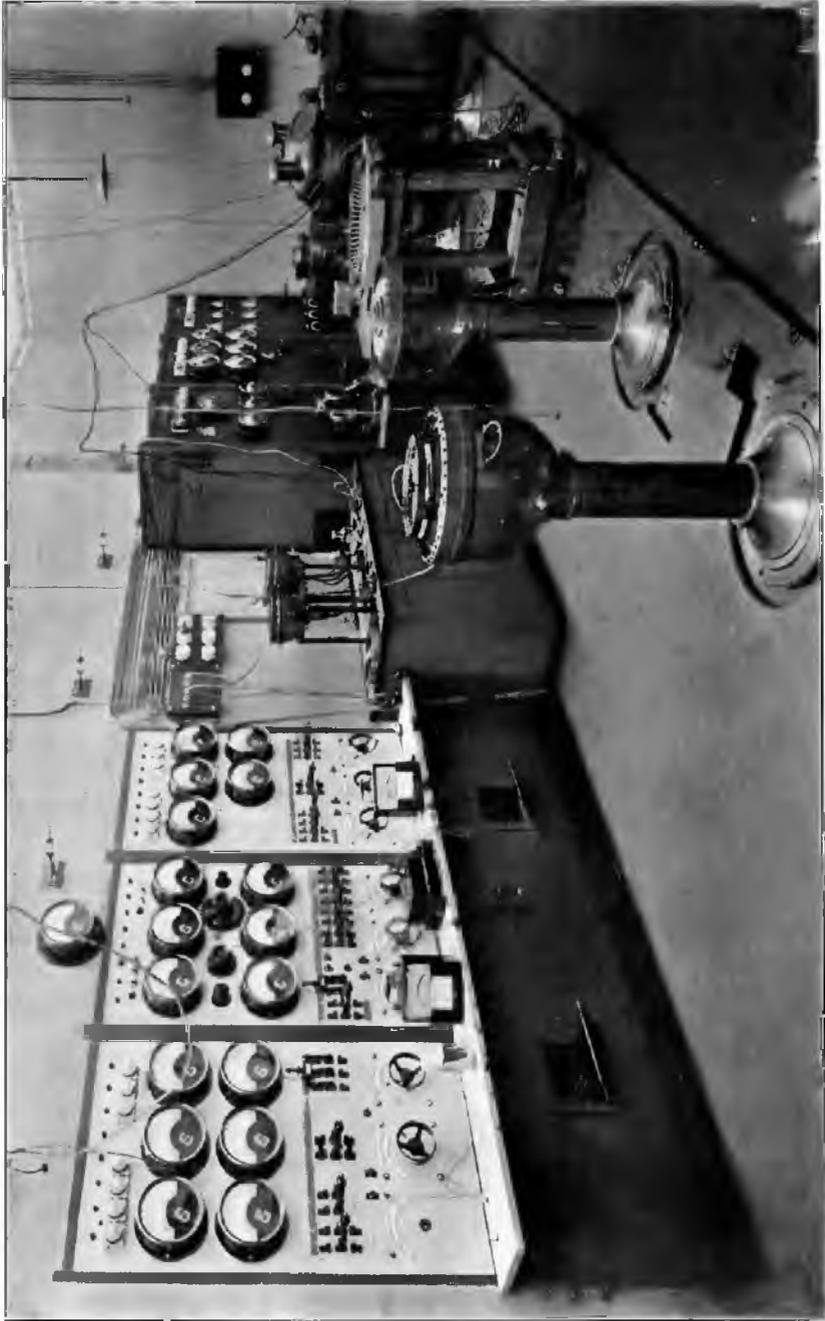


Fig. 29. Prüfstand.

unter dem Mikroskop auf tadellose Bearbeitung untersucht werden, das Schleifen und Polieren der Lagerschalen auf eine ebensolche Genauigkeit, das alles erfordert eine Sorgfalt und Schulung, wie vielleicht die Herstellung eines mikroskopischen Objektivs.

Viel Arbeit ist ferner in dem elektrischen Teile des Kreisels enthalten. Bei Beginn der Versuche existierten noch keine Drehstrommotore mit 20 000 Umdrehungen in der Mi-



Figur 30.

### **Demonstrationszimmer.**

nute, sondern mußten erst konstruiert werden unter den erschwerenden Forderungen von außerordentlich kleinen Dimensionen und eines hohen Wirkungsgrades; letztere Bedingung aus dem Grunde, um die abzuleitende Wärmemenge möglichst klein zu halten. Man sieht es der jetzigen einfachen Konstruktion des Motors nicht an, wieviel Berechnungen und Versuche seine Entstehung gekostet hat; beiläufig ergaben die Versuche u. a., daß die in den Lehrbüchern enthaltenen Konstanten für das Eisen bei dem angewandten Drehstrom von 333 Perioden nicht mehr zuträfen.

Mit ähnlicher Gründlichkeit mußten die anderen elek-

trischen Teile der Anlage behandelt werden, da hierin die erste Vorbedingung für ein einwandfreies Arbeiten des Kreiselkompasses und der Übertragung liegt. Der oft erhobene Einwand gegen einen mechanischen Richtungsweiser, daß er von elektrisch betriebenen Maschinen abhängig sei und somit nicht genügende Sicherheit biete, kann durch die günstigen Erfahrungen widerlegt werden, die man mit dem Kreiselkompaß bei richtiger Wartung erzielt. Auf großen Schiffen wird man sich



**Fabrik, im Hintergrund Verwaltungsgebäude.**

überdies durch einen zweiten Kreisel- oder einen zweiten Mutterkompaß eine Reserve schaffen. Ferner lassen sich die Kreiselkompassse mit Kontrolleinrichtungen versehen, die ständig anzeigen, ob der elektrische Teil der Anlage in Ordnung ist. \*) Beim Magnetkompaß dagegen läßt sich eine Änderung in der Weisung nur erkennen, solange man imstande ist, astronomische oder Landbeobachtungen zu machen. Will man mit dem Betrieb des Kreiselkompasses besonders sicher gehen, so empfiehlt es sich, den Umformer von Akkumulatoren zu

\*) Siehe Abb. 7, S. 20, Buchstabe b.

speisen, die ja keinen Schwankungen in der Spannung ausgesetzt sind. Der Kraftbedarf ist nur gering (640 Watt ungef.), während der Verbrauch an Gleichstrom für die Tochterrosen nur ganz minimal ist (ca. 10 Watt).

Überblicken wir zum Schluß die gegenwärtige Lage, so finden wir durch die Erfahrungen des praktischen Betriebes zweier Jahre erwiesen, daß der Kreiselkompaß berufen ist, an Bord moderner Kriegsschiffe eine wichtige Stellung einzunehmen.



Figur 31. **Leichte Dreherei.**

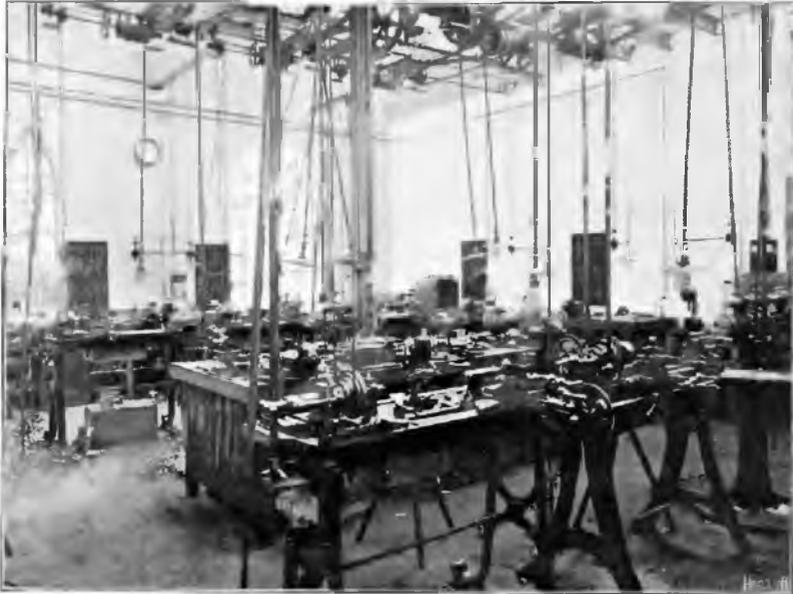
In ganz besonderem Maße bezieht sich dieses auf Unterseeboote mit elektrischem Antrieb.

Die baldige Zukunft wird zeigen, ob der Kreiselkompaß eine ähnliche Bedeutung für die Handelsmarine, in erster Linie für die großen Schnelldampfer gewinnen wird.

Dagegen erscheinen uns die mannigfachen Anfragen verfrüht, die an uns wegen einer Verwendung des Kreisels als Kompaß oder als Längen- und Breiten-Indikator in Luftschiffen gerichtet werden. Manche dieser Vorschläge scheinen dabei

zu übersehen, daß mit einem guten Kompaß die Schwierigkeiten der Navigation noch nicht gelöst sind, die bei Luftfahrzeugen sich durch Fortbewegung in einem bewegten Medium ergeben.

Wir sind ferner darauf aufmerksam gemacht worden, daß der Kreiselkompaß auch im Bergbau und im Tunnelbau gute



Figur 32. **Montageraum.**

Dienste leisten könne. Da hierüber noch keine Erfahrungen vorliegen, beschränken wir uns mit diesem Hinweis, doch sind wir gern bereit, Interessenten mit weiteren Auskünften zu dienen.

Zweifellos harren, wie dem Kreiselprinzip im allgemeinen, so auch seiner besonderen Anwendung als Orientierungsmittel noch mannigfaltige Aufgaben, an deren Lösung wir auch in Zukunft nach besten Kräften mitarbeiten werden.



Figur 33. Schwere Dreherei.

# Anhang I.

---

Tabelle für die Größe des Winkels  $\delta$ .

---

ANMERKUNG: Der Winkel  $\delta$  ist zu der Weisung des Kreiselkompasses zu addieren, um auf den rechtweisenden Kurs zu kommen.







## Anhang II.

### Präzessionsbewegung.

Obgleich alle Physikbücher eine Beschreibung der Präzessionsbewegung enthalten, ist es vielleicht nicht unangebracht, hier eine kurze Erläuterung zu bringen, die keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, sondern nur auf möglichst leichtes Verständnis in seefahrenden Kreisen zugeschnitten ist.

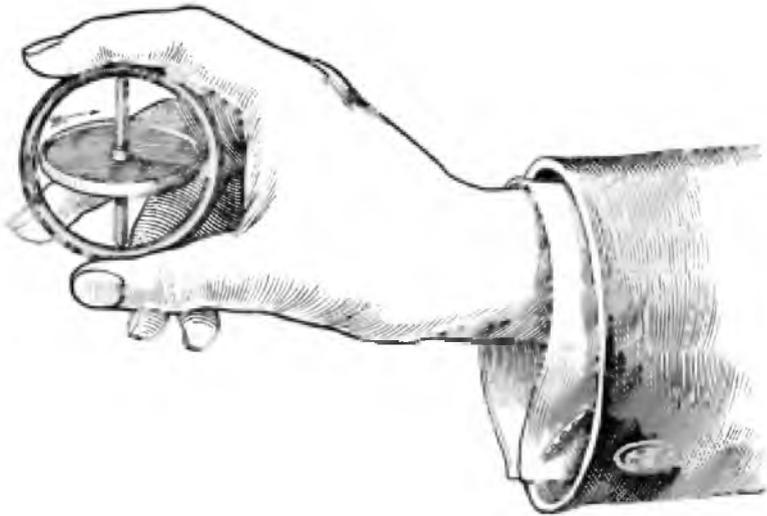
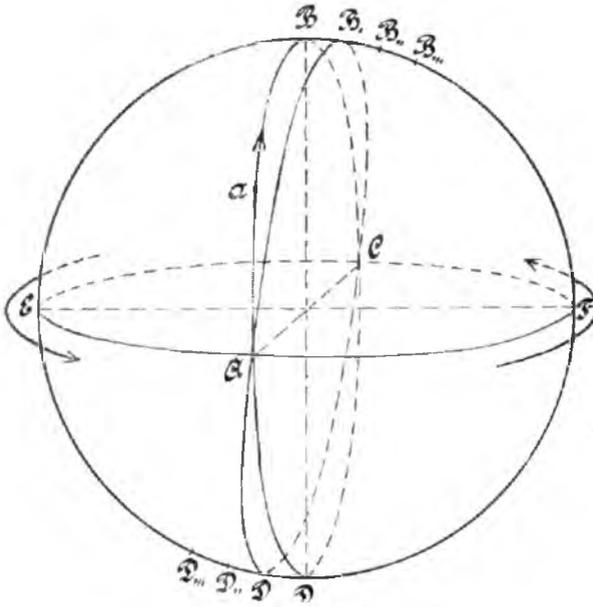


Abb. 34. Das bekannte Spielzeug „Gyroskopkreisel“.

Demonstrieren läßt sich das Wesen der Präzession am besten mit Hilfe eines „Gyroskopkreisels“, des bekannten Spielzeugs (siehe Abb. 34), indem man den äußeren Ring so in die Hand nimmt, daß der Daumen auf der einen, der Zeigefinger auf der anderen Schraube ruht, in denen die Spitzen der Achse laufen. Ist nun der Kreisel aufgezogen und versucht man die Achse aus ihrer Richtung zu drehen, so be-

merkt man einen erheblichen Widerstand und ein Drücken des Kreisels, als ob er sich aus der Hand winden wollte. Bei genauer Beobachtung findet man, daß die Achse immer rechtwinklig zu dem ausgeübten Drucke auszuweichen sucht, was das Kennzeichen jeder Präzession ist.

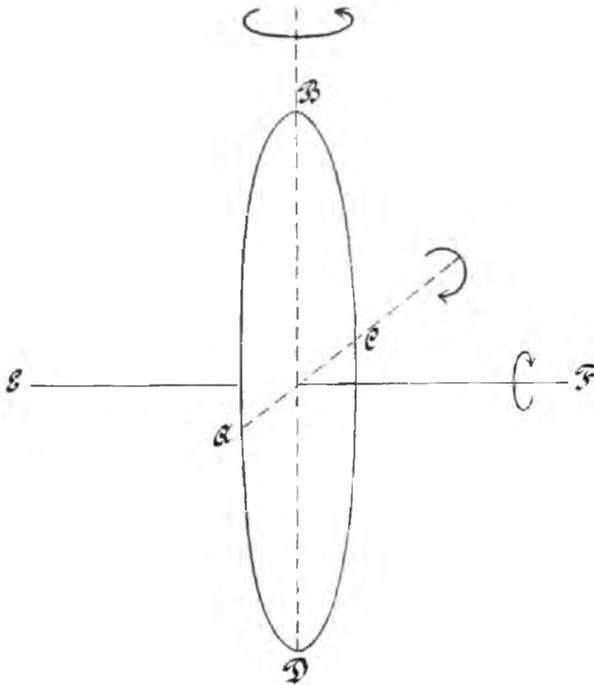
Zur Untersuchung des Grundes hierfür stellen wir uns eine Kugel vor, ähnlich unserer Erde, die jedoch vollkommen mit offenem Wasser bedeckt sein soll (Fig. 35), und auf der zur Erhöhung der Anschaulichkeit ein Meridian und ein



Figur 35.

Äquator eingezeichnet ist, trotzdem wir hier die Kugel als unbewegt ansehen wollen. Dagegen nehmen wir an, daß in der Richtung der zwei Pfeile fortgesetzt eine Art Passatwind auf der Oberfläche der Kugel herrsche, nicht nur am Äquator, sondern bis in hohe Breiten hinauf. Stellen wir uns jetzt einen Dampfer vor, der von A nach B fahren will, so wird er unter dem Einfluß dieses Windes um einen gewissen Betrag abgetrieben und in B<sub>1</sub> statt in B ankommen. Setzt der Dampfer seinen Weg fort, so wird er auf dem Wege nach C denselben Betrag von Kursversetzung, jedoch nach der anderen Seite, er-

fahren, sodaß er tatsächlich in C den Äquator schneidet, später jedoch nach  $D_1$  statt nach D gelangt. Beim einmaligen Umfahren der Kugel wird also das Schiff statt des beabsichtigten Weges ABCD, den um einen kleinen Betrag geneigten Weg  $AB_1CD_1$  zurücklegen. Setzt der Dampfer seine Fahrt fort, so wird der zweite vollständige Kreis in derselben Weise gegen den ersten verschoben sein und über  $AB_2CD_2$  führen, der dritte über  $AB_3CD_3$  und so fort, bis schließlich der Dampfer im Kreise AFCE umläuft und keine weiteren Kursversetzungen durch den Wind erfährt.



Figur 36

Vergleichen wir nun nebenstehende Figur 35 mit obiger Fig. 36, die eine schnell umlaufende Scheibe darstellen soll, so sehen wir ein, daß ein Drehmoment, welches um die Achse BD ausgeübt wird, auf jeden Punkt der Scheibe dieselbe Wirkung haben muß, wie der Seitenwind auf den Dampfer des ersten Beispiels: Die Achse EF der Scheibe wird unter dem Einfluß des Drehmoments sich nicht in die Lage AC begeben (was bei

einer nichtrotierenden Scheibe der Fall ist), sondern die Achse EF neigt sich solange um die Linie AC, bis sie die Stellung BD erreicht. Das ist das charakteristische der Kreiselbewegung, daß die rotierende Achse stets einen Ausschlag rechtwinklig zum angreifenden Drehmoment macht.

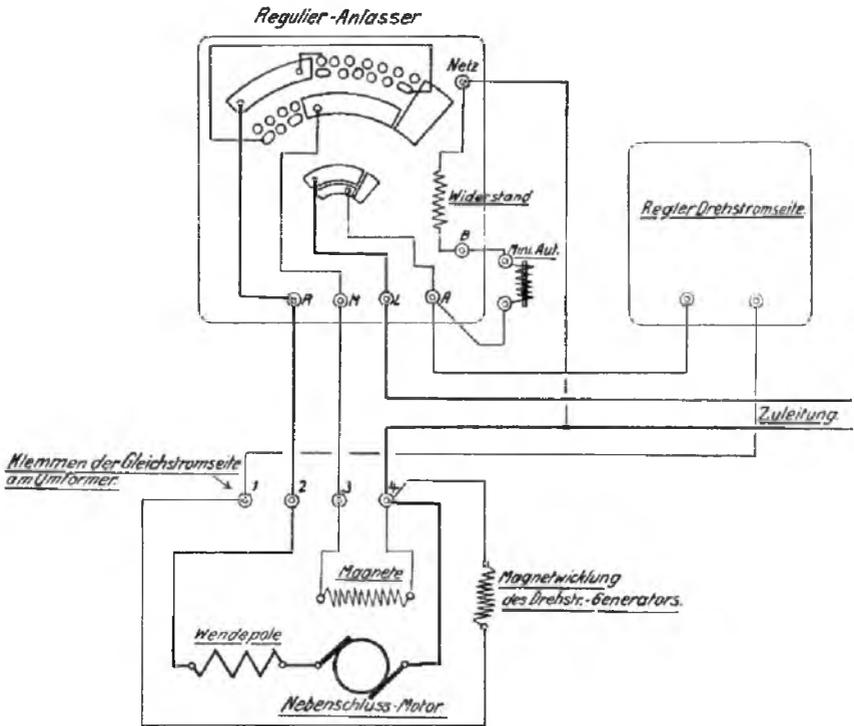
Wird das Drehmoment von der Schwere ausgeübt, und nimmt der Schwerpunkt des beweglichen Systems an den Winkelbewegungen der Kreiselachse teil, so verschiebt sich damit auch fortgesetzt der Angriffspunkt des Drehmoments auf den Kreisel. Die rechtwinkligen Ausschläge addieren sich dann fortlaufend; die Achse des Kreisels beschreibt dadurch einen Kegelmantel.

---

## Anhang III.

### Bedienungsvorschrift für den Kreiselkompaß.

#### I. Schaltungsschema für Gleichstrom-Drehstrom-Umformer.



#### II. Anlassen.

Der Umformer wird mit dem Kompaß mittels des dreipoligen Umschalters zusammengeschaltet, der Ampèremeter und Voltmeterumschalter in eine Phase eingelegt. **Umformer und Kreisel dürfen hierbei nicht laufen.**

Der Spannungsregler wird zuerst ganz eingeschaltet, der Anfasser dann auf den ersten Kontakt gebracht. Der Spannungsregler ist dann langsam auf „Anlauf“ zurückzudrehen, so daß das Ampèremeter nicht über 1,5 steigt. Strom und Spannung der drei Phasen sind während des Anlassens des öfteren auf Gleichheit zu kontrollieren. In dieser Stellung des Reglers und

Anlassers wartet man, bis der Umformer 1200 Touren erreicht hat. Dann geht man mit dem Spannungsregler in „normale“ Stellung und schaltet den Anlasser langsam weiter ein. Der Strom darf nicht über 1,5 Ampère steigen. Ist die **normale Tourenzahl von 2500 pro Minute** erreicht, so regelt man die Spannung auf 120 Volt.

### III. Während des Betriebes.

Die Tourenzahl 2500 ist immer genau zu halten.

Von Zeit zu Zeit, besonders bei auffallender Stellung des Ampèremeters, ist mit dem Umschalter die gleichmäßige Belastung der drei Phasen zu prüfen, sowie die Tourenzahl nachzusehen. Der Umformer verlangt keine andere Wartung wie jede Dynamomaschine; auf funkenfreien Gang ist zu achten. Im Bedarfsfalle sind Kollektor und Bürsten mit Glaspapier Nr. 0 (kein Schmirgelpapier oder -leinen) abzuschleifen. Die einzelne Bürste kann während des Betriebes ausgewechselt werden. Das Ölgefäß des Tourenzählers muß ungefähr alle acht Stunden mit reinem Knochenöl nachgefüllt werden. Steht der Tourenzähler nicht ruhig, sondern vibriert, so ist in der nächsten Betriebspause die Kuppelung zu erneuern.

**Bei jeder Störung der Kreiselkompaßanlage ist sofort Meldung an den Wachoffizier zu machen.**

### IV. Abstellen.

Der dreipolige Umschalter wird ausgeschaltet, so daß Kreiselkompaß und Umformer getrennt sind. Dann sind Anlasser und Regler schnell auszuschalten.

### V. Ölung des Kreisels.

Am Kiesel befinden sich zwei Ölgefäße, die täglich zu revidieren sind und mit dem Spezialkieselöl nachgefüllt werden müssen, wenn sie leer oder halbleer sind oder dunkles Öl enthalten. Unter allen Umständen ist nach je acht Betriebstagen das Öl zu erneuern. Bei Verwendung anderen Öles als des Spezialkieselöles ist die Zerstörung der Lager in kurzer Zeit zu erwarten.

## VI. Synchronisieren.

a) Soll ein noch laufender Kreisel wieder angestellt werden, so ist folgendes Verfahren zu beobachten: Der Spannungsregler wird ausgeschaltet, der dreipolige Schalter eingeschaltet. Der Anlasser wird langsam eingerückt und dabei das Ampèremeter beobachtet. Mit der Zunahme der Touren wird das Ampèremeter einen schwachen Strom anzeigen, bis es beim eintretenden Synchronismus einen deutlichen Rückgang erkennen läßt. In diesem Augenblick wird der Spannungsregler eingeschaltet, worauf man in der unter II. beschriebenen Weise weiter schaltet bis zur Erreichung der normalen Bedingungen.

b) Ist der Betrieb des Kreiselkompasses von einem Umformer auf den anderen zu übernehmen, so gibt man der neuen Maschine die gleiche Tourenzahl wie der ursprünglichen, Spannungsregler dabei auf „normal“. Dann legt man den Umschalthebel schnell von einer Maschine auf die andere herum und reguliert dann mittels Spannungsreglers und Tourenreglers die neue Maschine auf normale Tourenzahl, Stromstärke und Spannung ein.

## VII. Durchbrennen von Sicherungen.

Starke Schwankungen im Schiffsnetz können ein Durchbrennen der Sicherungen veranlassen.

### a) Durchbrennen der Gleichstrom-Sicherungen.

Anlasser und Spannungsregler werden ausgeschaltet, die Sicherungen neu eingesetzt und dann Kreisel und Umformer nach VI. synchronisiert.

### b) Durchbrennen von Drehstrom-Sicherungen.

Brennt **eine** der drei Sicherungen durch oder entsteht in einer Phase ein Leitungsdefekt, so läuft der Kreisel eine kurze Zeit auch mit zwei Phasen weiter. Man erkennt diesen Zustand sofort an der Stellung des Ampèremeters: zwei Phasen haben etwa doppelten Strom, eine Phase gar keinen. Es kann dann die Sicherung ohne Betriebsstörung erneuert werden; nach Einsetzen der neuen Sicherung wird das Ampèremeter ohne weiteres wieder richtig stehen. Ist ein Leitungsdefekt vorhanden, so ist es bei zweiphasigem Betrieb nicht möglich, den Kreisel dauernd auf vollen Touren zu halten. Man geht dann auf 1600—1800

Touren des Umformers zurück. Der Kompaß kann dann wenigstens noch als Steuerinstrument Dienste leisten. Wenn der Kreisel einmal zum Stillstand gekommen ist, kann er unmöglich mit zwei Phasen zum Laufen gebracht werden.

Beim Durchbrennen **zweier oder dreier** Sicherungen ist die elektrische Verbindung zwischen Kreisel und Umformer vollständig unterbrochen. Man muß also den Umformer erst abstellen, neue Sicherungen einsetzen und dann Umformer und Kreisel nach VI. wieder synchronisieren.

#### VIII. **Betrieb zweier Kompassse mit einem Umformer.**

Das Zusammenschalten zweier Kreisel auf einen Umformer darf nur stattfinden, wenn beide Kreisel genau dieselbe Tourenzahl besitzen. Sollen z. B. mit einem Umformer zwei Kreisel betrieben werden, wovon der eine stillsteht und der andere volle Touren hat, so muß man warten, bis der zweite ebenfalls stillsteht und dann beide zusammen anlassen. Haben andererseits beide Kreisel volle Touren, so können sie durch rasches Umlegen des Schalters auf ein und denselben Umformer geschaltet werden.

#### IX. **Übertragung.**

Die Tochterrosen sind dauernd unter Strom zu halten, auch wenn der Kreiselkompaß abgestellt wird, da hierdurch das Neueinstellen der Tochterkompassse nach Betriebspausen erspart wird.

