

Copyright ©

Es gilt deutsches Urheberrecht.

Die Schrift darf zum eigenen Gebrauch kostenfrei heruntergeladen, konsumiert, gespeichert oder ausgedruckt, aber nicht im Internet bereitgestellt oder an Außenstehende weitergegeben werden ohne die schriftliche Einwilligung des Urheberrechtinhabers. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

German copyright law applies.

The work or content may be downloaded, consumed, stored or printed for your own use but it may not be distributed via the internet or passed on to external parties without the formal permission of the copyright holders. It is prohibited to take money for copies or printed versions of the free online version.

Zur Meßmethodik von ozeanographischen Sondenmeßgeräten

VON WERNER KROEBEL

Zusammenfassung: Es werden die Anforderungen an ozeanographische Meßgeräte für die Messung physikalischer Zustandsgrößen im Meer erörtert und gezeigt, daß sie heute praktisch nur mit neuen elektronischen Verfahren erfüllt werden können. Verwirklichte Ausführungen solcher Verfahren und die bisher mit ihnen erzielten Ergebnisse werden beschrieben. Zugleich werden zwei neue Verfahren zur Bereichsunterteilung dargestellt, von denen das eine bisher ausgeführt wurde. Nach ihm kann eine in weiten Grenzen willkürlich wählbare Bereichsunterteilung erfolgen. An Hand eines ausgeführten Beispiels wird eine 21-fache Bereichsunterteilung erläutert.

On measuring methods of oceanographic recording instruments (Summary): The demands made on oceanographic measurement devices for measurements of physical variables of state in the sea are discussed and it is shown that they practically can only be met by new electronical methods. Versions of such methods, which have been carried out, and the results obtained by them, are described. Furthermore two new systems for the subdivision and exaggeration of the range are delineated, one of which has been realized so far. According to this system, the subdivision of the range can be chosen at random in broader limits. A 21-fold subdivision of the range is explained by means of a realized example.

Die physikalische Ozeanographie ist eine Erfahrungswissenschaft. Sie kann sich daher nur auf Grund einer Kenntnis aller jener Meßgrößen sowie von deren Ort und Zeitabhängigkeit entwickeln, durch die die Erscheinungen und Vorgänge im Meer in der Form einer Wissenschaft unserem Verständnis zugänglich werden. Wie die Erfahrungen zeigen, erfordert diese Kenntnis bei der Weite des Meeres nach seinen drei Dimensionen die Durchführung von Messungen z. B. der Wassertemperatur, des Salzgehaltes und mancher anderer Größen in Abhängigkeit von der Tiefe in einem dicht angelegten Netz von Meßstationen. Von diesen Meßstationen müssen die für die vorgegebenen Problemstellungen charakteristischen Meßgrößen ihrem möglichst exakten Werte nach in einer so genügend kurzen Zeitspanne festgestellt werden können, daß bei einem nacheinander erfolgenden Aufsuchen der einzelnen Stationen noch ein wenigstens annähernd zuverlässiges physikalisches Zustandsbild über ein ausreichend großes Seegebiet erhalten werden kann. Das erfordert Meßverfahren, mit denen die Ermittlung aller zu messenden Größen in situ mit fortlaufender Registrierung möglich ist.

Die für diese Messungen in Frage kommenden Meßfühler z. B. für die Wassertemperatur, den Salzgehalt und so fort in ihrer Tiefenabhängigkeit sind zu diesem Zwecke an einem versenkbaren Sondenkörper anzubringen. Bei Ausnutzung der vollen Fallgeschwindigkeit im Wasser von einer solchen im Folgenden als Bathysonde bezeichneten Apparatur von etwa 2 m/sec. ergibt sich damit für geringere Wassertiefen unter der Annahme noch zu erfassender Strukturen bei Tiefenänderungen von 50 cm eine zur Verfügung stehende Meßzeit von 0,25 Sekunden. Innerhalb dieser Meßzeit müßte dann sowohl die Einstellung des Meßfühlers als auch die Aufzeichnung seines Meßwertes bis zu derjenigen Annäherung an den wahren Endwert erfolgen, der durch die zu verlangende Meßgenauigkeit bestimmt ist. Bei größeren Wassertiefen erhöht sich diese Meßzeit entsprechend den dort erst bei Tiefenänderungen von ca. 10 m zu erwartenden Strukturunterschieden auf ca. 5 Sekunden. Hiermit sind die Grenzen für die kürzesten noch sinnvollen Meßzeiten ozeanographischer Meßverfahren festgelegt. Mit den althergebrachten Meßmethoden lassen sich diese Meßzeiten nicht erreichen. Für ihre Realisation bedarf es einer Meßgerätetechnik, die sich einerseits alle bekannten und anwendbaren Verfahren der Elektronik zu Nutze macht und andererseits Wege

beschreitet, auf denen in enger Anlehnung an und gegebenenfalls strikter Beschränkung auf die speziellen Meßanforderungen und Meßbedingungen in der Ozeanographie neue Lösungen gefunden werden können.

Die Meßanforderungen beziehen sich vornehmlich auf die Erreichung extrem hoher Meßgenauigkeiten. So wird z. B. für die Temperaturmessung eine Bestimmbarkeit auf $0,01^{\circ}\text{C}$ gefordert bei einem Temperaturbereich von ca. 0° bis zu $+ 25^{\circ}\text{C}$. Das bedeutet eine Meßgenauigkeit von mindestens $0,4^{\circ}/_{00}$ des vorgegebenen Meßbereiches. Die Leitfähigkeit des Seewassers in den Ozeanen schwankt zwischen 29 Millisiemens/cm bei 0°C und 53 Millisiemens/cm bei 25°C . Aus ihr und der Temperatur wird in der Regel der Salzgehalt bestimmt, für den eine Genauigkeit von etwa $0,01^{\circ}/_{00}$ verlangt wird. Das bedeutet, daß auch die Leitfähigkeit mit einer Genauigkeit von möglichst besser als $0,3^{\circ}/_{00}$ bestimmt werden muß. Nur für die Tiefenmessung wird in der Regel mit einer Genauigkeit von $5\text{--}10^{\circ}/_{00}$ auszukommen sein.

Es gibt indessen kein Registriergerät, mit dem die Meßwerte mit den angegebenen hohen Genauigkeiten aufgezeichnet werden können. Daraus folgt die Notwendigkeit einer Meßbereichaufteilung auf etwa 10 bis 20 Bereiche. Sie muß so erfolgen, daß die absolute Genauigkeit dadurch nicht beeinträchtigt wird. Das verlangt, daß die von den Meßfühlern gelieferten elektrischen Daten mit einer absoluten Genauigkeit von etwa $0,3^{\circ}/_{00}$ gegeben sein müssen.

Die Meßbedingungen sind sehr erschwert, wenn für die Stromversorgung der Bathysonde und für die fortlaufende Meßwertübertragung an Bord ein mehradriges Kabel benötigt wird. Neue Meßverfahren müssen daher der Forderung genügen, daß die Übertragung aller Meßwerte, einschließlich die Stromversorgung des Sondenkörpers, über ein einadriges Kabel möglich ist, das zugleich als Halteseil der Bathysonde dienen kann. Dabei ist weiter zu fordern, daß die Meßwerte durch die Druck- und Zugabhängigkeit der Kabeldaten, wie vor allem der Kapazität pro Längeneinheit, der Induktivität pro Längeneinheit sowie des Widerstandes usw. keine Änderung erfahren und daß auch nicht durch eventuelle Bürstenabnehmer von Schleifringen beim Übergang vom Kabel an der Seilwinde zu den Meßgeräten Abweichungen auftreten.

Zur Befriedigung der Forderung nach Übertragung aller Meßwerte von den Meßfühlern über ein einadriges Kabel zum Anzeigegerät an Bord des Forschungsschiffes bei gleichzeitiger Benutzung dieses Kabels als Zuführungsleitung zur Stromversorgung des Sondenkörpers könnte zunächst an die Anwendung von Signalübertragungsverfahren der Trägerfrequenztelefonie gedacht werden. Danach würden die elektrischen Daten von den Meßfühlern zur Modulation von Wechselspannungen bestimmter aber voneinander verschiedener Frequenzen dienen. Hierbei sei angenommen, daß die Daten der Meßfühler als Spannungen etwa einer Gleichspannungsbrücke gegeben seien.

In diesem Falle müßte bei der getrennten Modulation der einzelnen Meßwerte die Signalgenauigkeit erhalten bleiben, die durch die verlangte Meßgenauigkeit festgelegt ist, da der Meßwert direkt durch das Signal repräsentiert wird. Diese Anforderung wird indessen von keinem der bekannten Modulationsverfahren erfüllt. Es bliebe dann der Weg übrig, die Meßbereichaufteilung bereits in der Bathysonde vorzunehmen, womit infolge der dadurch gegebenen Bereichseinengung die prozentuale Genauigkeitsforderung an das Modulationsverfahren entsprechend der Bereichsunterteilung geringer werden würde. Das erfordert jedoch zahlreiche Umschaltungen in der Bathysonde bei Überschreitungen des vorgegebenen Meßwertintervalls für jeden Bereich und verlangt extrem geringe Kontaktübergangswiderstände. Es ist damit eine Lösung, die besondere Schwierigkeiten in sich birgt, wenn sie auch grundsätzlich gangbar erscheint.

Nun gibt es eine Größe bei einer Wechselspannung, die bei Fortleitung längs eines Kabels keine Beeinflussung erfährt. Das ist die Frequenz der Wechselspannung. Das legt

den Gedanken nahe, die Frequenz einer Wechselspannung als elektrisches Signal für den Wert der zu messenden physikalischen Größe heranzuziehen. Den Bereichen der zu messenden Größen, d. i. bei der Temperatur etwa der Bereich von 0° bis 25°C , bei der Leitfähigkeit der Bereich von 29 Millisiemens/cm bis 53 Millisiemens/cm, würden dann willkürlich festlegbare Frequenzbereiche zuzuordnen sein. Bei geeigneter Wahl dieser Frequenzintervalle wäre damit zugleich ohne weitere Modulation die Möglichkeit gegeben, die Meßwerte über ein einadriges Kabel zu übertragen, durch Filter voneinander zu trennen und durch Umsetzung der Frequenz in einen Instrumentenausschlag eine Meßwertanzeige zu erhalten. In den Fällen, in denen aus besonderen Gründen die durch die Meßfühler gegebenen Wechselspannungsfrequenzen in einem Bereich liegen, für den das verwendete Kabel zu große Dämpfungen aufweist, kann eine Frequenzumsetzung durch Überlagerung vorgenommen werden, wobei durch besondere Maßnahmen dafür zu sorgen ist, daß der Überlagerer eine genügend hohe Stabilität besitzt. Damit ist ein Meßverfahren bestimmt, das einen Aufbau aufweist, wie er in Abb. 1 schematisch wiedergegeben ist. In der Abbildung symbolisiert MG_1 die eigentliche physikalische Meßgröße, also etwa die Wassertemperatur, die Meerwasserleitfähigkeit MG_2 , die Tiefe bzw. den Druck MG_3 und so fort. Diese Größen sind primär als Zustandsgrößen für einen gewählten Meßpunkt im Meer gegeben. Ihre Messung erfolgt durch die Meßfühler MF_1 , MF_2 und MF_3 . MF_1 sei beispielsweise der Temperaturfühler. Hierzu ist irgend ein Körper erforderlich, der temperaturabhängige Eigenschaften aufweist, die sich praktisch streng reproduzieren lassen. Dafür hat sich bei den üblichen Thermometern die Wärmeausdehnung des Quecksilbers und seine Messung durch die Längenänderung des Thermometerfadens bewährt. Diese Längenänderung läßt sich auf verschiedene Weisen in elektrische Größen umsetzen. Es können aber auch zahlreiche andere temperaturabhängige elektrische Materialeigenschaften für Temperaturmessungen herangezogen werden.

Ein wegen seiner geringen Wärmekapazität und damit raschen Einstellung auf eine zu messende Wassertemperatur geeigneter Temperaturfühler ist durch einen Platindraht geeigneter Stärke gegeben. Er erlaubt praktisch streng reproduzierbare Präzisionsbestimmungen der Temperatur über eine Messung seines elektrischen Widerstandes.

Gemäß den obigen Überlegungen ist dann eine Schaltungsanordnung zu entwerfen, in der der temperaturabhängige elektrische Widerstand eines solchen Platindrahtes als frequenzbestimmendes Element in einer Generatorschaltung wirksam wird. Der Temperaturfühler ist damit Teil einer Generatorschaltung $GSch_1$, durch welche der Wert des jeweils vorliegenden Platindrahtwiderstandes in die Frequenz einer Wechselspannung transponiert wird. Die Schaltung ist so zu dimensionieren, daß dem zu messenden Temperaturintervall t_1° — $t_2^{\circ}\text{C}$ ein bestimmtes Frequenzintervall f_1 — f_2 zugeordnet ist.

Die Wechselspannung des Generatorausganges wird zweckmäßig über eine Trennstufe Tr_1 einer Endstufe End zugeführt, die die Wechselspannungen mit genügender Leistung und richtiger Anpassung an das Zuleitungskabel an Bord des Forschungsschiffes leitet. Für andere Meßgrößen MG_2 , MG_3 ... wie z. B. die Wasserleitfähigkeit und den Druck bzw. die Tiefe dient dann eine analoge Anordnung mit den Meßfühlern MF_2 , MF_3 ... , den Generatorschaltungen $GSch_2$, $GSch_3$... und den Trennstufen Tr_2 , Tr_3 Damit sind eine entsprechende Anzahl von Frequenzbereichen für die zugehörigen Meßgrößen gegeben. Sie sind durch die Schaltungsdimensionierung so zu legen, daß sie durch Filter am Kabelausgang gut wieder getrennt werden und daß sie sich nicht gegenseitig unzulässig beeinflussen können.

Am Kabelausgang werden die Wechselspannungen der Meßfühler in ein Bordgerät über einen Vorverstärker Verst., zu den Trennfiltern $F_1, F_2, F_3 \dots$ geleitet. Ihnen folgt ein sogenannter Frequenzmesser $FM_1, FM_2, FM_3 \dots$, also eine Einrichtung, die aus der Frequenz der Wechselspannung eine Gleichspannung gewinnen läßt, die über Meß- bzw. Registriergeräte $M_1, M_2, M_3 \dots$ zu entsprechenden Zeigerausschlägen oder Registrierungen der ursprünglichen Meßgrößen, also etwa der Temperatur, der Leitfähigkeit, der Tiefe usw. führen.

Wird die elektrische Größe des Meßfühlers (s. Abb. 2a) als Funktion der primär zu messenden Zustandsgrößen des Seewassers, also etwa der Temperatur, in einem Diagramm aufgetragen, dann läßt sich eine Größe S_{W_1t} definieren durch

$$\text{Gl 1} \quad S_{W_1t} = \left(\frac{\delta R}{\delta t} \right)_t$$

Wir wollen sie die Wandlersteilheit der Umsetzung der zu messenden Temperatur in Widerstandswerte nennen. Sie ist bei einem nichtlinearen Zusammenhang von der Temperatur abhängig. Wir fügen daher einen Index t an.

Durch die Generatorschaltung findet eine zweite Umwandlung statt. Durch sie wird die Frequenz der erzeugten Wechselspannung eine Funktion der Änderung der frequenzbestimmenden Größe des Generators. Im Falle des erwähnten Thermofühlers wird also die Frequenz eine Funktion des Widerstandes. Gl 2 (siehe auch Abb. 2 b)

$$\text{Gl 3} \quad f = \varphi (R)$$

Hieraus bestimmt sich eine Wandlersteilheit S_{W_2R}

$$\text{Gl 2} \quad S_{W_2R} = \left(\frac{\delta f}{\delta R} \right)_R$$

In den Frequenzmessern im Bordgerät wird eine funktionale Beziehung zwischen der angelieferten Wechselspannungsfrequenz und einer daraus zu gewinnenden Gleichspannung hergestellt (s. Abb. 2c). Sie führt zu einer Wandlersteilheit, (s. Gl 4).

$$\text{Gl 4} \quad S_{W_3f} = \left(\frac{\delta U}{\delta f} \right)_f$$

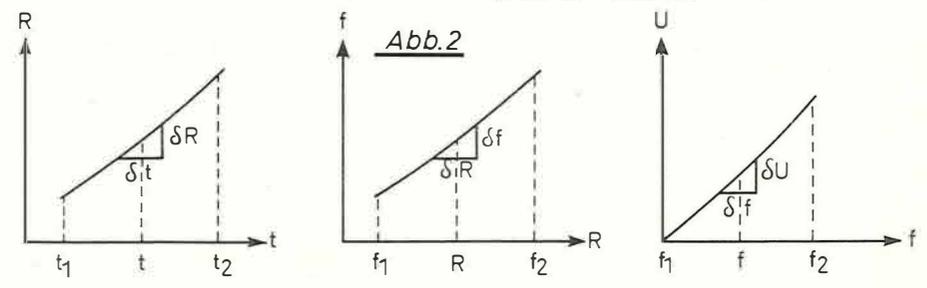
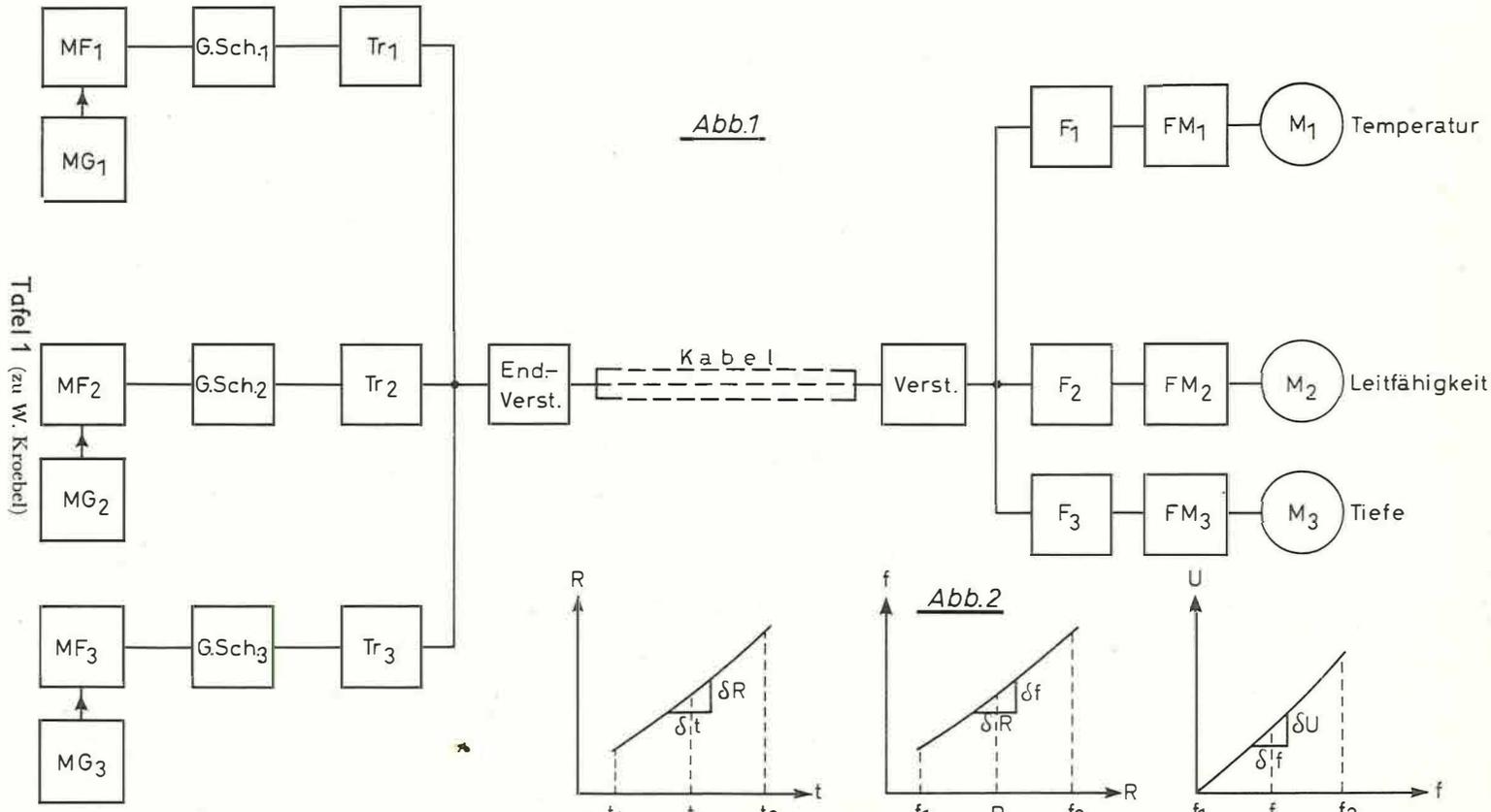
Aus den angeführten Gleichungen ergibt sich der Zusammenhang zwischen der Ausgangsspannung und der Eingangstemperatur durch die folgende Gleichung.

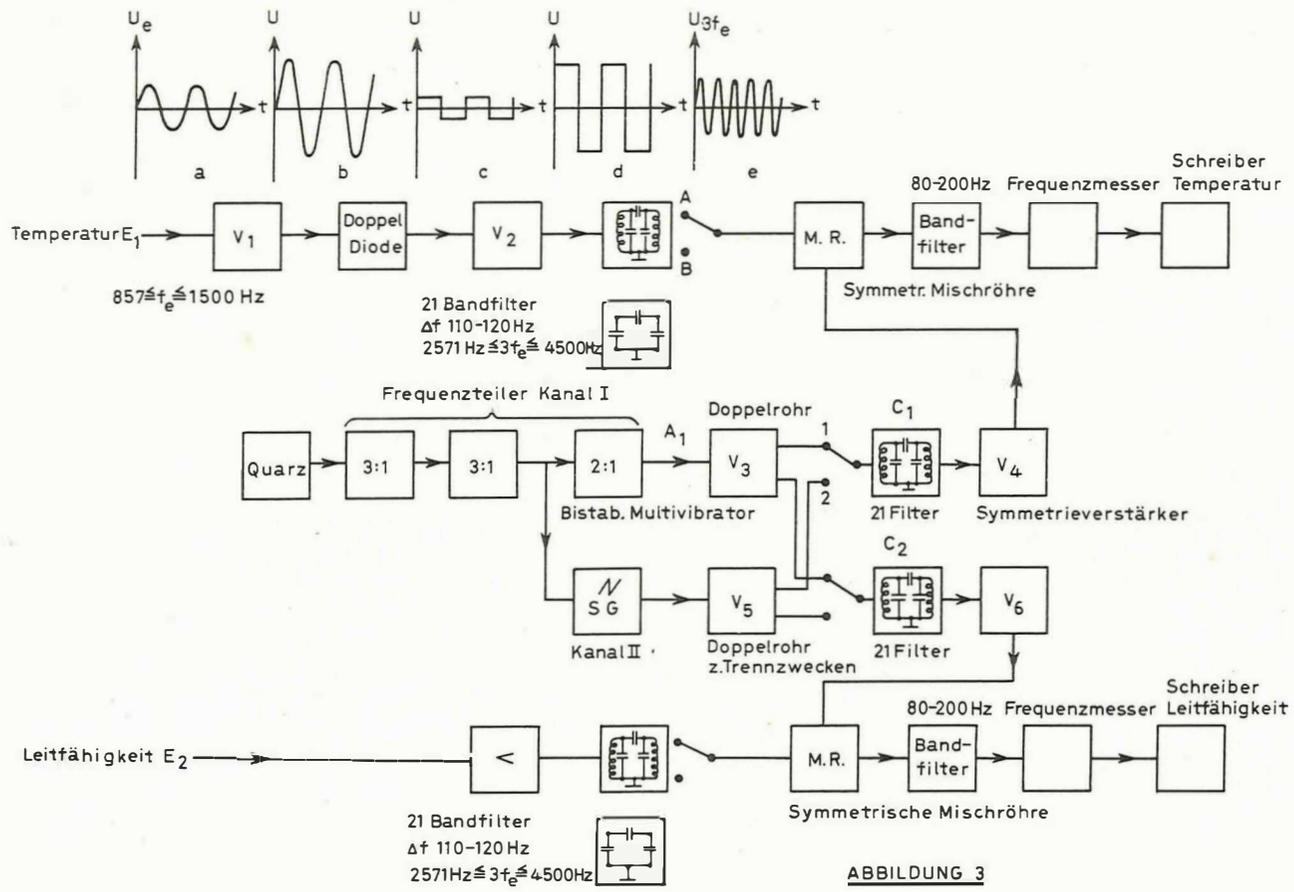
$$\text{Gl 5} \quad U = S_{W_3f} \cdot S_{W_2R} \cdot S_{W_1t} \cdot t$$

Bei Generatorschaltungen, durch die irgend eine elektrische Materialgröße wie ein elektrischer Widerstand oder dergleichen zum frequenzbestimmenden Element einer Schaltung wird, ist es immer möglich, sowohl mit steigender Meßgröße die Frequenz ebenfalls steigen als auch fallen zu lassen und umgekehrt. Das gilt insbesondere

Legenden zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 1)

- Abb. 1: Prinzipschaltbild der Bathysonde Teil I (Unterwasserteil) Teil II (Bordgerät)
 Teil I MG_1, MG_2, MG_3 , symbolisieren die zu messenden Größen (Temperatur, Leitfähigkeit, Tiefe)
 $MF_1—MF_3$, die Meßfühler, $GSch_1—GSch_3$ Generatoren, durch die die Meßgrößen in Wechselspannungen bestimmter Frequenzen umgewandelt werden, $Tr_1—Tr_3$ Trennstufen
 Teil II Vorverstärker Verst., $F_1—F_3$ Filter für die Frequenzbereiche der Meßgrößen.
 $FM_1—FM_3$ Frequenzmesser und $M_1—M_3$ Anzeige bzw. Registriergeräte.
- Abb. 2: a) Funktionale Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes R von der Temperatur
 b) Funktionale Abhängigkeit der Frequenz des Generators $GSch_1$ der Abb. 1 von R
 c) Funktionale Abhängigkeit der Ausgangsspannung U für M_1 der Abb. 1 von f





Tafel 2 (zu W. Kroeber)

auch für die Umsetzung der Frequenz von Wechselspannungen in Gleichspannungen in den Frequenzmessern. Es lassen sich auch Frequenzmesserschaltungen verwenden (KROEBEL, 1960), bei denen die Spannung proportional mit der Periodendauer der Wechselspannung ansteigt, und damit reziprok zur Frequenz wird. Werden diese Möglichkeiten ausgenutzt und werden die Wandler-schaltungen auch sonst geeignet ausgebildet, dann läßt sich der im allgemeinen nichtlineare Zusammenhang zwischen ursprünglicher Meßgröße und Instrumentenausschlag weitgehend linearisieren.

Eine für die Entwicklung der Bathysonden nach dem beschriebenen Grundverfahren wichtige Aufgabe ist, die Entwicklung von Wandlern, mit denen einerseits möglichst große Wandlersteilheiten zu erzielen sind und die eine möglichst hohe Frequenzstabilität aufweisen und die möglichst lineare Beziehungen zwischen der Meßgröße und dem Instrumentenausschlag liefern. Hierfür gibt es eine ganze Reihe von Schaltungsmöglichkeiten. Meinem Schüler H. HINKELMANN, dem diese Aufgabe im Rahmen seiner Doktorarbeit (1957) gestellt worden war, hat eine sehr brauchbare Lösung für die Generatorschaltung des Temperaturfühlers und vor allem des Leitfähigkeitsmessers (HINKELMANN, 1958) entwickelt.

Die erzielbare Frequenzstabilität derartiger Schaltungen ist eine ihrer bemerkenswertesten Eigenschaften. Wird in einer sorgfältigen Untersuchung der entwickelten Schaltungen den phasenverschiebenden Faktoren nachgegangen, durch die Frequenzverschiebungen auftreten, dann läßt sich, wie Untersuchungen zeigten, die Herr PETERSEN von den Kieler Howaldtswerken durchgeführt hat, nach den vorliegenden Erfahrungen bereits eine Frequenzstabilität bis zu etwa 0,5‰ erreichen. Es kann jedoch nicht zweifelhaft sein, daß sich diese Frequenzstabilität noch um mindestens einen Faktor 2—3 weiter heraufsetzen läßt. Damit ist dann die Möglichkeit geschaffen, einen Meßfühler zu erhalten, der für den ganzen zu fordernden Meßbereich, also etwa von 0—25°C bzw. für Ozeane in der Regel von 0—10°C verwendet werden kann. Gleiches gilt von der Leitfähigkeitssonde, die in der z. Z. vorliegenden Form H. HINKELMANN (1958) entwickelt und für die Herr PETERSEN nach eingehenden Messungen ebenfalls eine Meßgenauigkeit etwas bereichsabhängig um 0,5‰ für den eingangs angegebenen Leitfähigkeitsbereich erzielen konnte. Auch hier wird es eine weitere Aufgabe sein, die Meßgenauigkeit noch weiter zu steigern, wofür sich mehrere Wege anbieten. Damit kann vermieden werden, mehrere Meßfühler für engere Temperaturbereiche bei den Messungen ansetzen zu müssen bzw. bislang noch problematische Umschaltungen im Sondenkörper zu Bereichsunterteilungen vorzunehmen. Die Ausnutzung dieser Möglichkeiten ist jedoch nicht auszuschließen. Wie eingangs bereits ausgeführt wurde, ist es möglich, die von den Meßühlern über die Generatorschaltungen angelieferten Wechselspannungsfrequenzen als Ersatzwerte für die eigentlich zu messenden physikalischen Größen so frequenzstabil zu erzielen, daß diese Frequenzstabilität weder von den Registrierinstrumenten noch von den Frequenzmessern direkt voll ausgeschöpft werden können. Denn bei diesen Geräten kann nur mit einer Anzeigegenauigkeit von etwa 1% für den Gesamtbereich gerechnet werden. Um die Frequenzstabilität für die Meßwertanzeige auszunutzen, ist daher die Anwendung besonderer Verfahren nötig. Diese müssen erlauben, den primär gegebenen Frequenzbereich der Meßfühler von f_1 bis f_2 in eine Anzahl von n Meßbereichen aufzuteilen. Das führt auf die Teilbereiche

$$f_1 \text{ bis } f_1 + 1 \cdot \frac{f_2 - f_1}{n}, \quad f_1 + 1 \cdot \frac{f_2 - f_1}{n} \text{ bis } f_1 + 2 \cdot \frac{f_2 - f_1}{n}$$

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 2)

Abb. 3: Prinzipschaltbild für ein Frequenzpreisgerät zur Bereichunterteilung.

und so fort. Aus jedem dieser Teilbereiche ist über einen Frequenzmesser eine Gleichspannung herzustellen, die bereits bei Frequenzänderungen über einen Teilbereich zum Vollausschlag der Anzeigergeräte führt. Um hierbei die prozentuale Genauigkeit der Frequenzumsetzung in Gleichspannungen für die Teilbereiche zu erhalten, ist es notwendig, das Verhältnis der Eckfrequenzen der Teilbereiche etwa ebenso groß zu machen wie das Verhältnis der Eckfrequenzen des Gesamtbereiches, also wie $\frac{f_2}{f_1}$. Das ist auf zweierlei Weise möglich.

Die eine besteht darin, daß zunächst die von den Generatorschaltungen der Meßfühler gelieferten Wechselspannungen z. B. durch Amplitudenbegrenzung so verzerrt werden, daß aus ihnen die n-te Oberwelle ausgesiebt werden kann. Das führt zu einem neuen Frequenzbereich

$$F_2 - F_1 = n \cdot (f_2 - f_1).$$

Die Eckfrequenzen F_1 und F_2 dieses neuen Frequenzintervalles müssen dann durch Überlagerung mit einem frequenzstabilen Generator der festen Frequenz $(n - 1) \cdot f_1$ auf die Frequenzen

$$\begin{aligned} F_1 - (n - 1) \cdot f_1 &= f_1 \\ F_2 - (n - 1) \cdot f_1 &= f_1 + n (f_2 - f_1) \end{aligned}$$

transponiert werden.

Das führt auf einen nunmehr n-fach gespreizten Frequenzbereich von f_1 bis $f_1 + n \cdot (f_2 - f_1)$. Damit steht nach dieser Frequenztransponierung für jeden ursprünglichen Teilbereich wieder das Frequenzintervall f_1 bis f_2 für die Umsetzung der Meßspannungsfrequenzen in Gleichspannungen zur Verfügung.

Das zweite Verfahren möge an Hand des schematischen Schaltbildes der Abb. 3 erläutert werden. Ihm sei ein konkreter und ausgeführter Fall zugrunde gelegt. Bei diesem war das Frequenzintervall für die Generatorschaltung des Temperaturfühlers $(f_1 - f_2)_t$ auf $(f_1 - f_2)_t = 857 \text{ Hz} - 1500 \text{ Hz}$ und die des Leitfähigkeitskanals $(f_1' - f_2')_g$ auf den dreifachen Frequenzbereich $(f_1' - f_2')_g = 3 \cdot (f_1 - f_2)_t = 2571 - 4500 \text{ Hz}$ gelegt worden. Der Frequenzbereich für die Tiefenanzeige mit ihrer geringeren Genauigkeitsanforderung wurde unverändert gelassen und lag von 6000 bis 9000 Hz.

Um für den Temperatur- und Leitfähigkeitskanal mit den gleichen Überlagererfrequenzen auszukommen wird die bei E_1 (s. Abb. 3), insbesondere den Wellenformplan (Abb. 3 a — b) eingespeiste Wechselspannung nach Verstärkung über V_1 durch eine Doppeldiode in eine Mäanderkurve umgewandelt. Aus ihr wird nach weiterer Verstärkung über V_2 der verdreifachte Frequenzbereich erhalten. Aus dem dadurch gewonnenen Frequenzbereich von 2571 Hz bis 4500 Hz werden über Bandfilter entsprechend einer n-fachen Bereichaufteilung die einzelnen n-Teilbereiche mit einer Frequenzbandbreite von jeweils

$$\Delta f = \text{ungefähr } 110 - 120 \text{ Hz}$$

ausgesiebt. Mit der Wahl dieser Bandbreite ist zugleich eine genügende Überschneidung der Teilbereiche gewährleistet. Durch Überlagerung der Teilbereiche in der Mischröhre MR mit einer Oszillatorschaltung der Frequenz von 2481 Hz werden die Eckfrequenzen des ersten Teilbereiches auf einen neuen Frequenzbereich von 90—180 Hz transponiert. Das gleiche geschieht mit den Eckfrequenzen der folgenden Teilbereiche, indem eine

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 3)

Abb. 4: Ansicht der Gesamtanlage der Bathysonde B Unterwassergerät mit den Meßfühlem MG_1 entsprechend Temperatursonde T, MF_2 gleich Leitfähigkeitssonde L und MF_3 gleich Tiefen- sonde D, BG Bordgerät und FG Spreizgerät.

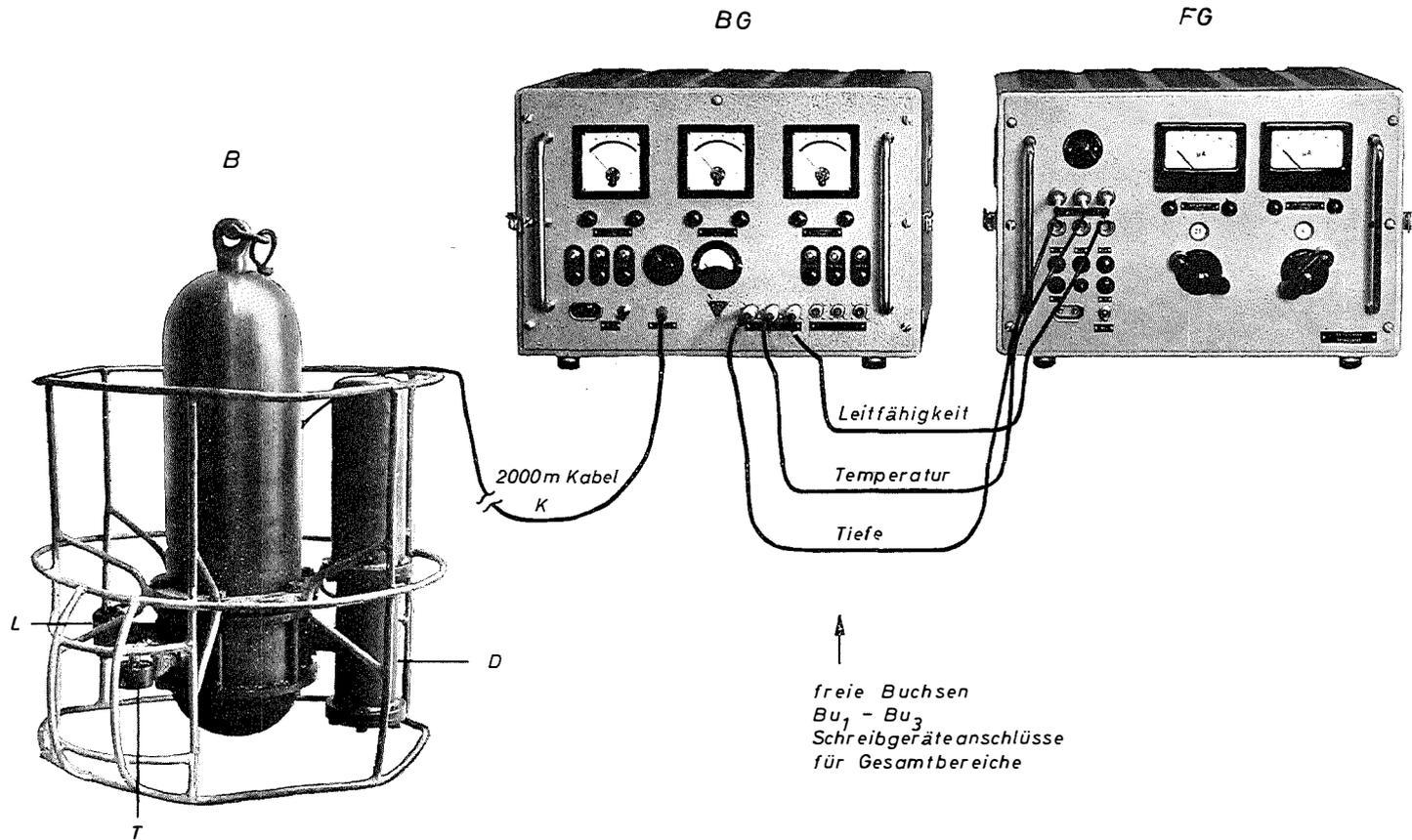


Abb. 4

Tafel 3 (zu W. Kroebel)

Überlagererspannung einer von Bereich zu Bereich jeweils um 90 Hz größeren Frequenz Verwendung findet. Damit wird jeder Teilbereich jeweils auf den Frequenzbereich von 90—180 Hz umgesetzt. Um eine ausreichende Bereichsüberschneidung zu erzielen, wird dieser Bereich über ein Bandfilter, dessen Grenzfrequenzen bei 80 und 200 Hz liegen, ausgesiebt. Dem Filter folgt ein spezieller Frequenzmesser nach, der ohne Glättungsglieder arbeitet (s. 1) und der damit Einschwingzeiten bis fast $\frac{1}{100}$ Sek. zu erreichen erlaubt.

Eine gleiche Anordnung wie die für den Temperaturkanal beschriebene ist auch für den Leitfähigkeitskanal anzuwenden, jedoch mit dem Unterschied, daß für diesen wegen des bereits passenden Frequenzbereiches von 2571—4500 Hz die Frequenzverdreifachung entfällt und die Wechselspannungen gleich an der Stelle E_2 (s. Abb. 3) in eine entsprechende Filteranordnung wie die für den Temperaturkanal eingespeist werden können.

Zur Gewinnung der für jeden Kanal erforderlichen Oszillatorfrequenzen für die Mischröhre MR_1 bzw. MR_2 wird zweckmäßig von einer über einen Quarz frequenzstabilisierten Wechselspannung ausgegangen. Hierzu dient die Quarzstufe mit einer Frequenz von 1653 Hz. Ihr folgen in einem Frequenzteiler-Kanal I drei Frequenzteilerstufen, an deren Ausgang bei A_1 eine mäanderförmige Wechselspannung einer Frequenz von $1653/18 =$ etwa 91,87 Hz erhalten wird. Sie enthält nur ungeradzahlige Oberwellen ihrer Grundfrequenz. Aus dieser werden nach Verstärkung über V_3 wahlweise anschaltbare Filter gespeist, die die ungeradzahligten Oberwellen von der 27. für den ersten Teilbereich bis zur 47. für den 21. Teilbereich anzuschalten gestatten. Im Ausgang des Symmetrierverstärkers V_4 können damit wahlweise alle für die Mischröhre MR_1 bzw. MR_2 erforderlichen Überlagerfrequenzen der ungeraden Teilbereiche abgenommen werden. Die Überlagerfrequenzen der geraden Teilbereiche vom 2. bis zum 20. Teilbereich werden dadurch erhalten, daß nach einer Frequenzteilung von 9 : 1 in einem Frequenzteilerkanal II ein Sägezahnspannungsgenerator SG verwendet wird. Dieser sägezahnförmige Spannungsverlauf enthält nun alle Oberwellen der doppelten Grundfrequenz. Aus seiner Spannung werden daher nach dem Trennrührverstärker V_5 alle erforderlichen geradzahligten Oberwellen der Grundfrequenz für die geradzahligten Teilbereiche gewonnen. Der Grund für die Trennung der Teilbereiche in diejenigen mit Überlagerfrequenzen, die sich aus den ungeradzahligten Vielfachen einer Grundfrequenz und solchen, die sich aus den geradzahligten Oberwellen einer doppelten Grundfrequenz ergeben, liegt in der einfacheren Aussiebungsmöglichkeit für die 21 Filter an der Stelle C_1 und C_2 der Schaltung nach Abb. 3. Denn auf diese Weise ist jeweils der Frequenzabstand der erforderlichen Oberwellen in der Schalterstellung 1 oder 2 doppelt so hoch als ohne die geschilderte Aufteilung.

Von den zwei dargestellten Möglichkeiten zur Bereichsunterteilung zum Zwecke der Ausnutzung der erreichbaren Frequenzstabilität der Generatorschaltungen für die Anzeige- bzw. Registrierinstrumente erfordert die zweitgenannte den geringeren Filteraufwand. Sie wurde daher für eine ausgeführte Bathysonde realisiert. Die Abb. 4 zeigt die Gesamtanlage. In ihr ist B die eigentliche versenkbare Sonde, mit dem Temperaturfühler bei T, dem Leitfähigkeitsfühler bei L und dem Druckfühler zur Tiefenmessung bei D. Die Bathysonde ist über ein zugleich als Halteseil dienendes Kabel K mit dem Bordgerät BG verbunden. Es enthält die Stromversorgung für die Sonde, die Trennfilter für die einzelnen Frequenzkanäle der drei Meßfühler, die Frequenzmesser für eine Gesamtbereichsanzeige der Temperatur, der Leitfähigkeit und des Druckes, deren Werte auf den eingebauten Meßinstrumenten abgelesen oder auf Schreibgeräten registriert werden können, die an die Buchsen Bu_1 bis B_3 anzuschließen sind. Die Wechselspannungen des Temperatur- und Leitfähigkeitskanals werden zugleich parallel den

Eingängen des Frequenztransponierungsgerätes FG zugeleitet. Es arbeitet nach dem an zweiter Stelle beschriebenen Verfahren zur Spreizung des Frequenzverhältnisses, das den Frequenzmessern angeboten wird. Mit dem dargestellten Gerät werden zur Zeit die folgenden technischen Daten erreicht.

Bei einem Gesamtbereich der Temperatur von 0—10°C mit 21 überlappenden Teilbereichen eine Temperaturgenauigkeit von $\pm 0,005^\circ\text{C}$, bei einem Gesamtbereich der Leitfähigkeit von 29 mS/cm bis 39 mS/cm in 21 überlappenden Teilbereichen $\pm 0,01$ mS/cm. Damit ist eine Bestimmbarkeit des Salzgehalts im freien Ozean bei Temperaturschwankungen von 0—10°C bis auf $0,01\%_0$ S gegeben.

Literaturverzeichnis

KROEBEL, W. (1960): Ein Frequenzmesser ohne Glättungsglieder. Atomkernenergie 1960, Heft 3, S. 81—86. — HINKELMANN, H. (1957): Gerät zur Schnellregistrierung in der Ozeanographie. Z. angew. Phys. 9, 505. — HINKELMANN, H. (1958): Ein Verfahren zur elektrodenlosen Messung der elektrischen Leitfähigkeit von Elektrolyten. Z. angew. Phys. 10, 500.