

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.

Ein Schleppkabel zur Messung räumlicher Temperaturprofile

Technischer Bericht

Von KARL-HEINZ KEUNECKE

Zusammenfassung: Es wird der Aufbau eines 50 m langen Schleppkabels beschrieben, das 30 zwei-polige Stecker im Abstand von 1,5 m trägt, an die Sensoren zur Messung ozeanographischer Parameter angeschlossen werden können. Zur Reduzierung des Strömungswiderstandes und zur Dämpfung von Vibrationen wird das Kabel mit Kunststofflossen verkleidet. Als Depressor dient ein Jalousie-Drachen, mit dem Schleppgeschwindigkeiten bis zu 12 kn möglich sind. Gegenwärtig werden an die Stecker 30 NTC-Widerstände angeschlossen, die auf eine gemeinsame Kennlinie abgeglichen worden sind. Die Temperaturen werden mit Hilfe einer digitalen Datenerfassungsanlage auf Lochstreifen registriert.

A towed cable for spatial temperature profiling (Summary): The construction is described of a 50 m cable supplied by 30 connectors with two contacts at distances of 1.5 m in order to attach oceanographic instruments. For the purpose of reducing drag forces and vibrations the cable is faired with plastic fins. With a depressor shaped like a Venetian blind towing speeds up to 12 kn are possible. At present 30 NTC-resistors are used, adjusted to an identical temperature response. The temperatures are measured by means of a digital data logging system and printed on punch tape.

1. Einleitung

Bei physikalischen Untersuchungen des Meeres bereitet die Aufgabe, Beobachtungsmaterial über das räumliche Verhalten der Bewegungsvorgänge zu liefern, große Schwierigkeiten. Im Grunde läßt sich das Problem mit einem Netz von stationären Systemen lösen. Die häufig festgestellten geringen vertikalen und horizontalen Kohärenzlängen machen jedoch einen sehr geringen Gitterabstand erforderlich. Somit übersteigt die Auslegung eines solchen Meßnetzes zum gegenwärtigen Zeitpunkt die personellen und finanziellen Möglichkeiten eines einzelnen Institutes bei weitem. Lediglich vereinzelt im Rahmen großer Expeditionen bei Beteiligung mehrerer Institute gelingt es, eine größere Zahl verankerter Meßsysteme für einen relativ kurzen Beobachtungszeitraum einzusetzen. Deshalb ist es angebracht, räumliche Untersuchungen auch vom fahrenden Schiff mit geschleppten Sonden durchzuführen, obwohl diese Art Messung von vornherein unvollständiger sind, da die Strömung nicht oder höchstens sehr ungenau gemessen werden kann. Zusätzlich ist die Interpretation der Daten von geschleppten Meßgeräten wesentlich schwieriger, da sich räumliche und zeitliche Vorgänge überlagern.

Zum Einsatz vom fahrenden Schiff sind zwei verschiedene Verfahren bekannt. Eine Möglichkeit besteht darin, einen Schleppkörper, der mit Meßsonden ausgerüstet ist, hinter dem fahrenden Schiff zwischen zwei Tiefenlagen oszillieren zu lassen. Ein solches Gerät mit der Bezeichnung „Delphin“ ist von J. JOSEPH (1962) und von H. WEIDEMANN (1966) beschrieben worden. Eine Alternative hierzu ist die sogenannte Thermistor-Schleppkette (E. C. LAFOND (1963), R. BOWERS, D. G. BISHOP (1966)). Sie besteht aus strömungsgünstig verkleideten Stahlelementen, die wie Kettenglieder miteinander verbunden sind. In der Verkleidung werden die elektrischen Leiter für die Temperatursensoren geführt. Diese Gliederketten sind außerordentlich schwer und können nur auf großen Forschungsschiffen gehandhabt werden.

In der FWG ist in den letzten Jahren die Entwicklung eines Schleppkabels zur Aufnahme räumlicher Temperaturprofile durchgeführt worden. Ein Prototyp ist seit drei Jahren im Einsatz und hat sich bewährt. Dieses Schleppkabel unterscheidet sich von den bisherigen Gliederketten dadurch, daß es aus einem Kabel besteht, das sowohl den tragenden Teil zur Aufnahme der Kräfte und auch die elektrischen Leiter für die Meßsonden enthält. Bei einer Gesamtlänge von 50 m werden im Abstand von 1,5 m elektrische Leiter an 30 außenliegende Stecker herangeführt. Hieran werden 30 NTC-Widerstände¹⁾ zur Messung der Wassertemperatur angeschlossen. Die Widerstände der einzelnen Heißleiter werden in Brückenschaltungen mit Hilfe einer digitalen Datenerfassungsanlage gemessen und gespeichert. Das Kabel, das zur Verringerung des Strömungswiderstandes mit Flossen verkleidet ist, wird durch einen Tiefendrachsen mit einer Neigung von 10°—40° gegen die Vertikale nach unten gezogen. Dieses Schleppkabel wurde speziell zum Einsatz in Flachwassergebieten entwickelt, doch gibt es prinzipiell keine Beschränkung der Länge auf z. B. 50 m, auch ist es möglich, andere Sensoren als Temperaturmeßfühler anzuschließen.

2. Aufbau des Schleppkabels

Bei den Entwicklungen hat es sich herausgestellt, daß der mechanische Aufbau eines Schleppkabels das größte Problem darstellt. Es treten nicht nur Kräfte bis zu mehreren Tonnen auf, sondern jedes Schleppkabel wird durch das anströmende Wasser zu starken Vibrationen angeregt. Diese Vibrationen führten bei früheren Modellen bereits nach kurzer Zeit zum Kabelbruch.

Der Aufbau des 50 m langen Kabels ist in Abb. 1 gezeigt. Der Kern (1) stellt ein 3-lagiges Litzenseil dar, wobei die Litze selbst aus 3 Drähten besteht und mit Polyäthylen umspritzt ist. Dieser Füllkörper wird durch einen Polyamidmantel abgeschlossen. Über dem umspritzten Füllkern befinden sich 30 Stahllitzen in einer Seillage (2), die jeweils aus 1 + 6 + 12 verzinkten Drähten bestehen und wiederum nach außen durch einen Polyamidmantel abgeschlossen sind. Füllkörper und Stahllitzen stellen den tragenden Teil des Kabels dar, der bei einem Durchmesser von 39 mm eine rechnerische Bruchlast von 27 t aufweist. Der elektrische Teil des Schleppkabels besteht aus 30 paarigen Adern (3), die wiederum in einer Seillage auf dem Polyamidmantel des tragenden Querschnittanteils ruhen. Der Kupferquerschnitt der elektrischen Leiter beträgt 0,3 mm², dem zur Erhöhung der Zugfestigkeit zusätzlich Stahldrahtanteile in der Größe von ca. 0,25 mm² beigegeben sind. Dieser Teil des Kabels wird nach außen durch einen Desmopanmantel (4) abgeschlossen, der gleichzeitig die Kabeloberfläche darstellt. Der Gesamtaußendurchmesser beträgt 53 mm, während das Gesamtgewicht bei einer Länge von 50 m ca. 250 kg ausmacht.

Der ungewöhnliche Aufbau des Kabels — üblicherweise befindet sich im Innern der empfindliche Teil, d. h. in diesem Falle die elektrischen Kabel, und außen als Armierung der tragende Teil — war aber notwendig, um in Abständen von 1,50 m die elektrischen Leiter herauszuführen. An diese sind dann zweipolige Stecker (6) mit korrosionsfreien Kontakten angeschlossen. Zur Dichtung der Ausführung aus dem Kabel dient eine Muffe aus Desmopan (5). Sie hat gleichzeitig die Aufgabe, den Stecker beim Auftrommeln zu schützen. Der Muffendurchmesser beträgt 8 cm, die Länge der Muffe 25 cm. Die Muffe kann aus fertigungstechnischen Gründen nicht auf dem Desmopan-Mantel des Kabels aufvulkanisiert werden. Um das Eindringen von Wasser zu verhindern, sind die Enden der Muffe wie ein Faltenbalg ausgeführt und durch Schlauchklemmen (7) an dem Kabel befestigt. An den Enden des Kabels mündet der tragende Teil (1), (2) in Spezialkauschen (9), (10), an denen die Kette während Schleppfahrten gehalten

¹⁾ NTC = negative temperature coefficient

bzw. der Schleppdrachen befestigt wird. Die elektrischen Leiter werden am oberen Ende an einen 60-poligen Stecker angeschlossen und enden am unteren Ende in einer Blindmuffe.

Bei Schleppfahrten erweist es sich als notwendig, das Kabel mit Flossen zu verkleiden. Hierdurch gelingt es, sowohl den Strömungswiderstand erheblich zu reduzieren als auch die durch Turbulenz des anströmenden Wassers verursachten Schwingungen des Kabels zu dämpfen. Wie Abb. 1 zu entnehmen ist, sind die Flossen (11) zwischen den Muffen frei drehbar angebracht. Sie haben eine Länge von 120 cm, eine Breite von 40 cm und die Dicke beträgt entsprechend der Kabelstärke 5,5 cm. Die geöffnet gezeichnete Flosse zeigt den Aufbau. Die eigentliche Flosse besteht aus 3 mm starken PVC-Platten (12) und den Stegen (13). Die Befestigung am Kabel erfolgt durch PVC beschichtetes Nylongewebe (14) hoher Reißfestigkeit. Die ausschließliche Verwendung von Kunststoffen gewährleistet, daß die Flosse das Kabel während einer Schleppfahrt nicht durch Schamfilung beschädigen kann.

Das Kabel kann auf jeder Trommel mit einem Durchmesser von mehr als 1 m aufgetrommelt werden. Für den Einsatz auf dem WFS „Planet“ wird eine einfache Speichertrommel ohne Eigenantrieb verwendet. Die Anordnung für das Aussetzen und Aufnehmen der Schleppkette ist in den Abb. 5—7 zu sehen. Die Trommel befindet sich auf dem Hubschrauberlandedeck. Von dort wird das Schleppkabel über einen Block am A-Galgen am Heck des Schiffes ausgesetzt. Zunächst wird an der Endkause der Drachen befestigt. Vom Arbeitsplatz unter dem Galgen aus werden dann die Sensoren angeschlossen und das Kabel mit Flossen verkleidet. Das Fieren und Hieven erfolgt mit Hilfe einer Winde des Schiffes. Für eine Meßfahrt ist es nun erforderlich, daß das Kabel sich außerhalb des Schraubenwassers des Schiffes befindet. Deswegen wird es am Heck seitlich in einer Klüse belegt. Mit dieser Anordnung sind Meßfahrten mit Geschwindigkeiten bis zu 12 kn möglich.

Mit Hilfe des Schleppkabels soll für jeden Ort das Vertikalprofil gemessen werden. Dazu muß das Kabel unter einem möglichst großen Neigungswinkel durch das Wasser gezogen werden. Zur Erzeugung eines ausreichenden Untertriebes werden Jalousie-drachen verwendet. Diese haben den Vorteil, daß sie nur ein geringes Gewicht besitzen im Vergleich zu den Zugkräften, die sie während des Schleppens entwickeln. Sie bestehen aus einem Kastenrahmen in dem drei Schaufeln übereinander wie in einer Jalousie angebracht sind. Die Drachen werden in zwei Größen verwendet. Der kleinere, der auch in der Abb. 4 zu sehen ist, mit den Abmessungen 120 cm × 115 cm × 17 cm entwickelt im Geschwindigkeitsbereich von 4—12 kn eine Zugkraft von 0,8—1,8 to. Der größere dagegen mit den Abmessungen 160 cm × 155 cm × 23 cm erzeugt unter entsprechenden Bedingungen einen Zug von 1—3,5 to.

Die Lage des Kabels im Wasser ist nur eine Funktion der Geschwindigkeit des Schiffes durch das Wasser. Sie ist durch eine einmalige Messung mit Druckmeßdosen bestimmt. In Abb. 2 ist als Beispiel das Ergebnis der Vermessung des Schleppkabels bei Verwendung des großen Jalousie-Drachens angegeben. Das Kabel ist in einer Höhe von 2,50 m oberhalb der Wasseroberfläche in einer Heckklüse befestigt. Die drei verwendeten Druckdosen hatten auf dem Kabel von diesem Punkt die Abstände 18,5 m, 34,5 m, 48,5 m. Hieraus und aus den gemessenen Drücken ergibt sich die Position der 3 Druckdosen, die als Kreise eingezeichnet sind. Die Verbindungslinien durch Aufhängepunkt und die Kreise zeigen näherungsweise die Lage des Kabels für 5 verschiedene Geschwindigkeiten. Bei gestopptem Schiff hängt das Kabel senkrecht nach unten und mit zunehmender Geschwindigkeit nimmt der Neigungswinkel ab. Der mittlere Auslenkungswinkel des Kabels aus der Vertikalen bei Schiffsgeschwindigkeiten zwischen 4 und 9 kn liegt

zwischen 20° und 40° . Bei 4 kn beträgt die erreichte Tiefe 94% der Länge des Schleppkabels und bei 9 kn nur noch 82%. Erwartungsgemäß nimmt die Neigung des Kabels nach unten hin zu (siehe z. B. M. C. EAMES, 1967). Die Abweichung von der Gradlinigkeit ist aber relativ gering, da die Zugkräfte des Drachens groß sind im Vergleich zum Strömungswiderstand des Kabels. Es ist sehr wesentlich, daß sich die Meßsonden während einer Meßfahrt in einer konstanten Tiefe befinden. Dies ist bei Schleppfahrten zwischen 6 und 9 kn angenähert gewährleistet, da eine Fahrtänderung um 1 kn in diesem Bereich lediglich eine Tiefenänderung von 3% hervorruft. Die Elimination des Einflusses des Seeganges wird im anschließenden Abschnitt behandelt.

Nach den Erfahrungen, die aus dem Betrieb des beschriebenen Schleppkabels gewonnen wurden, ist inzwischen eine verbesserte Version entwickelt worden, die allerdings bisher noch nicht eingesetzt wurde. Es enthält anstelle der Stahlseile ((2) in Abb. 1) eine weitere Lage elektrischer Leiter, so daß insgesamt 60 2-polige Sensoren angeschlossen werden können. Zusätzlich wurde bei gleichbleibender Bruchlast der Kabeldurchmesser von 5,3 auf 4,6 cm verringert. Die Länge dieses Kabels beträgt 70 m, wobei die Muffen mit den Steckern in einem Abstand von nur noch 1 m angebracht sind.

3. Temperaturmessung

Die Temperaturmessung erfolgt mit NTC-Widerständen. Diese besitzen einen großen Temperaturkoeffizienten von etwa $-4\%/^\circ\text{C}$ und lassen somit einfache Meßverfahren zu. Bei der verwendeten Type befindet sich der Halbleiter in einem an den Enden verschmolzenen Glasrohr von 10 mm Länge und 3 mm Durchmesser. Er ist, wie Abb. 1 (8) zeigt, direkt an eine Steckbuchse angelötet. Zum Schutz gegen Beschädigungen ist er mit Kunststoff vergossen, wodurch die Zeitkonstante des NTC-Widerstandes von ca. 1 s auf 60 s erhöht wird. Auf diese Weise wird erreicht, daß Temperaturschwankungen, die durch vertikale Bewegungen des Schiffes im Seegang hervorgerufen werden, die Messungen nicht beeinflussen. Der Widerstand des Heißleiters beträgt im Temperaturbereich von $0-20^\circ\text{C}$ etwa $4-8\text{ K}\Omega$. Dieser Bereich wurde gewählt, damit einerseits die Zuleitungs- und Übergangswiderstände in der Größe von ca. $2-3\ \Omega$ vernachlässigbar sind und andererseits keine zu hohen Anforderungen an den Eingangswiderstand der Meßverstärker gestellt werden müssen. NTC-Widerstände fallen bei der Fertigung sehr unterschiedlich aus, so daß sowohl die Widerstände als auch die Temperaturkoeffizienten sehr stark variieren. Daher ist es notwendig, die Temperatursensoren angenähert auf eine Kennlinie abzugleichen. Das geschieht durch Beschaltung der NTC-Widerstände $R(T)$ mit Reihenwiderständen R_h und Parallelwiderständen R_p , entsprechend Abb. 3 a.

Der Gesamtwiderstand $R^*(T)$ und der zugehörige Differenzenquotient ergeben sich wie folgt:

$$(1) \quad R^*(T) = R_s + \frac{R(T) \cdot R_p}{R(T) + R_p} \quad ,$$

$$(2) \quad \frac{\Delta R^*(T)}{\Delta T} = \frac{\Delta R(T)}{\Delta T} \frac{R_p^2}{(R(T_1) + R_p)(R(T_2) + R_p)} \quad .$$

wobei T die Temperatur in $^\circ\text{C}$ ist. Man erkennt, daß durch Wahl der Widerstände R_s und R_p der Gesamtwiderstand auf den gemeinsamen Wert $R^*(T)$ angehoben und die Empfindlichkeit auf den gemeinsamen Wert $\frac{\Delta R^*(T)}{\Delta T}$ reduziert werden kann.

Tafel 1 (zu K.-H. Keunecke)

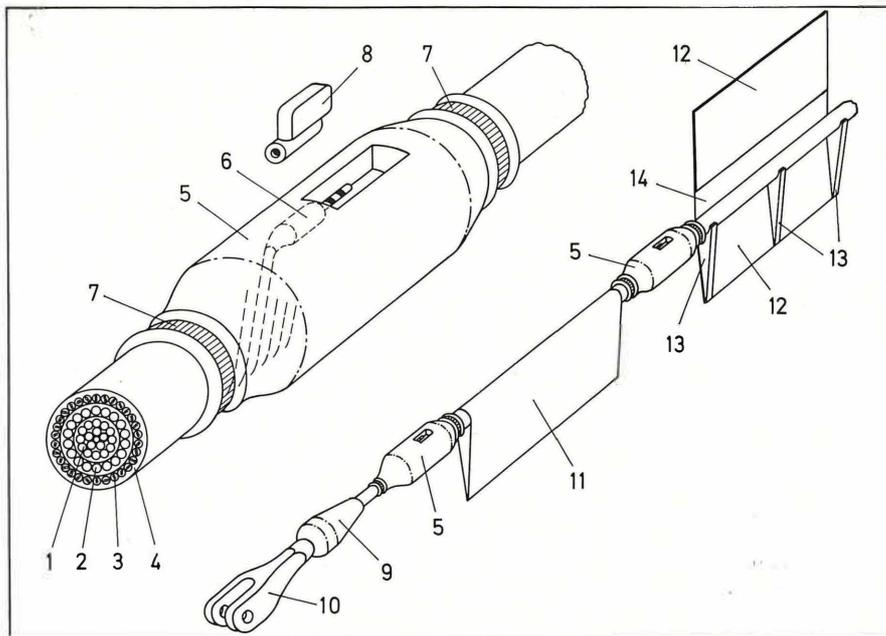


Abb. 1: Aufbau des Schleppkabels (1 = Litzenteil mit Polyäthylen Ummantelung; 2 = Stahllitze; 3 = 2-adriges Cu-Fe-Kabel; 4 = Desmopanmantel; 5 = Desmopanmuffe; 6 = Stecker; 7 = Schlauchklemme; 8 = Steckbuchse mit NTC-Widerstand; 9 = Gummimanschette; 10 = Kausch; 11 = Flosse; 12 = PVC-Platte; 13 = PVC-Steg; 14 = PVC-beschichtetes Nylongewebe)

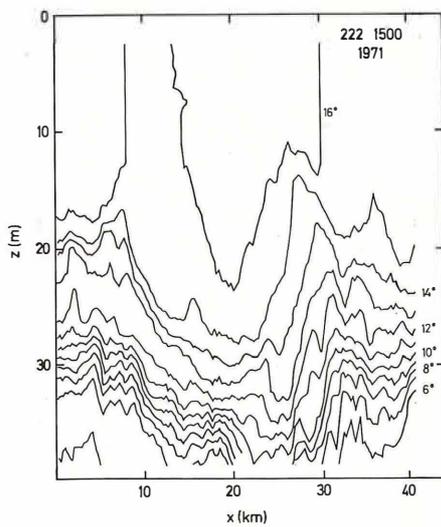


Abb. 8: Isothermenschnitt aus der mittleren Ostsee zwischen Bornholm und Christiansøe vom 16. 8. 1971

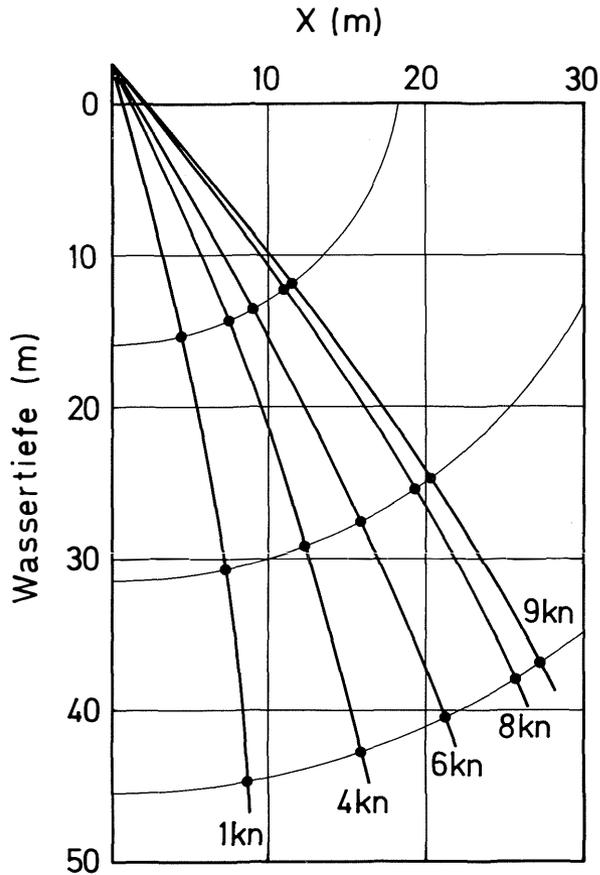


Abb. 2: Lage des Schleppkabels bei verschiedenen Fahrstufen

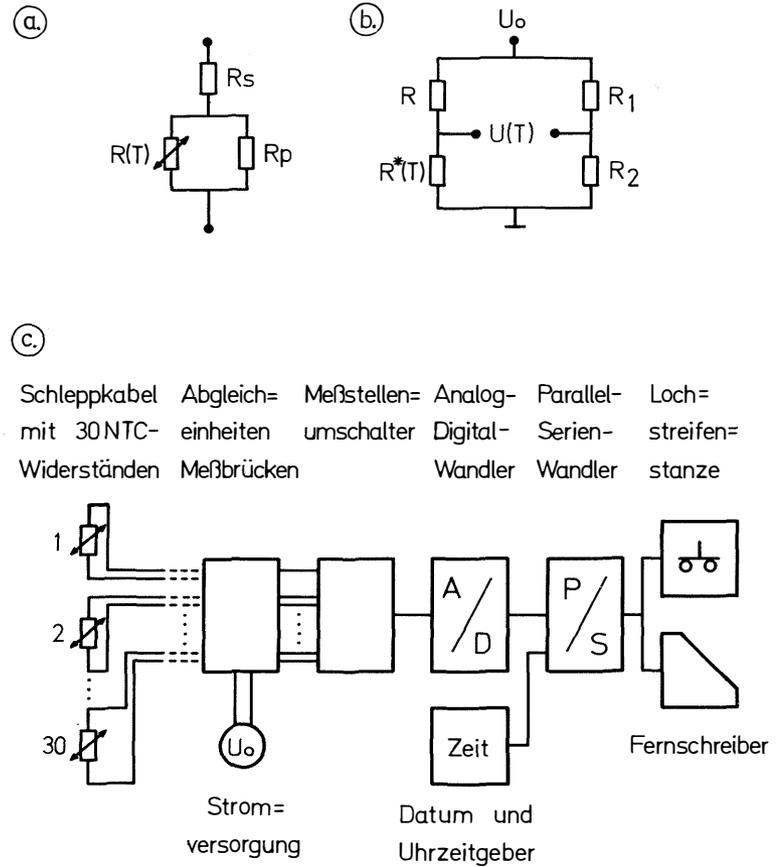


Abb. 3: Temperaturmessung: a) Abgleichschaltung, b) Meßbrücke, c) Prinzipschaltbild des Datenerfassungssystems

Tafel 3 (zu K.-H. Keunecke)

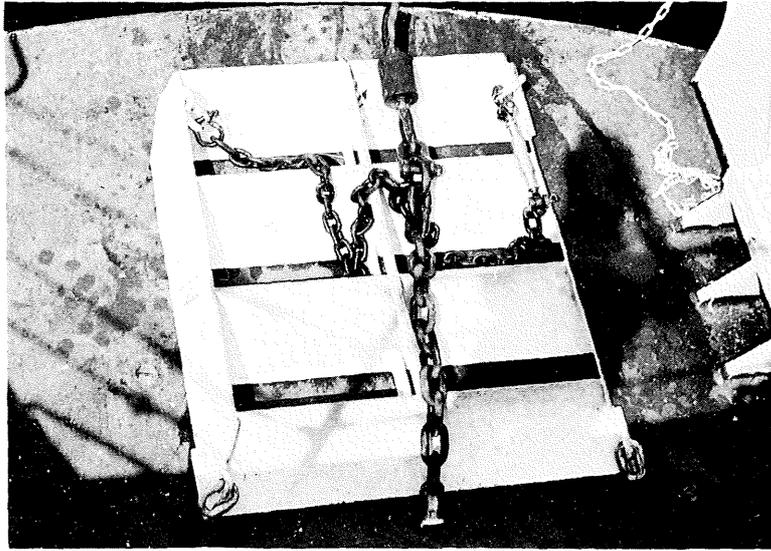


Abb. 4: Kleiner Jalousie-Drachen



Abb. 5:
Schleppkabel auf der
Speichertrommel

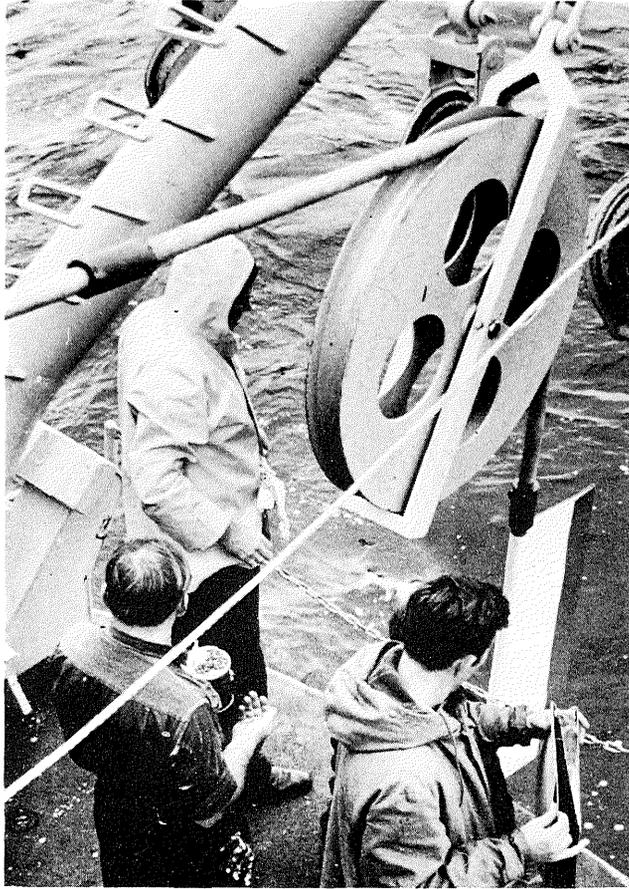


Abb. 6: Verkleidung des Schleppkabels mit Flossen beim Aussetzen

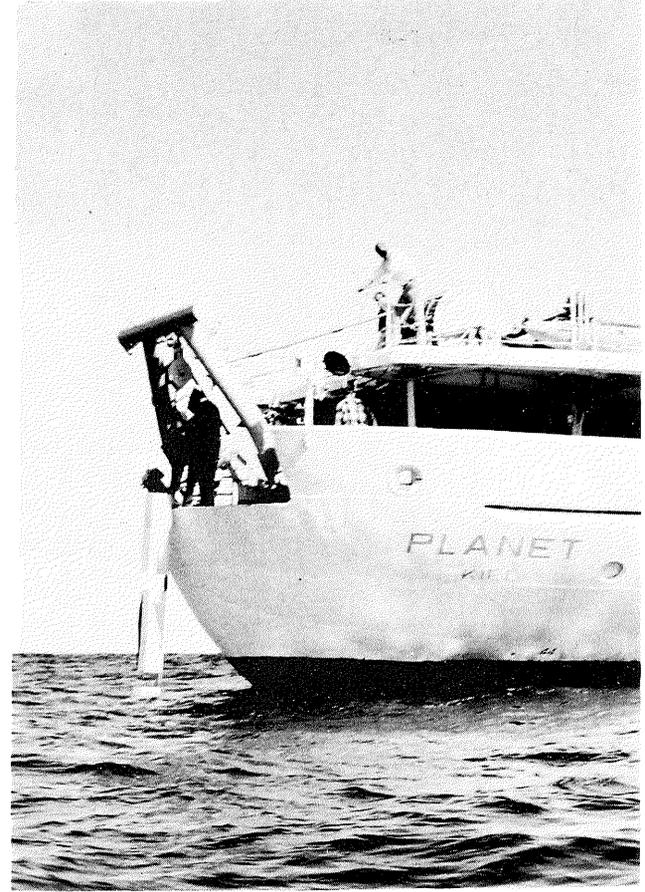


Abb. 7: Aussetzen des Schleppkabels

Aus der Kenntnis von $R(T_1)$ und $R(T_2)$ und nach Vorgabe von $R^*(T_1)$ und $R^*(T_2)$ werden die Vor- und Parallelwiderstände für jeden Temperatursensor aus den Gleichungen (1) und (2) berechnet. Zum Abgleich für den Meßbereich von 0° — 20° C wird $T_1 = 4^\circ$ C und $T_2 = 16^\circ$ C gewählt.

Die Temperaturabhängigkeit eines Heißleiters ist bekanntlich gegeben durch:

$$R(T) = R_0 e^{\frac{B}{T + 273}}$$

Hierin sind R_0 und B Materialkonstanten. In dem Meßintervall ist danach die Abweichung von der Linearität bereits bemerkbar. Dieser Effekt wird aber durch die bekannte Eigenschaft der Brückenschaltung, Abb. 3 b, weitgehend aufgehoben.

Nach Wahl von $R = \sqrt{R^*(T_1) \cdot R^*(T_2)}$ gilt für die Brückenspannung jedes NTC-Widerstandes in ausreichender Näherung:

$$(3) \quad U(T) = A(T - T_0).$$

Mit Hilfe der Widerstände R_1 und R_2 , die bei vorgegebenem R die Temperatur T_0 bestimmen, ist eine Meßbereichverschiebung möglich. Die Empfindlichkeit der Meßbrücke A ist eine Funktion der Brückenspannung, die bis zu einer oberen Grenze von ca. 1.5 V, bei der die Selbsterwärmung des NTC-Widerstandes nicht mehr vernachlässigbar ist, frei gewählt werden kann. Mit einem Wert von $U_0 = 1,020$ V wird $A = 10,0$ V/ $^\circ$ C. Damit ergibt sich aus Gleichung (3) für die Temperatur als Funktion der Brückenspannung die einfache Beziehung,

$$(4) \quad T = T_0 + 0,10 U(T), \quad \text{mit } U(T) \text{ in mV,}$$

wobei die Linearitäts- und die Abgleichfehler einen Wert von $\pm 0,1^\circ$ C nicht überschreiten.

Das Prinzip der Datenerfassung ist in Abb. 3 c dargestellt. Die Sensoren werden über Steckverbindungen und ein Zwischenkabel mit der digitalen Erfassungsanlage verbunden. Nach Umwandlung der Widerstandswerte durch 30 Abgleicheinheiten (Abb. 3 a) und 30 Meßbrücken (Abb. 3 b) in Spannungen werden diese seriell durch den Analog-Digitalwandler gemessen und über den Parallel-Serienumsetzer mit Hilfe einer Lochstreifenstanze (150 Zeichen pro sec) oder einer 75-Bd-Fernschreibmaschine auf Lochstreifen registriert. Mit jedem Meßwert wird gleichzeitig seine Kennung und bei jedem Zyklusbeginn das Datum und die Uhrzeit ausgegeben. Der Bereich des A-D-Wandlers ist -150 mV bis $+150$ mV bei einer Genauigkeit von $\pm 0,1$ mV. Die Spannungen werden nach einem integrierenden Verfahren über 20 ms gemessen, so daß die an Bord häufig auftretenden Störspannungen mit Frequenzen von 50 Hz und 60 Hz weitgehend unterdrückt werden. Die Meßgeschwindigkeit, die von den Ausgabeeinheiten abhängig ist, beträgt 170 ms pro Meßwert bei Verwendung der Stanze und ca. 4 s mit dem Fernschreiber. Eine Abfrage der 30 NTC-Widerstände ist somit in 5,1 s möglich. Der Zeitkonstanten der Sensoren nach müßte die Abfrage in Intervallen von 30 s erfolgen. Die Zykluszeit wurde aber aus technischen Gründen auf 60 s festgelegt. Damit erhält man bei Schleppgeschwindigkeiten von 6—10 kn in Abständen von 200—300 m die vertikale Temperaturverteilung. Neben den Temperaturdaten wird zusätzlich die Meßspannung eines Drucksensors, der am Schleppdrachen zur Kontrolle der Tiefenlage der Kette angebracht ist, registriert.

Abschließend ist ein räumliches Temperaturprofil als Beispiel einer Messung mit dem beschriebenen Schleppkapital in Ab. 8 dargestellt. Hierbei handelt es sich um einen

Kurs in der mittleren Ostsee zwischen Bornholm und Christiansoe von 22 sm Länge, der mit einer Geschwindigkeit von 9 kn durchlaufen wurde. Es sind allerdings nicht die direkten Temperaturdaten dargestellt, sondern die Isothermen von 5° bis 16°, die aus den Meßwerten durch lineare Interpolation gewonnen wurden.

Zu der beschriebenen Entwicklung haben Herr D. Beling und Herr H. Ebel sehr wesentlich beigetragen. Ebenso verdanke ich Herrn Kapitän Wruck und der Besatzung von WFS „Planet“ viele Anregungen für den Einsatz des Schleppkabels in See. Außerdem bin ich der Fa. Dietz und Sohn zu großem Dank verpflichtet, da sie die endgültige Konstruktion des Schleppkabels vornahm und sich bereit erklärte, in Zusammenarbeit mit der FWG einen Prototyp zu fertigen.

Literaturverzeichnis

- BOWERS, R. and D. G. BISHOP (1966): A towed thermistor chain for temperature measurement at various depths, Proc, I. E. R. E. Conference of Electronic Engineering in Oceanography, Southampton. (Paper No 7)
- EAMES, M. C. (1967): Steady-State theory of towing cables, DREA-Report 67/5.
- JOSEPH, J. (1962): Der Delphin, ein Meßgerät zur Untersuchung von oberflächennahen Temperatur-Schichtungen im Meere, Dt. hydrogr. Z., **15**, 15—23.
- LAFOND, E. C. (1963): Towed sea temperature structure profiler. Symposium on transducers for oceanic research: Marine sciences instrumentation, p. 53—59. Plenum Press.
- WEIDEMANN, H. (1966): Telemetry from an undulating body. Proc. I.E.R.E. conference on Electronic Engineering in Oceanography, Southampton Paper No. 8.