

19 | Dezember 1955

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

Dr. H. Baumann

Oszillographische Aufzeichnung von Wasserwellen

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Prof. Dr. - Ing. G. Weinblum

OSZILLOGRAPHISCHE AUFZEICHNUNG VON WASSERWELLEN.

von

Dr. H. Baumann

Hamburg, Dez. 1954

Oszillographische Aufzeichnung von Wasserwellen.

Bei Wellenstudien aller Art, insbesondere bei Modellversuchen in künstlichem Seegang, ist eine oszillographische Aufzeichnung der Wellen notwendig, damit man ihre Höhe, Periode und ggf, auch Form anderen, ursächlich damit verbundenen Grössen (Modellbewegungen, Bodendrücken, Propulsionsschwankungen, Sekundärwellen) phasenrichtig koordinieren kann.

A. Die Wellensonde.

Ein einfacher Messwertgeber besteht aus zwei parallelen, im Wesentlichen lotrecht erstreckten Elektroden, die der augenblicklichen Wellenphase entsprechend mehr oder weniger tief ins Wasser tauchen, sodass sich eine dementsprechende Strommodulation ergibt.

Eine mechanisch brauchbare Wellensonde, welche auch bei Fahrt geeignet ist, kann durch Einlegen zweier Metallstreifen in einen schwertförmigen Isolator hergestellt werden. Dabei empfiehlt sich eine, dem in Abb. 1 skizzierten Querschnitt entsprechende, unsymmetrische Anordnung. Die Wasserströmung löst sich nämlich an den Seiten leicht von der Sonde ab, sodass dort keine zuverlässige Benetzung zu erwarten ist und ausserdem der Weg des elektrischen Stromes um die Hinterkante sehr von der Fahrt beeinflusst wird. Bei der gezeigten Anordnung liegen die Elektroden noch im Staugebiet der Wasserströmung und der elektrische Strom nimmt seinen Weg überwiegend durch das stabile Anstromgebiet an der Vorderkante der Sonde. Bei höheren Fahrtgeschwindigkeiten ist eine V-förmige Unterwasserverspannung nötig, um Auskippen oder Flattern der Sonde zu vermeiden.

Der elektrische Strom J durch die Sonde ist proportional der angelegten Spannung U_s und wächst mit der Eintauchung x der Elektroden. (Abb.2) Wenn diese im Verhältnis zum Abstand der Elektroden gross genug ist,

$$x > x_0 \quad (1)$$

kann das Stromfeld bis auf ein unteres (bei Fahrt auch oberes) Randgebiet als eben angesehen werden. Die 'Steilheit' der Sonde

$$S_u = \frac{\Delta J}{\Delta x} = \frac{U_s}{C_1 + C_2} \quad (2)$$

ist dann bei festgehaltener Spannung U_s konstant. C_1 hängt von der Gestalt (nicht von der Stärke) des Sondenprofils und von der Leitfähigkeit des Wassers ab, C_2 von der Oberflächenbeschaffenheit der Elektroden.

Hieraus ergibt sich für die praktische Anwendung folgendes:

- 1.) Die Stärke des Sondenquerschnitts kann nach rein mechanischen Gesichtspunkten so gewählt werden, dass einerseits keine merkliche Störung der zu messenden Wellen eintritt und andererseits die nötige Festigkeit vorhanden ist.
- 2.) Um Polarisation der Elektroden zu vermeiden, muss man Wechselstrom benutzen, am besten und einfachsten das 50 Hz-Netz. Die Verwendung von Wechselstrom bietet ausserdem den Vorteil einer Leistungsanpassung ~~mittels~~ Uebertrager. Damit der Strom wirklich nur über die Elektroden fliesst, ist ein Netz-Transformator mit geerdeter Schirmwicklung nötig. Bei gleichzeitiger Verwendung mehrerer Sonden müssen die Stromkreise getrennt sein.
- 3.) Als Betriebsspannung kann man etwa $10 V_{eff}$ wählen. Dieser Wert ist einerseits hoch genug, um eventuelle ⁺Potentiale zu überwinden und liefert bei dem angegebenen Profil eine Sondensteilheit S_{10} von etwa 2 bis 4 mA_{eff}/cm ; andererseits ist er völlig ungefährlich und ergibt eine geringe Stromdichte auf den Elektroden, nämlich 10 bis 20 mA_{eff}/cm^2 .
- 4.) Im Betrieb finden auf den Elektroden chemische Prozesse statt, wobei sich eine nicht näher definierbare Schicht verminderter Leitfähigkeit bildet. Diese wird bei der genannten Betriebsspannung in ca. 20 Stunden stationär. Vor Inbetriebnahme einer neuen Sonde müssen daher die Elektroden in völlig getauchtem Zustand formiert werden. Bei älteren Sonden ist im Interesse linearer Charakteristik ein gelegentliches Nachformieren nötig, um die nur selten benetzten oberen Bezirke der dauernd getauchten unteren Partie anzugleichen.

Die folgenden Betrachtungen stehen sämtlich unter der Bedingung (1). Dann können die nicht-ebenen Randgebiete des elektrischen Stromfeldes durch ein entsprechend verlängertes ebenes Feld ersetzt werden. Es wird daher mit einer um das Stück a in der Abb. 2 vergrösserten Tauchung gerechnet und der elektrische Widerstand der ⁺elektrochemische

Nur bei Metall!

mittels

2-7

elektrochemische

linearer

Sonde in der vereinfachten Form

$$W = \frac{C}{x+a} \quad (3)$$

mit

$$C = C_1 + C_2 = \text{z.B. } \frac{10 \text{ V cm}}{2,5 \text{ mA}} \approx 4 \text{ k}\Omega \text{ cm} \quad (4)$$

dargestellt. Die Strecke a ist, ebenso wie x_0 , von der Grössenordnung des Elektrodenabstands.

B. Die Modulationsleistung der Wellensonde.

Soll nun mit dem Sondenstrom ein Anzeige- oder Registriergerät betrieben werden, so muss sich im Stromkreis ein zusätzlicher Widerstand R befinden, in welchem die hierzu notwendige Leistung umgesetzt wird (Abb.3). Dann fliesst im Sondenkreis der Strom

$$J = \frac{U}{R+W} \quad (5)$$

d.h. die in Abb.2 dargestellte Charakteristik wird mit zunehmender Tauchung flacher und nähert sich asymptotisch dem Sättigungswert $J \approx U/R$ (Abb.4).

Für die Steilheit ergibt sich mit (2) und (3):

$$S_u(x) = \frac{\Delta J}{\Delta x} = \frac{-U}{(R+W)^2} \cdot \frac{\Delta W}{\Delta x} = \frac{U/C}{(1+\frac{R}{W})^2} = \frac{S_u}{(1+\frac{R}{W})^2}; \quad (6)$$

denn

$$\frac{\Delta W}{\Delta x} = \frac{-C}{(x+a)^2} = \frac{-W^2}{C}$$

Sie ist also jetzt nicht mehr konstant. Um diesen Einfluss zu unterdrücken, muss man

$$R \ll W \quad (7)$$

machen.

Eine präzisere Aussage über den Nutzwiderstand R gewinnt man aus folgender Betrachtung:

Für das Verhältnis der Endsteilheiten eines Messbereichs (x_1 x_2) kann jetzt näherungsweise

$$\frac{S_u(x_1)}{S_u(x_2)} = \frac{\left\{1 + \frac{R}{C} \cdot (x_2 + a)\right\}^2}{\left\{1 + \frac{R}{C} \cdot (x_1 + a)\right\}^2} \approx 1 + 2 \cdot \frac{R}{C} \cdot (x_2 - x_1) \quad (8)$$

gesetzt werden; ihr prozentualer Unterschied gegen den Mittelwert beträgt somit

$$p = 100 \cdot \frac{R}{C} \cdot (x_2 - x_1) = \frac{R \cdot (x_2 - x_1)}{40 \Omega \text{ cm}} \quad (9)$$

Einerseits darf man nun, um die Abweichung von einer linearen Charakteristik in vorgeschriebenen Grenzen zu halten, das Produkt $R \cdot (x_2 - x_1)$ nicht zu groß machen; andererseits muß man jedoch zum Betrieb des Anzeige- oder Registriergeräts eine bestimmte Mindestleistung aus dem Stromkreis gewinnen. Die abgebbare Modulationsleistung beträgt auf den Grenzen x_1 und x_2 des Messbereichs, wenn die Nullstellung in der Mitte liegt, wegen (7) näherungsweise

$$N \approx R \cdot S_u^2 \cdot \frac{(x_2 - x_1)^2}{4} \quad (10)$$

Dabei ist S_u praktisch gegeben.

Man darf also das Produkt $R \cdot (x_2 - x_1)^2$ nicht zu klein machen.

(am Schluß)
Die Tabelle 1 gibt einige Beispiele für den Leistungsbedarf von Galvanometern und Oszillographenschleifen. Da mit jeder Schaltung für den technischen Gebrauch große Verluste verbunden sind (z.B. für Justiereinrichtungen, mangelnde Anpassung, Gleichrichter, Siebmittel) wird allerdings praktisch meist das 5 bis 100-fache der angegebenen Leistung gebraucht.

Nach Vorgabe des Leistungsbedarfs N' und eines zulässigen Wertes p' ergeben sich der kleinste Messbereich $(x_1, x_2)'$ mit der Intervallbreite h' , welcher noch zum Vollausschlag des betr. Messwerks führt, sowie der zugehörige Widerstand R' aus den Gleichungen

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{4} S_u^2 R' h'^2 &= N' \\ 100 R' h' &= C p' \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Hierdurch ist der unter den gegebenen Bedingungen größtmögliche

Aufzeichnungsmaßstab m' festgelegt. Wenn für die Aufzeichnung ein kleinerer Maßstab m genügt, d.h. wenn ein Meßintervall $h = (x_2 - x_1) > h'$ vorliegt, besteht ein Ueberschuß an Nutzleistung bzw. Qualität der Charakteristik. Der Widerstand R kann daher in einem gewissen Rahmen frei gewählt werden. Es gelten -vgl. (10) und (9)- die Forderungen

$$N > N' \qquad p < p' \qquad (12)$$

also

$$R h^2 > R' h'^2 \qquad R h < R' h' , \qquad (13)$$

woraus sich für R das zulässige Intervall

$$\left(\frac{m}{m'}\right)^2 = \left(\frac{h'}{h}\right)^2 < \frac{R}{R'} < \frac{h'}{h} = \frac{m}{m'} \qquad (14)$$

ergibt.

C. Schalttechnische Möglichkeiten. Aufzeichnungsverfahren.

a) In der Praxis wird meist ein Gerät zur Aufzeichnung sehr unterschiedlicher Wellen gefordert. Dann muß der Aufzeichnungsmaßstab umschaltbar sein. Für die Messbereich-Umschaltung bieten sich technisch 3 prinzipielle Möglichkeiten: (Abb. 5, 1...5, 3).

(1) Verkleinern von R durch Shunten. (Abb. 5, 1...5, 3)

(2) Verkleinern von R durch Umschalten eines Uebertragers.

(3) Einschalten eines Dämpfungsgliedes (mit festem R) vor das Messwerk oder auch eines einfachen Vorwiderstands zwischen das Meßwerk und einen festen Koppelwiderstand R_0 im Sondenkreis.

In Abb. 6 sind die Grenzwerte (14) für das Widerstandsverhältnis R/R' , welche den Forderungen (12) entsprechen, über dem Maßstabverhältnis m/m' aufgetragen worden. Ist eine Anzahl von Aufzeichnungsmaßstäben m_n gegeben, so müssen die Widerstandswerte R_n im Innern oder auf dem Rande des schraffierten Gebiets liegen. Die mit (1), (2), (3) bezeichneten Orte entsprechen den genannten Umschalt-Verfahren. Prinzipiell gebührt dem Verfahren (2) der Vorrang, da hier dem Sondenkreis keine unnötige Leistung entzogen wird und somit die Charakteristik am wenigsten gekrümmt ist. Aus praktischen Gründen

(leichtes Auswechseln oder Hinzufügen von Meßbereichen) wird man jedoch häufig eine Widerstandsschaltung bevorzugen. Die Grenzen ihrer Anwendbarkeit werden bei dem Verfahren (1), welches meist zu kleinen Shunt-Widerständen führt, durch Kontaktschwierigkeiten bestimmt. Das Verfahren (3) ist, wie Abb. 6 zeigt, grundsätzlich nur beschränkt anwendbar. Es gibt:

$$m_2 m' \geq m_1^2 \quad (15a)$$

$$h_2 h' \leq h_1^2 \quad (15b)$$

b) Die oszillografische Aufzeichnung von Wasserständen oder Wellen kann nach zweierlei Methoden erfolgen:

(1) Wenn man den modulierten Wechselstrom des Sondenkreises aufzeichnet, erhält man ein Oszillogramm wie Abb. 7. Hier stellt die Einhüllende den zeitlichen Verlauf der Oberflächenerhebung dar. Zur besseren Ausnutzung der Papierbreite kann man den Aufzeichnungsmaßstab so groß wählen, daß nur die eine Hüllkurve aufs Papier kommt (Abb. 8). Voraussetzung ist natürlich eine entsprechende Belastbarkeit des Meßwerks.

(2) Wird der modulierte Wechselstrom gleichgerichtet und gesiebt, so erscheint nur seine Hüllkurve auf dem Papier. Zur Entlastung des Meßwerks empfiehlt sich die Ueberlagerung eines konstanten Gleichstroms entgegengesetzter Richtung. Besonders wichtig ist dies, wenn man den Modulationsgrad zwecks verbesserter Gleichrichtung durch Ueberlagern eines konstanten, phasengleichen Wechselstroms im Sondenkreis herabgesetzt hat. -Bei einem trägen Meßwerk kann auf besondere Siebmittel verzichtet werden, wenn die elektrische und mechanische Belastung durch den Wechselstromanteil zulässig ist.

c) Zwei praktische Beispiele:

(1) Mit einem Fischer-Oszillographen (Galvo Typ 08/7, 12cm Papierbreite) sollen Wasserwellen behelfsmäßig Oszillographiert werden. Kleinste Wellenhöhe 1 cm, größte Wellenhöhe 10 cm. Die Endsteilheiten der Charakteristik sollen um höchstens $\pm 1\%$ vom Mittelwert abweichen ($p=1$).

Das Meßwerk 08/7 ist hoch überlastbar. Wir wählen daher das die

direkte Aufzeichnungsverfahren (1). Dann kommen Leistungsverluste für Gleichrichtung, Siebung und Einkoppeln eines konstanten Gleichstroms nicht in Betracht. Da bei einer behelfsmäßigen Anordnung auch auf besondere Justier-Einrichtungen verzichtet werden kann, wird nur die in der Tabelle angegebene Modulationsleistung gebraucht. Das Meßwerk benötigt für den Vollausschlag von ± 5 cm eine Spannung von $\pm 3,5$ mV. Bei einer Sondensteilheit von $2,5 \text{ mA}_{\text{eff}}/\text{cm} = 3,5 \text{ mA}_{\text{Sp}}/\text{cm}$ und einem Arbeitswiderstand von 2Ω wird also das Meßwerk durch eine Wasserstandsschwankung von $\pm 0,5$ cm voll angesteuert. Die Charakteristikbedingung läßt bei der größten erwarteten Wellenhöhe von 10 cm noch einen Widerstand von 4Ω zu. Wir können also zur Meßbereich-Umschaltung zwischen den Arbeitswiderstand und das Meßwerk ein grobstufiges L-Glied setzen. In dem Umrissenen Rahmen ist dann beispielsweise die Schaltung Abb. 9 möglich.

Im Sondenkreis liegen hier konstant $3, \frac{1}{3} \Omega$.

Der Verwendung von Vorwiderständen zwischen dem Arbeitswiderstand und dem Galvanometer wäre in diesem Falle eine Grenze dadurch gesetzt, daß das Galvo 08/7 zwecks ausreichender Bedämpfung nur an Außenwiderständen von höchstens 400Ω liegen darf. Für $h = 10$ cm, $R = 2 \Omega$ wären aber 630Ω nötig, da der Innenwiderstand 70Ω beträgt.

- (2) Für den H. u. B.-Lichtpunktschreiber (Galvo 413, Papierbreite 6 cm) soll ein technisch durchgebildetes Gerät zum Anschluß einer Wellensonde entworfen werden. Die Steilheit der Charakteristik soll an den Enden der Meßbereiche möglichst nicht mehr als 1% ($p = 1$) vom Mittelwert abweichen.

Zur Justage der Aufzeichnungsmaßstäbe sehen wir eine Widerstandskombination nach Abb. 10 vor. Sie bestreicht das Maßstabsverhältnis $1 : 2$, wobei ihr Widerstand R_1 nur zwischen 220 und 250Ω variiert. In der Mittelstellung verbraucht die Kombination die Leistung $N_1 = 3N'$.

Wir wählen das Aufzeichnungsverfahren 2 (Gleichrichtung). Da das Galvo 413 eine Eigenfrequenz von $6,5$ Hz hat, können wir auf Siebmittel verzichten.

Im Sondenkreis überlagern wir zur Herabsetzung des Modulationsgrades einen konstanten Wechselstrom und entlasten das Galvanometer durch Einkoppeln eines entsprechenden Gleichstromes. Danner ergibt sich ~~eine~~ Schaltung nach Abb. 11.

Gl. 1 ist der Meßgleichrichter, A setzt den Modulationsgrad herab. Gl. 2 liefert den entlastenden Gleichstrom. Die beiden mit C bezeichneten Widerstände überbrücken die Gleichrichter; sie müssen gleich groß sein, damit der Meßstrom in beiden Richtungen den gleichen Widerstand findet. Der geringste Leistungsverlust bei Speisung der Kombination C,C,R₁ über die Pole eines C' tritt ein, wenn $C = R_1/\sqrt{2} \approx 170\Omega$ ist; dann wird die Leistung $N_2 = 5,8 N_1$ benötigt. Der Widerstand der Kombination beträgt 120Ω , der Durchlasswiderstand der Gleichrichter möge 20Ω betragen; dann befindet sich zwischen den Eingangspolen der Gleichrichter der Widerstand $R_0 = 140\Omega$. Bei Vollausschlag des Lichtpunkts ($\pm 2,5$ cm) wird hier die Leistung

$$N_3 = \frac{140}{120} \cdot 5,8 ; 33N \approx 21 N' \approx 21 \mu W$$

umgesetzt.

Nach Gl. (11) ergibt sich hieraus die kleinste Wellenhöhe, welche bei Verwendung eines Anpassungs-Uebertragers zur Vollaussteuerung des M Meßwerks führt, nämlich $h' = 0,33$ cm. (Der mittlere Gleichstrom wurde gleich dem effektiven Wechselstrom gesetzt.) Die Ungleichung (15) zeigt, daß wir mit dem Umschalt-Verfahren (3) (d.h. mit konstantem Arbeitswiderstand) auskommen, wenn wir etwa $h_1 = 30$ cm $h_2 = 30$ cm wählen. Die Meßbereich-Umschaltung erfolgt am einfachsten mit Hilfe von Widerständen vor R₁, Dabei wird R₃ vergrößert, bleibt aber unter 170Ω .

Die Charakteristik-Bedingunge(9) erlaubt mit $p = 1$ für den Meßbereich $h_2 = 30$ cm im Sondenkreis höchstens einen Widerstand von $1,3\Omega$, der sich aus dem transformierten Eingangswiderstand R₃ des Gleichrichters 1 und den Widerständen der Transformatoren zusammensetzt. Andererseits erfordert der Meßbereich $h_1 = 5$ cm einen Nutzwiderstand von mindestens $0,55\Omega$; also ein Uebertrager-Verhältnis von höchstens $\sqrt{140/0,55} = 16$. Infolge der Vorwiderstände zur Vergrößerung des Meßbereichs kann der Nutzwiderstand dann im Ver-

hältnis 170 : 140, nämlich auf $0,65\Omega$ anwachsen, sodaß nur $1,3 - 0,65 = 0,65\Omega$ für die Widerstände der Transformatoren zur Verfügung stehen. -

Um die Sache günstiger zu gestalten, gibt es im Rahmen des gewählten Umschalt-Verfahrens nur Zweigmöglichkeiten. Entweder man beschränkt den größten Meßbereich auf $h_2 = 20$ cm, sodaß im Sondenkreis 2Ω zulässig sind und für die Transformatoren $1,35\Omega$ zur Verfügung stehen. Oder man wählt eine höhere Betriebsspannung als $10 V_{\text{eff}}$, sodaß man im Bereich $h_1 = 5$ cm mit kleinerem Nutzwiderstand als $0,55\Omega$ auskommt. Da sich durch die zweite Maßnahme nicht mehr viel gewinnen läßt, entschließen wir uns für die erste. Bei Wellen von mehr als 20 cm Höhe nehmen wir dann eine etwas schlechtere Charakteristik in Kauf.

Durch geeignete Vorwiderstände r zwischen C und R_1 legen wir nun folgende Meßbereiche bzw. Aufzeichnungsmaßstäbe fest, für welche sich die Endsteilheiten der Charakteristik vom Mittelwert höchstens um die angegebenen Prozentsätze unterscheiden.

$r(\Omega)$	$h(\text{cm})$	m	p%
0	5	1/1	0,25
600	10	1/2	0,50
1800	20	1/4	1,0
3000	30	1/6	1,5

Wir beschränken nun den Modulationsgrad für Wellen bis zu 20 cm Höhe auf 25%. Dazu müssen wir den Widerstand A so einstellen, daß durch ihn und den im zeitlichen Durchschnitt behetzten Teil der Sonde ein Strom von $100 \text{ mA}_{\text{eff}}$ zustande kommt. A besteht daher zweckmässig aus einem Festwiderstand $A_0 = 100\Omega$, in Reihe mit einem log. Pot. $10 \text{ k}\Omega$. Letzteres ist der mittleren Tauchung der Sonde entsprechend einzuschalten.

Wir fixieren den konstanten Wechselstrom auf der Seite des Gl. 2; dabei muß B so groß sein, daß die Bereichumschaltung keinen nennenswerten Einfluß auf den Gesamtwiderstand des Kreises, $B+R_3$, hat. Der Strom durch Gl. 2 muß gleich dem mittlerem Strom durch Gl. 1 sein, nämlich $100:16 = 6 \text{ mA}_{\text{eff}}$. Mit $B = 500\Omega$ folgt dann $U = 4 V_{\text{eff}}$.

Zur Kontrolle der Einstellung von A sehen wir ein Null-Instrument zwischen den Außenpolen der Widerstände C,C vor.

Zusammenfassung.

Die an sich lineare Charakteristik einer Wellensonde wird durch den zur Aufzeichnung notwendigen Leistungsentzug gekrümmt. Mit Rücksicht auf eine gute Charakteristik steht daher nur eine beschränkte Modulationsleistung zur Aussteuerung zur Verfügung. Technisch durchentwickelte Betriebsgeräte benötigen bis zum 100-fachen der Modulationsleistung für ein primitives Meßwerk. Aus der Leistungsbilanz ergibt sich die kleinste zur Aussteuerung genügende Wellenhöhe. Höhere Wellen können grundsätzlich immer aufgezeichnet werden; es gibt jedoch eine Reihe praktischer Einschränkungen. Besonders sind die Möglichkeiten einer Meßbereich-Umschaltung beschränkt.

Zwei Beispiele erläutern die Situation. Das zweite gibt einen einigermaßen ausführlichen Entwurf eines Betriebsgerätes. Es zeigt die praktischen Grenzen.

P.S. Bei der Aufzeichnung hoher Wellen (z. B. auf See) muß der Sondenwiderstand durch Vorschalten eines Uebertragers vergrößert werden.

Hamburg, den 1. Dezember 1954

Hamburg, den 1. Dezember 1954

Hannemann

Tabelle: Hauptdaten einiger Messwerke.

Bezeichn.	Typ	Eigenfrequenz (Hz)	Innenwiderstand größer Außenwiderstand Ri/Ra (Ω)	Leistungsbedarf für Vollausschlag N' (μ W)	Gerechneter Vollausschlag (\pm cm)	Zulässiger Ausschlag (\pm cm)
Multavi	V	-	200/-	18,0		
Fischer-Galvos	08/7	80	70/400	0,175	5,0	150 (1)
	2/2	200	20/25	12,0	5,0	26
	22/7	200	70/100	12,0	5,0	24
	25/2	250	20/15	65,0	5,0	17
	6/15	580	15/100	19,0	5,0	18
H.u.B.-Galvos	404	1	8/25	0,0019	2,5	
	405	1	4700/10 000	0,0025	2,5	
	411	6,5	10/10	3,3	2,5	
	413	6,5	330/2000	1,0	2,5	
S. u. H. Schleifen				100	5,0	

Abb 1 Wellensonde

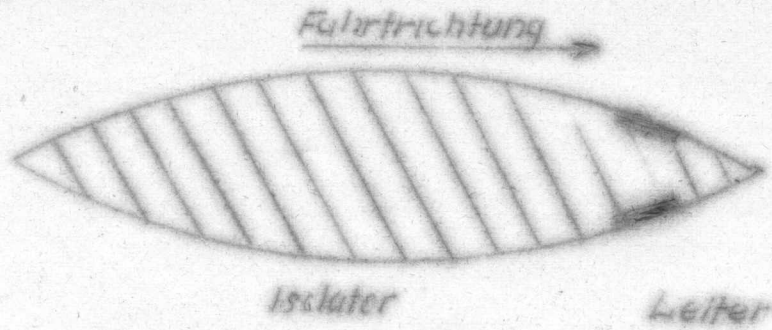


Abb 2 Sendencharakteristik

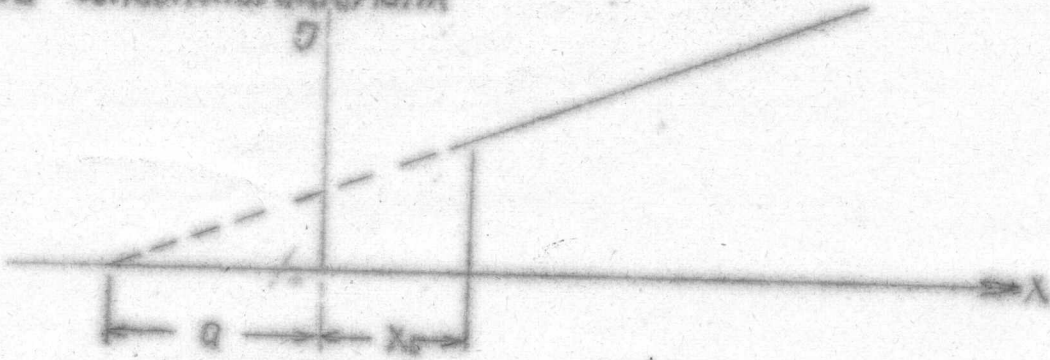


Abb 3 Schaltung des Sendekreises

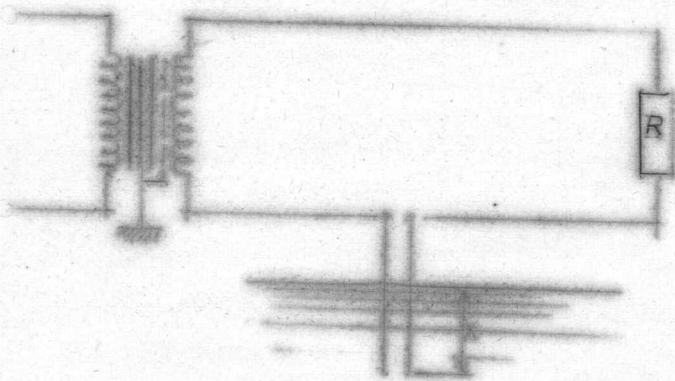


Abb 4 Zugehörige Charakteristik

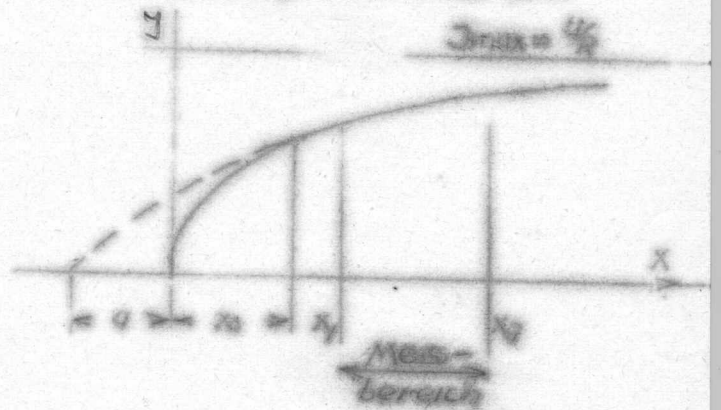


Abb 5a Regelstunt

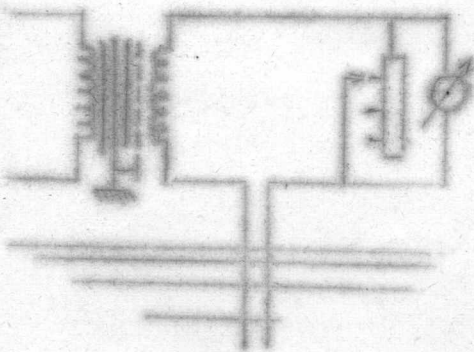


Abb 5b Regeltransformator

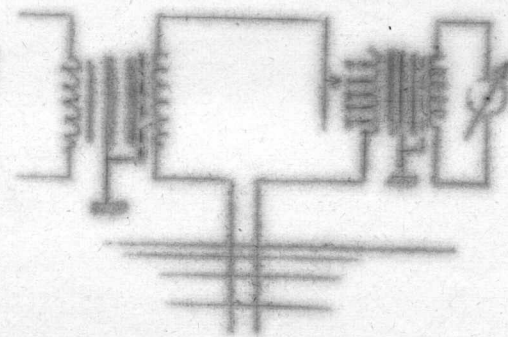


Abb 5c Er-Zlied-Reglung

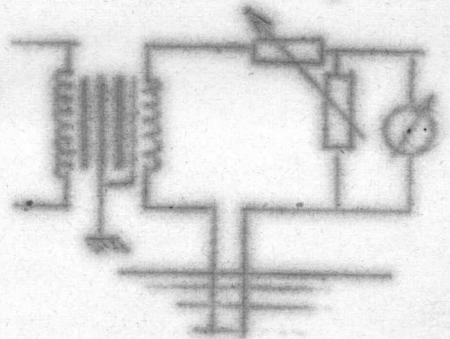


Abb. 6 Grenzwerte für Widerstandsverhältnisse $\frac{R_2}{R_1}$

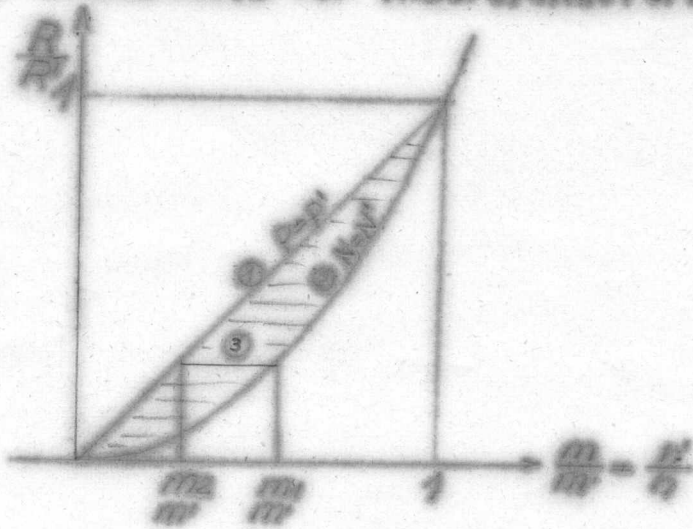


Abb. 7 Oszillogramm

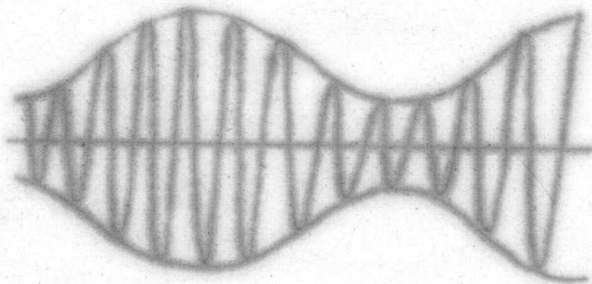


Abb. 8 Oszillogramm starrer Teil

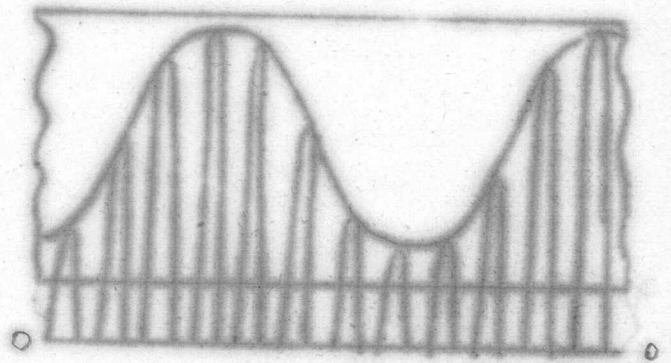


Abb. 9 Schaltung mit L-Glied

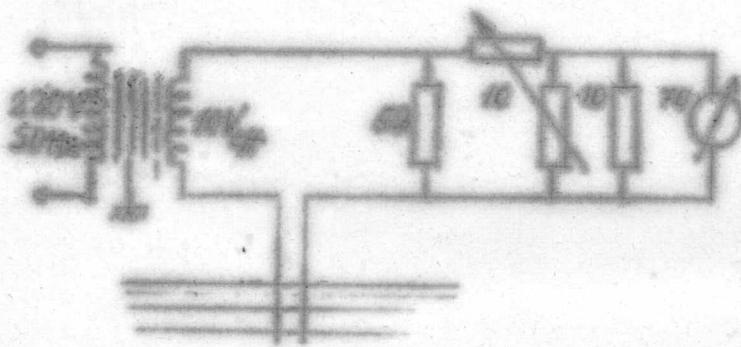


Abb. 10 Justage-Widerstands-Kombination

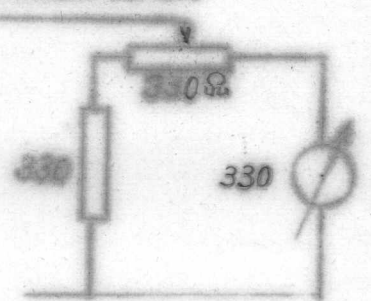


Abb. 11 Sondenschlußgerät

