

Ein integrierendes Sinkstoff-Fanggerät

Von Johann Kramer und Heinrich Beth

Inhalt

1. Integrierende Sinkstoffmessung	93
2. Beschreibung der Konstruktion und Wirkungsweise des integrierenden Sinkstoff-Fanggeräts	94
3. Eichung und Erprobung des Geräts	97
4. Schlußbemerkung	101
5. Schriftenverzeichnis	101

1. Integrierende Sinkstoffmessung

Zur Beurteilung der morphologischen Veränderungen im Fluß- und Seegebiet — eine notwendige Voraussetzung für wasserbauliche Maßnahmen — muß der Transport der Feststoffe im Wasser bekannt sein. Es ist dabei zwischen dem auf der Sohle sich bewegendem Material (Geschiebe) und den in Suspension verteilten Feststoffen (Schweb- und Sinkstoffen) zu unterscheiden. Um die Geschiebebewegung auf der Sohle zeitlich integrierend, das heißt über eine bestimmte Zeitdauer hin messen zu können, sind bereits verschiedene Geräte entwickelt worden, die allerdings — das gilt besonders für das Mündungsgebiet der Flüsse und das Küstengebiet mit dem sehr feinen Bodenmaterial — noch nicht befriedigend arbeiten. Geräte dagegen, die zur zeitlich integrierenden Messung von Sink- und Schwebstoffen geeignet sind, stehen bisher in Deutschland noch nicht zur Verfügung.

Im Brackwassergebiet der Ems ober- und unterhalb Emdens, wo in den vergangenen Jahren umfangreiche Sinkstoffmessungen¹⁾ mit dem Endziel der quantitativen Bestimmung des Brackwasserhaushalts ausgeführt wurden, mußte die Forderung erhoben werden, ein ungestörtes Bild der natürlichen, im Wasser vorhandenen Sinkstoffverteilung zu gewinnen. Für die Sinkstoffmessungen stand anfangs der horizontale Wassers schöpfer nach WOHLBERG-SCHWEDER (2) zur Verfügung, der allerdings nur eine punktförmige, d. h. momentane Entnahme gestattet. Im Wasser ist jedoch — vor allem infolge der Turbulenz — der Sinkstoff nicht gleichmäßig verteilt, sondern tritt in „Sinkstoffwolken“ auf. Die aus den Messungen gewonnenen Augenblickswerte der Sinkstoffverteilung mußten daher als nicht ausreichend für quantitative Schlüsse angesehen werden.

In der Verfolgung des Ziels, die Absolutwerte der natürlichen Sinkstoffkonzentration zu bestimmen, wurde beim Wasser- und Schiffsamt Emden ein Fanggerät entworfen und erprobt, das nachstehend behandelt werden soll. Im Verlauf dieser Arbeiten erhielten die Verfasser Kenntnis von Schwebstoff-Fanggeräten, die in den Vereinigten Staaten (1) für die Messung des Feststofftransports in Flußläufen entwickelt wurden und für Integrationsmessungen über die Zeit an einzelnen Punkten wie auch über die Tiefe bestimmt sind. Die sehr eingehende Prüfung aller grundlegenden Eigenschaften dieses Geräts in den amerikanischen Laboratorien erlaubte

¹⁾ Im weiteren Text: „Sinkstoff“ als Bezeichnung für Sink- und Schwebstoffe, deren scharfe Trennung im Brackwassergebiet (der Ems) infolge stark wechselnder Strömungsgeschwindigkeiten und der besonderen chemisch-physikalischen Bedingungen nicht möglich ist (vgl. auch den Aufsatz von NIEBUHR in diesem Heft).

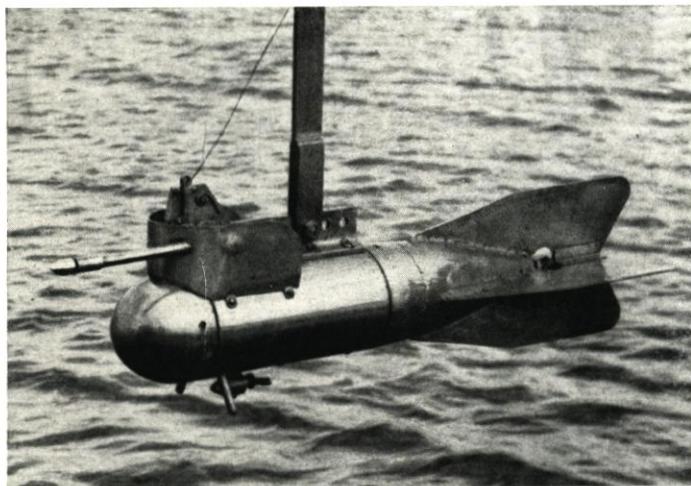


Abb. 2
Gerät beim Einsatz
am Tragarm hängend

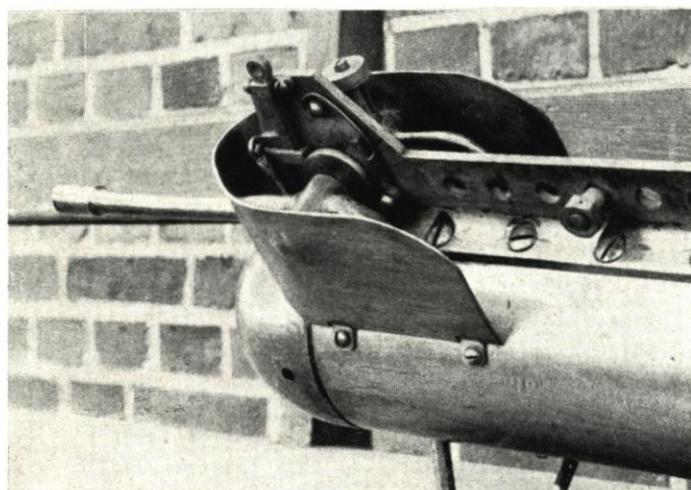


Abb. 3
Wassereinlaufrohr,
Luftaustrittsöffnung, Ventil
und Zugvorrichtung

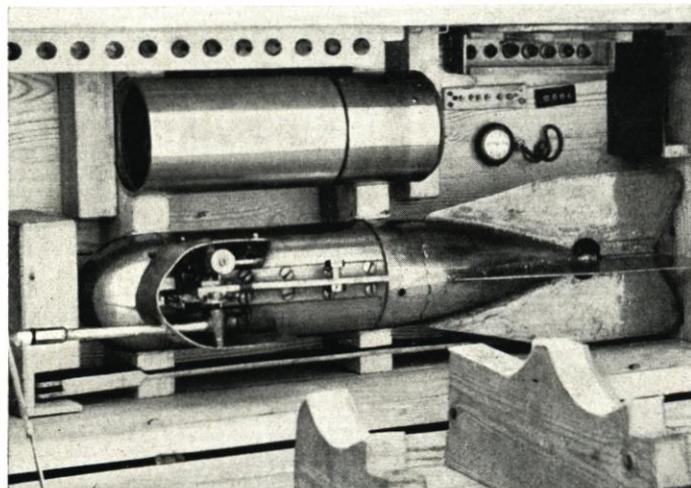


Abb. 4
Gerät in Transportkiste
mit Zubehör

Aufnahmen: Bildarchiv
Forschungsstelle Norderney

schenstück auf den doppelten Inhalt gebracht. Die einzelnen Stücke werden zusammengeschaubt, wobei Gummidichtungen unerwünschten Wasserzutritt verhindern. Auch bei Einsatz des Zwischenstücks liegt die Einlauföffnung außerhalb des Störbereichs durch Stau oder Wirbelbildung.

Abbildung 2 gibt eine Ansicht des Geräts. An der Spitze des Einlaufrohrs tritt die auswechselbare Einlaufdüse hervor. Zu erkennen ist ebenfalls die Zugvorrichtung zur Betätigung des Verschlusses für den Wassereinlauf und des Dreiwegehahns. Abbildung 3 zeigt die Anordnung des Wassereinlaufrohrs, der Luftaustrittsöffnung, der Ventile und der Zugvorrichtung. In Abbildung 4 liegt das Gerät in der Transportkiste, die gleichzeitig die (hier zusammengeschaubten) Zwischenstücke für Sammelraum und Druckausgleichskammer sowie die auswechselbaren Wassereinlauf- und Luftaustrittsdüsen enthält.

Zur Erläuterung der Wirkungsweise des Geräts sind in Abbildung 1 (am unteren Rand) die verschiedenen Ventilstellungen des Verschlusses im Einlaufrohr und des Dreiwegehahns wiedergegeben.

Darstellung links: Beim Eintauchen des Geräts ist das Einlaufrohr verschlossen, während der Dreiwegehahn die Verbindung zwischen Sammelraum und Druckausgleichskammer freigibt und die Luftaustrittsöffnung schließt. Das Wasser strömt beim Absenken durch die Bodenöffnung in die Druckausgleichskammer und erzeugt einen Luftdruck im Sammelraum, der gleich dem hydrostatischen Außendruck ist.

Darstellung in der Mitte: Ist die gewünschte Tiefenstufe erreicht, so gibt das Verschlussventil durch Handzug das Wassereinlaufrohr frei, wodurch der Füllvorgang eingeleitet wird. Gleichzeitig öffnet der Dreiwegehahn den Luftaustritt und sperrt die Verbindung zwischen Sammelraum und Druckausgleichskammer. Das Wasser kann nunmehr in den Sammelraum entsprechend der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers einlaufen. Ohne vorher eingetretenen Druckausgleich zwischen der Luft im Sammelraum und dem hydrostatischen Druck über die Druckausgleichskammer, die verhindert, daß beim Zusammenpressen der Luft Wasser in den Sammelraum gelangt, würde das Wasser nach Öffnung der Ventile „einschießen“ und einen Teil des Sammelraums — zunehmend mit der Tiefe — bis zur Herstellung des Druckgleichgewichts füllen. An einer früheren Gerätekonstruktion ohne Druckausgleichskammer war dieses „Einschießen“ festzustellen.

Darstellung rechts: Am Ende der Entnahmezeit werden durch einen weiteren Handzug die Wassereinlauf- und Luftaustrittsöffnungen geschlossen, so daß beim Hochziehen des Geräts kein Wassereintritt mehr möglich ist. Der Sammelraum wird durch das Entnahmeventil entleert. Ein Absetzen der Sinkstoffe im Sammelraum braucht bei der Feinheit des Materials und der bei der Entleerung auftretenden Turbulenz nicht befürchtet zu werden. Notfalls genügt ein kurzes Schütteln des Geräts, um abgesetzte Teilchen wieder in Suspension zu bringen.

Die Torpedoform des Geräts vermindert den Strömungswiderstand und damit die Abtrift. Im gleichen Sinne wirkt das Eigengewicht von rund 35 kg, das vor allem aus der starken Wandung des Kopf- und Mittelstücks herrührt. Jedoch ist bei diesem Gewicht und den äußeren Abmessungen eine Bedienung durch zwei Mann erforderlich, davon einer an der Handwinde und ein anderer zum Abfüllen der Wasserproben und zum Auswechseln der Düsen.

Auf Grund der robusten Bauart mit einfachen mechanischen Übertragungen ist das Gerät beim Einsatz wenig störanfällig und unkompliziert in der Arbeitsweise. Während der Entnahmen ist lediglich der Handzug zur Regelung der Ventilstellungen zu betätigen, und in Abständen ist die Wassereinlaufdüse entsprechend der gleichzeitig zu messenden Strömungsgeschwindigkeiten auszuwechseln, wobei das in Abbildung 7 wiedergegebene Nomogramm zu benutzen ist.

3. Eichung und Erprobung des Geräts

Um das Ergebnis einer punktförmig integrierenden Entnahme als Mittelwert der in der untersuchten Tiefenstufe vorhandenen Sinkstoffverteilung ansprechen zu können, müssen verschiedene Voraussetzungen gegeben sein. Die Tiefenintegration (gleichmäßiges Absenken des Geräts in einer Senkrechten bei gleichzeitiger Entnahme) soll hier unberücksichtigt bleiben, da infolge der Schichtung des Wasserkörpers im Brackwassergebiet, verursacht durch die Dichteunterschiede von Flut- und Ebbstrom, die Sinkstoffverteilung uneinheitlich ist.

Verschiedene Eichversuche mußten unternommen werden, um nachzuweisen, daß die an das Gerät zu stellenden Forderungen erfüllt sind. Diese umfassen:

- a) Der Sammelraum soll sich in einer Zeit füllen, die ausreicht, um den Sinkstoffgehalt der Probe als Mittelwert des in der Natur vorhandenen ansprechen zu können.
- b) Die Einlauföffnung muß in der Anstromrichtung liegen oder darf nur wenig von ihr abweichen.
- c) Im Wasser und besonders an der Einlaufstelle darf durch das Entnahmegerät keine Störung (Stau oder Wirbelbildung) hervorgerufen werden, damit eine ungestörte Wasserprobe gewonnen wird.
- d) Die Einlaufgeschwindigkeit in den Sammelraum des Geräts muß gleich der Strömungsgeschwindigkeit des umgebenden Wassers sein, um einen Sog infolge größerer und einen Stau infolge kleinerer Einlaufgeschwindigkeit zu verhindern.

Zu a): Durch eine ausreichende Entnahmezeit wird aus dem am Gerät vorbeiströmenden Wasser ein Stromfaden von solcher Länge entnommen, daß die verschiedene Dichte der Sinkstoffverteilung infolge „Wolkenbildung“ ausgeglichen wird. Nach Abbildung 5 beträgt die Füllzeit bei $v = 0,13$ m/s für 1000 cm^3 Inhalt rund $5\frac{1}{2}$ Minuten. Entsprechend beträgt die Länge des Stromfadens etwa 35 m und bei $v = 2,0$ m/s und einer Füllzeit von 70 s etwa 140 m. Stromfäden dieser Länge ergeben einen sicheren Mittelwert der Sinkstoffverteilung, wie es durch Beobachtungen in der Natur bestätigt wird.

Zu b): Daß die Einlauföffnung in der Anstromrichtung liegt, wird durch die Torpedoförmigkeit und die großen Stabilisierungsflächen des Tauchkörpers erreicht. Bei der Eichung des Geräts in der Versuchsrinne und der Erprobung in der Natur war die stabile Lage augenscheinlich.

Zu c): Durch die angenäherte Stromlinienform des Vorderstücks des Tauchkörpers ist die Wirbelbildung sehr gering. Außerdem ist die Einlauföffnung — auch bei Einsatz des Zwischenstücks — so weit vorgestreckt, daß sie außerhalb des Bereichs dennoch auftretender Wirbel liegt und durch ihren scharfen Rand eine Störung des einfließenden Stromfadens verhindert. In der Versuchsrinne wurde bei Färbung des Wassers mit Kaliumpermanganat keine Störung des Einstromungsvorgangs durch das Gerät festgestellt.

Zu d): Die wesentlichste Bedingung für die Brauchbarkeit des Sinkstoff-Fängers ist, daß die Einlaufgeschwindigkeit in den Sammelraum gleich der Strömungsgeschwindigkeit des umgebenden Wasserkörpers ist. Bei Versuchen zur integrierenden Sinkstoffentnahme in den Vereinigten Staaten (1) ergab sich, daß durch eine gegenüber der Einlaufgeschwindigkeit größere Stromgeschwindigkeit ein Stau bzw. im entgegengesetzten Fall ein Sog erzeugt wird. Auf Grund der größeren Massenträgheit der gegenüber dem Wasser schwereren Feststoffe ergibt sich bei Stau eine Vergrößerung und bei Sog eine Verminderung der Sinkstoffkonzentration in der Probe gegenüber der Natur.

Zur Erzielung der Übereinstimmung zwischen Einlauf- und Strömungsgeschwindigkeit wurden in einer Versuchsrinne der Hannoverschen Versuchsanstalt für Grundbau und Wasserbau, Franzius-Institut der Technischen Hochschule Hannover, verschiedene Eichversuche ausgeführt. Auch in der Ems wurden an geeigneten Stellen Versuche unternommen, um insbesondere

festzustellen, wie der Füllvorgang des Geräts von der Tiefenlage abhängig ist. Es sollen nicht die verschiedenen Eichversuche, die zu Konstruktionsverbesserungen führten, behandelt werden; jedoch ist ein Ergebnis für die Arbeitsweise des Geräts von Bedeutung. Anfangs wurde angenommen, daß die Anpassung der Einlaufgeschwindigkeit an die stark wechselnde Strömungsgeschwindigkeit nur durch Veränderung der Wassereinlauf- wie auch der Luftaustrittsdüse zu

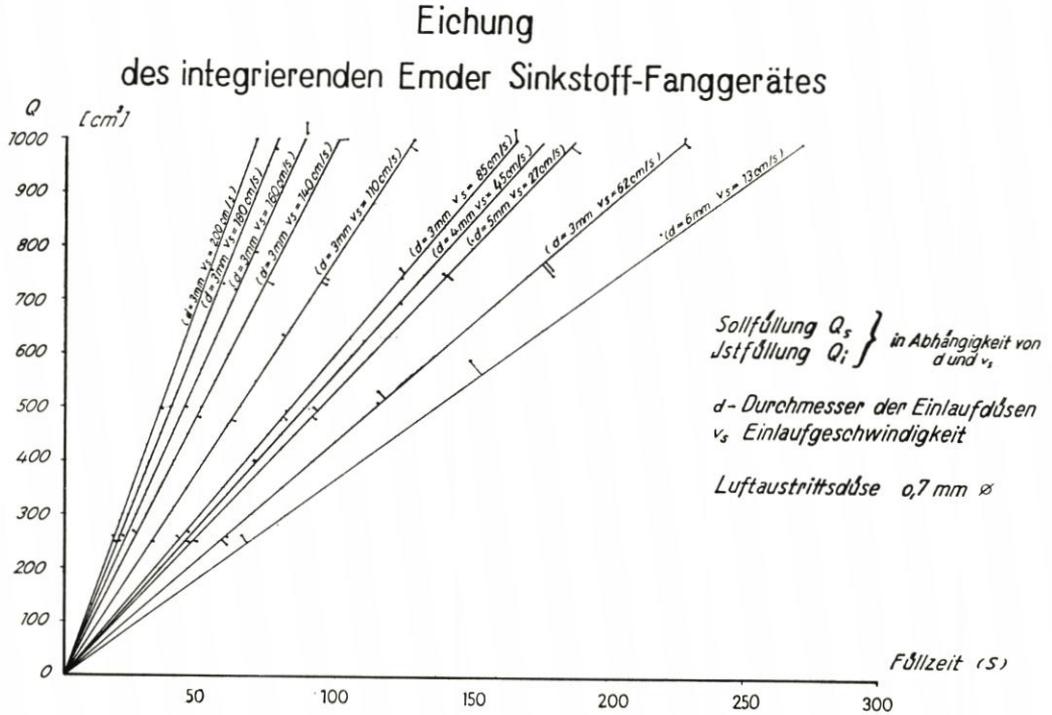


Abb. 5. Eichung des Gerätes, Vergleich von Soll- und Istfüllung

erreichen sei. Während der Versuche im Franzius-Institut zeigte sich aber, daß auf die Veränderung der Luftaustrittsöffnung verzichtet und mit einem konstanten Düsendurchmesser von 0,7 mm (Öffnung 0,38 mm²) gearbeitet werden konnte. Der Verzicht auf die Regelbarkeit der Luftaustrittsdüse bedeutet eine wesentliche Vereinfachung der Eichung wie auch der praktischen Anwendung des Geräts.

Die endgültigen Eichergebnisse, die mit der eingangs beschriebenen Geräteausführung erreicht wurden, enthält Abbildung 5. In einem Koordinatensystem mit der Füllzeit als Abszisse und der Füllmenge als Ordinate sind für verschiedene Wassereinlaufdüsen und Strömungsgeschwindigkeiten die Soll-Füllung (Q_s) und die Ist-Füllung (Q_i) gegenübergestellt. Es sind die Q_i -Werte als Punkte und die Q_s -Werte als gerade Linien aufgetragen, von denen erstere bei den Versuchen mengenmäßig bestimmt und letztere errechnet wurden.

$$Q_i = v_i \cdot F \cdot t \text{ und } Q_s = v_s \cdot F \cdot t$$

v_i = Einlaufgeschwindigkeit
 v_s = Strömungsgeschwindigkeit
 F = Querschnittsfläche des Wassereinlaufrohrs
 t = Füllzeit

Da $F \cdot t = \text{konstant}$, ist die Forderung
 $v_i = v_s$ erfüllt, wenn $Q_i = Q_s$.

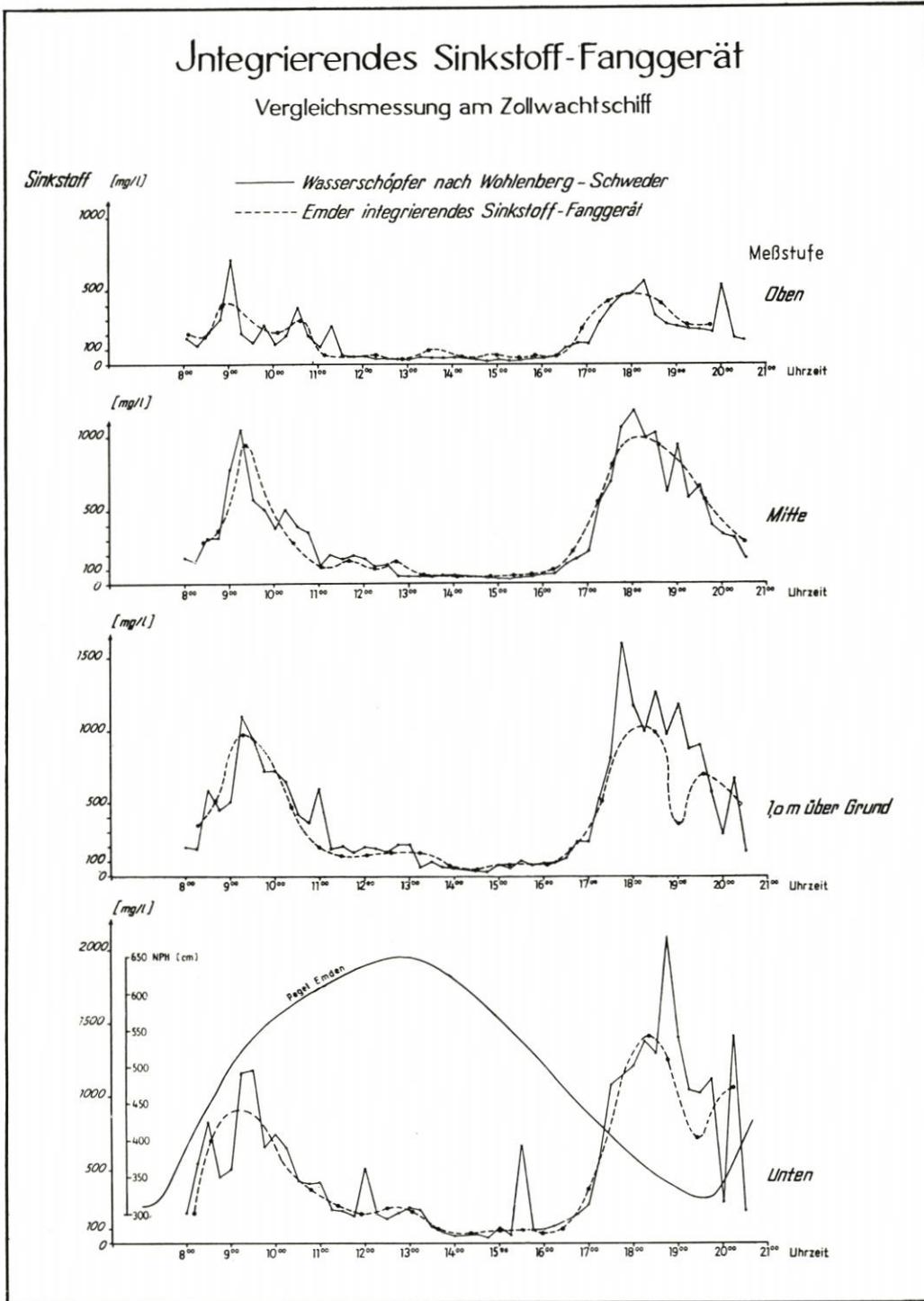


Abb. 6. Vergleichsmessung zwischen Wasserschöpfer nach WOHLNBERG-SCHWEDER und integrierendem Sinkstoff-Fanggerät

Die Werte von Q_s in Abhängigkeit von der Füllzeit liegen infolge der Linearität auf Geraden, die für verschiedene Durchmesser (d) der Wassereinlaufdüsen und Werte von v_s , die untersucht wurden, gezeichnet sind. Nach der Darstellung ist die Streuung der Q_i -Werte gegenüber den Q_s -Geraden gering und bezogen auf die Geschwindigkeiten innerhalb der Grenzen, in denen die Geschwindigkeitswerte in der Natur infolge des ungleichförmigen Fließvorgangs schwanken. In grundsätzlichen Untersuchungen in den Vereinigten Staaten (1) ist festgestellt worden, daß die Abweichung in der Sinkstoffkonzentration zwischen Entnahmeprobe und Natur, verursacht durch geringe Unterschiede von Einlauf- und Strömungsgeschwindigkeit, mit dem Korndurchmesser abnehmen. Bei Korndurchmessern unterhalb 0,05 mm, die den Hauptanteil der Sinkstoffe ausmachen, ist der Unterschied praktisch bedeutungslos.

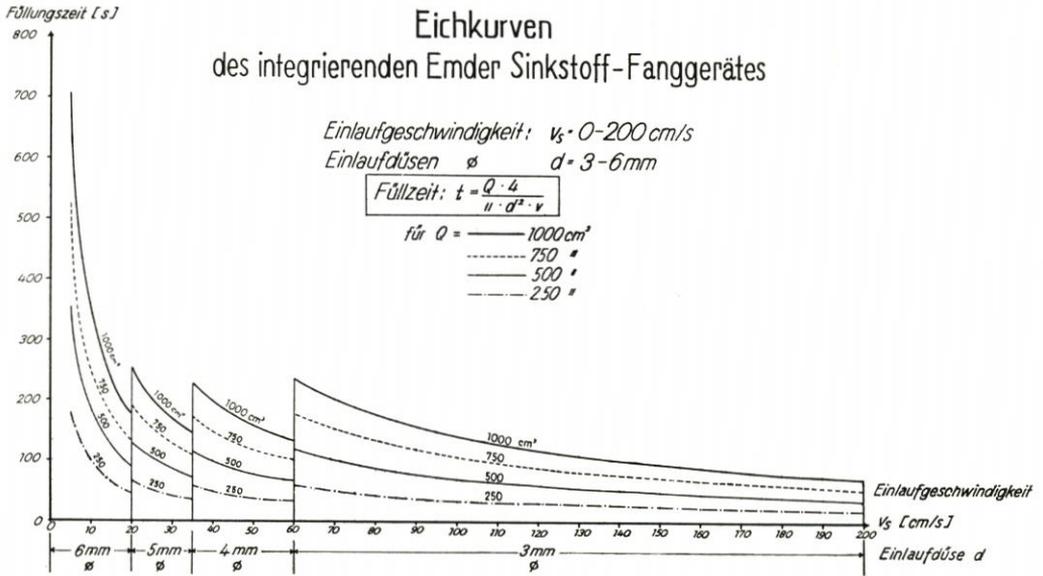


Abb. 7. Durchmesser der Wassereinlaufdüse in Abhängigkeit von der Stromgeschwindigkeit

Als Ergebnis der Eichung sind für die im Tidegebiet gewöhnlich auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten bis zu 200 cm/s Wassereinlaufdüsen von $d = 3 - 6 \text{ mm}$ ausreichend. Zu diesen Größen der Einlaufdüsen wurde bei Laboruntersuchungen in den Vereinigten Staaten (1) ermittelt, daß der Durchmesser der Düsen nur sehr geringen Einfluß auf die Sinkstoffkonzentration der Probe hat, solange die Einlauf- etwa gleich der Strömungsgeschwindigkeit ist.

In Abbildung 6 ist das Ergebnis einer Vergleichsmessung des integrierenden Sinkstoff-Fangeräts mit dem Wasserschöpfer nach WOHLBERG-SCHWEDER aufgetragen. Die Darstellung zeigt, daß die integrierende Entnahme Mittelwerte ergibt, die die mit dem Wasserschöpfer nach WOHLBERG-SCHWEDER gewonnenen, in der Größe schwankenden Augenblickswerte, ausgleichen. Die Füllzeit und der Durchmesser der Einlaufdüse wurden nach Abbildung 7 bestimmt. Beobachtet wurde bei einer Wassertiefe von rund 6 m bei MTnw in verschiedenen Meßstufen, die gleicherweise nachweisen, daß das Gerät in jeder Tiefe einwandfrei arbeitet und eine größere Zahl von Augenblickswerten der Sinkstoffkonzentration durch eine geringe Anzahl von Integrationsmessungen mit dem neuen Gerät ersetzbar ist.

4. Schlußbemerkung

Für die Anwendung des Sinkstoff-Fanggeräts wurde das Diagramm in Abbildung 7 aufgestellt. In der Abszisse sind die Strömungsgeschwindigkeiten und die für den jeweiligen Geschwindigkeitsbereich zu verwendenden Durchmesser der Wassereinlaufdüse angegeben. In der Ordinate ist die Füllzeit aufgetragen, wobei die Zeiten für $1/1$, $3/4$, $1/2$ und $1/4$ Füllung aus der Kurvenschar für die verschiedenen Geschwindigkeiten und Düsendurchmesser zu entnehmen sind. Unter Verwendung dieses Diagramms ist es möglich, bei gleichzeitiger Messung der Strömungsgeschwindigkeit das Gerät einzusetzen.

Nach den Ergebnissen der Eichung und Erprobung dürfen die unter Verwendung des integrierenden Sinkstoff-Fanggeräts gewonnenen Werte als Mittelwerte der in der Meßtiefe vorhandenen Sinkstoffkonzentration angesehen werden. Sie lassen als Absolutwerte eine quantitative Bestimmung des Sinkstoffgehalts in der Brackwasserzone zu. Das war eingangs als Endziel der Geräteentwicklung angezeigt worden. Die selbsttätige zeitliche Integration vermindert außerdem die Anzahl der zu entnehmenden Proben, wodurch die Arbeit der Auswertung im Laboratorium wesentlich verringert wird.

5. Schriftenverzeichnis

1. NELSON, M. und BENEDICT, C.: Measurement und Analysis of Sediment Load on Streams (Messung und Analyse der Schwebstoffmengen in Strömen). Vol. 76, Separate Nr. 31, American Society of Civil Engineers, 1950.
2. WOHLBERG, E.: Der horizontale Wasserschöpfer. Dt. Hydrogr. Ztschr. Bd. 3, H. 5/6, 1950.