
ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) – Einführung einer neuen Messtechnik in den Durchflussmessdienst

Gerd Morgenschweis, Ruhrverband Essen

Sonderdruck aus:
Jahresbericht Ruhrwassermenge 2001 · Ruhrverband Essen (2002), S. 29 - 36

11 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) – Einführung einer neuen Messtechnik in den Durchflussmessdienst

11.1 Veranlassung

Nachdem in den Ruhrwassermengenberichten 1985 über elektromagnetische Geschwindigkeitssonden, 1991 über den Einsatz von Ultraschallmessungen nach dem Laufzeitverfahren am Beispiel des Pegels Mülheim/Ruhr und 2000 über die kontinuierliche Messung des Wasserspiegelgefälles am Pegel Fröndenberg ausführlich berichtet wurde, soll in diesem Jahresbericht über die Einführung eines neuen Messsystems in die gewässerkundliche Durchflussmesspraxis der Abteilung Mengenwirtschaft und Morphologie berichtet werden. Die bisher zur Durchflussmessung in einem Querprofil verwendeten hydrometrischen Flügel und magnetisch induktiven Sonden, bei denen die Fließgeschwindigkeit des Gewässers an einzelnen Messpunkten in senkrecht angeordneten Lotrechten ermittelt werden, sind relativ zeitaufwendig.

So dauert die reine Messzeit (ohne Auf- und Abbau der Messgeräte) z.B. bei Mittelwasser am Pegel Hattingen in der

unteren Ruhr 1,5 bis 2 Stunden, bei Hochwasser verlängert sich dieser Zeitbedarf wegen der teilweise großen Ausuferungsflächen erheblich (5 bis 6 Stunden). Demgegenüber zeichnet sich das hier vorzustellende Messsystem durch eine außerordentlich kurze Messzeit aus; in der unteren Ruhr mit einer Gewässerbreite von bis zu 70 m werden für vollständige Querschnittsmessungen lediglich 1 bis 2 Minuten Messzeit benötigt.

Neben der Zeitersparnis für den Routinemessdienst bietet das neue Messsystem erstmals die Möglichkeit, kurzzeitig schwankende instationäre Abflüsse, wie sie in einigen Bereichen der Ruhr aufgrund der vielen vorhandenen Stauanlagen nicht unüblich sind, messtechnisch zuverlässig zu erfassen. Bild 17 zeigt als Beispiel einen Ausschnitt von Durchflussganglinien der Ruhr gemessen in Fröndenberg, Werden und Mülheim. Die im Wesentlichen aus der Wasserkraftnutzung resultierenden periodischen Schwankungen des Abflusses sind aufgrund der auftretenden Frequenz nur mit einem schnell arbeitenden Verfahren zuverlässig zu erfassen. Unter solchen Randbedingungen lässt sich das vorzustellende akustische Strömungsmessgerät mit großem Erfolg einsetzen, wie Anwendungsbeispiele in Abschnitt 11.3 belegen.

Zuvor soll jedoch kurz das Messverfahren vorgestellt werden.

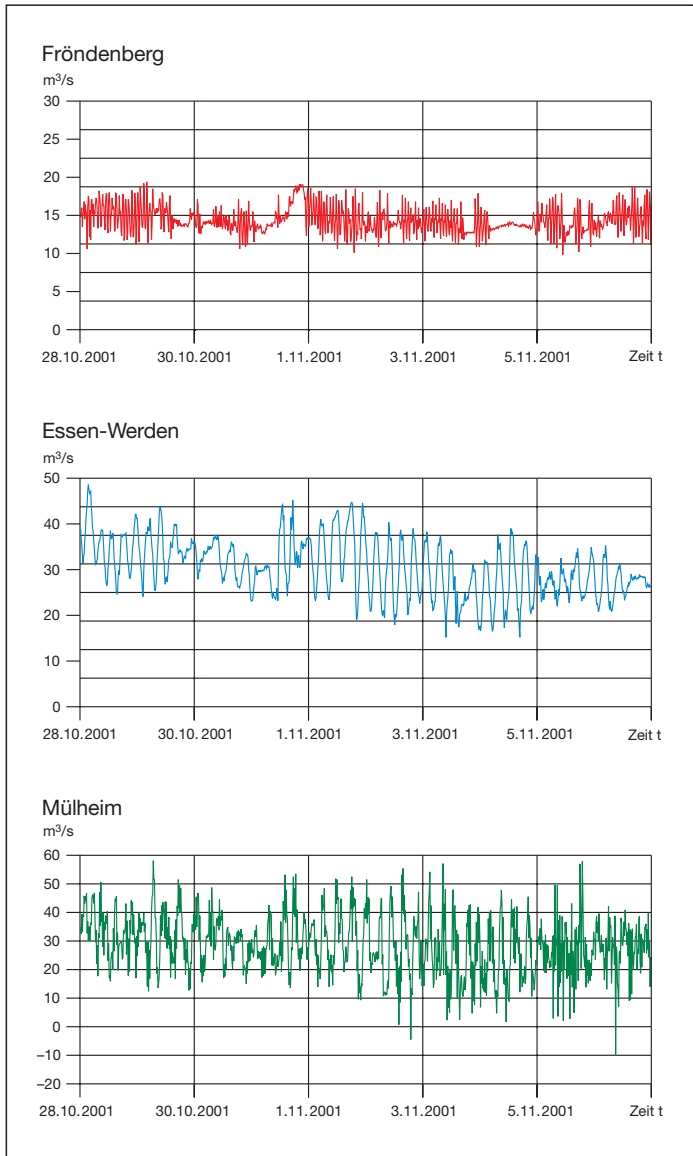


Bild 17: Durchflussganglinien der Ruhr, gemessen an den Pegeln Fröndenberg, Essen-Werden und Mülheim
 Fig. 17: Hydrographs of runoff in the Ruhr River measured at the gauging stations at Fröndenberg, Essen-Werden and Mülheim

11.2 Das Messprinzip

Bei den hier vorzustellenden akustischen Strömungsmessgeräten handelt es sich um Messgeräte, die die Fließgeschwindigkeit des Gewässers mit Hilfe des Doppler-Effektes ermitteln. Hierbei wird die nach dem Physiker Doppler benannte Gesetzmäßigkeit genutzt, die in der Frequenzänderung einer Schallfrequenz besteht, die dann auftritt, wenn sich Schallquelle und Empfänger aufeinander zu oder voneinander weg bewegen (z. B. die Tonhöhenveränderung eines Martinhornes, wenn sich das Feuerwehrauto nähert oder entfernt). Dieser Effekt wird zur Messung der Fließgeschwindigkeit genutzt, indem eine Schallwelle, wegen der kurzen Entfernungen meist ein Ultraschall, mit einer konstanten Frequenz f_1 ins Wasser gesendet, dort auf einen in der Flüssigkeit schwimmenden Körper (z. B. Feststoffpartikel, Gasblase etc.) trifft und reflektiert wird. Die zurückgeworfene Ultraschallwelle erhält durch Streuung eine veränderte Frequenz f_2 . Der Vergleich beider Frequenzen ergibt nach dem Dopplergesetz die Fließgeschwindigkeit v :

$$v = \frac{a_0}{2 \cdot \cos \beta} \cdot \frac{f_1 - f_2}{f_1} \quad (1)$$

mit	v	=	Strömungsgeschwindigkeit (m/s)
	f_1	=	Sendefrequenz (1/s)
	f_2	=	Dopplerfrequenz (1/s)
	a_0	=	Schallgeschwindigkeit (m/s)
	β	=	Winkel zwischen den Vektoren der Strömungsrichtung und der Ausbreitungsrichtung des Ultraschalls

Da in der Praxis f_1 , $\cos \beta$ und a_0 konstant sind, vereinfacht sich Gleichung (1) zu

$$v \cdot k_0 = f_1 - f_2 \quad (2),$$

d. h. die Frequenzverschiebung ist direkt proportional zur Strömungsgeschwindigkeit. Es wird die Geschwindigkeit der mitgeführten Teilchen gemessen; dies setzt voraus, dass Reflektion verursachende Teilchen im Wasser sind und dass die Flüssigkeit und das Teilchen die gleiche Geschwindigkeit haben. Bei Gewässern wie der Ruhr und ihren Nebenflüssen sind diese Bedingungen erfüllt.

Dieses Messprinzip wird von auf dem internationalen Markt erhältlichen Geräten zur Messung der Strömungsgeschwindigkeiten in Lotrechten genutzt. Um dabei die drei Richtungsvektoren zur Strömung erfassen zu können, werden drei bis vier Schallstrahlen verwendet (bei Geräten mit vier Schallstrahlen wird der vierte Schallstrahl in der Regel zur Datenkontrolle und -sicherheit benutzt). Die Schallgeber sind, wie in Bild 21 zu erkennen, in einem festgelegten Winkel zueinander montiert. Das Gerät wird in der Regel an einem Schwimm-



Bild 18: ADCP-Messgerät am Boot montiert
Fig. 18: ADCP mounted on a measuring boat

körper als Trägerkonstruktion, z. B. ein Boot (siehe Kapitel 11.3), so befestigt, dass die Schalltransducer von der Wasseroberfläche zur Gewässersohle ausstrahlen (siehe Bild 18). Die erfasste Wassersäule wird in eine Anzahl von vertikal übereinander liegenden Segmenten oder Tiefenzellen unterteilt. Als Funktion der Tiefe aufgetragen ergeben die Messungen ein Geschwindigkeitsprofil wie bei Vielpunktmessungen mit dem hydrometrischen Flügel. Man kann sich auch die einzelnen Tiefenzellen wie eine Aneinanderreihung von gleichförmig mit der Tiefe verteilten Flügeln vorstellen.

Die Auswertung erfolgt wie bei Flügelmessungen nach der Geschwindigkeitsflächenmethode.

Um Durchflüsse von Querprofilen zu ermitteln, wird das Strömungsgerät nach der moving-boat-Methode eingesetzt. Montiert an z. B. ein Boot wird das Messgerät quer zur Fließrichtung durch das Querprofil bewegt, wobei kontinuierlich die Wassertiefe, die Geschwindigkeitsprofile und die Bootsgeschwindigkeit registriert werden. Durch vektorielle Verknüpfung mit Hilfe der Software WINRIVER wird daraus der Durchfluss ermittelt. Dieses Messverfahren ist um ein vielfaches schneller als herkömmliche Flügelmessungen; außerdem enthält eine Querschnittsmessung zwei bis drei Mal mehr Einzeldaten als Flügelmessungen (abhängig von der Bootsgeschwindigkeit).

Um die so gewonnenen Daten auch konform zur Pegelvorschrift auswerten zu können, wurde von der Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz zusätzlich das Programm AGILA entwickelt. Tabelle 12 gibt als Beispiel eine solche Auswertung einer ADCP-Messung am Pegel Hattingen/Ruhr vom 8.2.2001 wieder. Es wurden vier Wiederholungen durchgeführt und zu dem dargestellten Ergebnis gemittelt.

Bild 19 zeigt den Messweg und die Geschwindigkeitsvektoren dieses Messensembles am Pegel Hattingen; sie stellen eine erste Qualitätskontrolle für eine Messung dar und liefern hydraulisch bedeutsame Kennwerte.

Tabelle 12: Auswertung einer ADCP-Messung mittels AGILA 4.1
Table 12: Runoff evaluation of an ADCP measurement set using the software AGILA 4.1

Ruhrverband Essen			
Mittelung von 4 ADCP-Messungen mit AGILA 4.1			
Meßstelle: Hattingen	Datum:	08.02.01	
Gewässer: Ruhr	Ø Zeit	13:04:53	
Wasserstand	W =	162	[cm]
Durchfluß Agila	Q =	38,65	[m³/s]
Durchfluß Transect/WinRiver	Qtrans	38,63	[m³/s]
Mittlere Fließrichtung		172,55	[°N]
Richtung Bezugsquerschnitt		262,55	[°N]
durchströmter Querschnitt	A =	47,22	[m²]
Wasserspiegelbreite	b =	22,49	[m]
mittlere Gerinnetiefe	h _m =	2,10	[m]
maximale Gerinnetiefe	h _{max} =	2,60	[m]
mittlere Geschwindigkeit = Q/A	v _m =	0,82	[m]
hydraulischer Radius	r _{hy} =	1,91	[m]
Profilwert	P =	71,45	[m²²/²]
Q/P	c*Wurzel(I) =	0,54	[m³²/s]
Abflußspende	q =	9,39	[l/s km²]
ADCP-Dateien:	Pfad: N:\agila\ruhr\hattingen\02-05-21 Dateien: hattingen000t.000, hattingen001t.000, hattingen002t.000, hattingen005t.000		
Bemerkungen			

Bild 20 gibt für die gleiche Messung die räumliche Geschwindigkeitsverteilung (unten) und die daraus abgeleitete Geschwindigkeitsfläche wieder. Bild 20 verdeutlicht darüber hinaus bei der Darstellung der Geschwindigkeitsverteilung eine wesentliche Grenze für die Anwendung des Verfahrens.

In Abhängigkeit vom Gerätetyp sind drei Bereiche messtechnisch nicht erfassbar:

- die Gewässersohle
- die Uferandbereiche
- die Wasseroberfläche.

Diese Bereiche ohne Messwerte, auch blanking genannt, müssen über hydraulische Annahmen und Erfahrungswerte geschätzt werden. Daraus ergibt sich eine für ADCP-Messungen sinnvolle Mindestbreite und -tiefe der Gewässer.

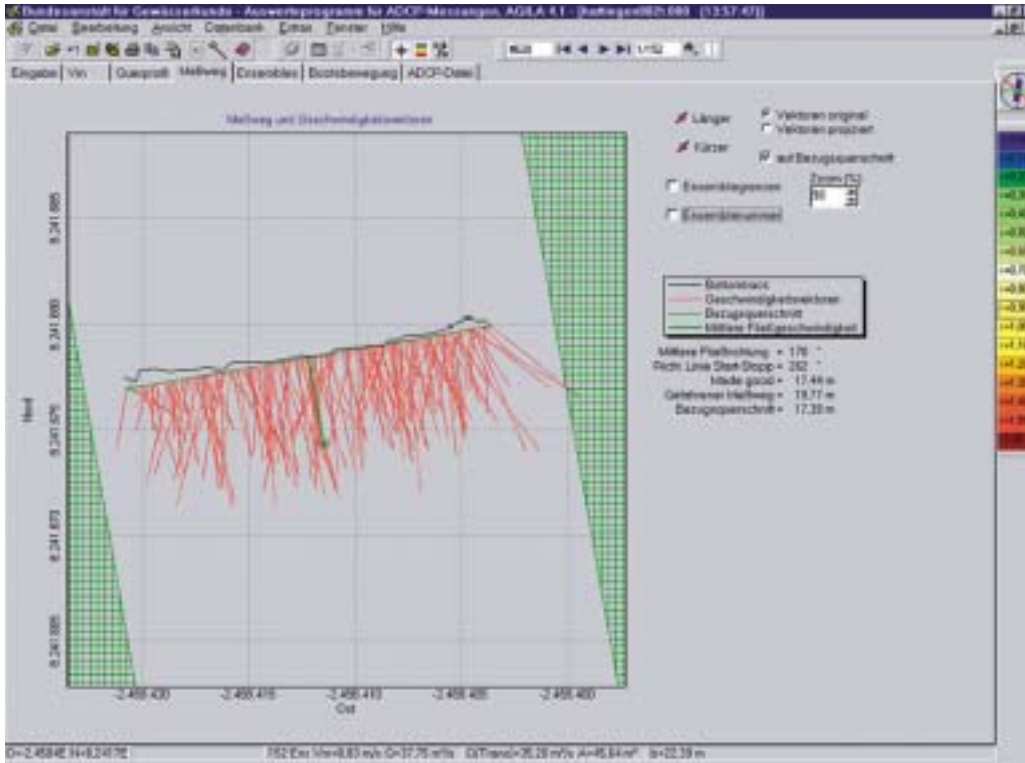


Bild 19: Messweg und Geschwindigkeitsvektoren einer ADCP-Messung am Pegel Hattingen/Ruhr bei 37,75 m³/s

Fig. 19: Path of the boat and velocity vectors measured with ADCP at the gauging station at Hattingen/Ruhr (Q = 37.75 m³/s)

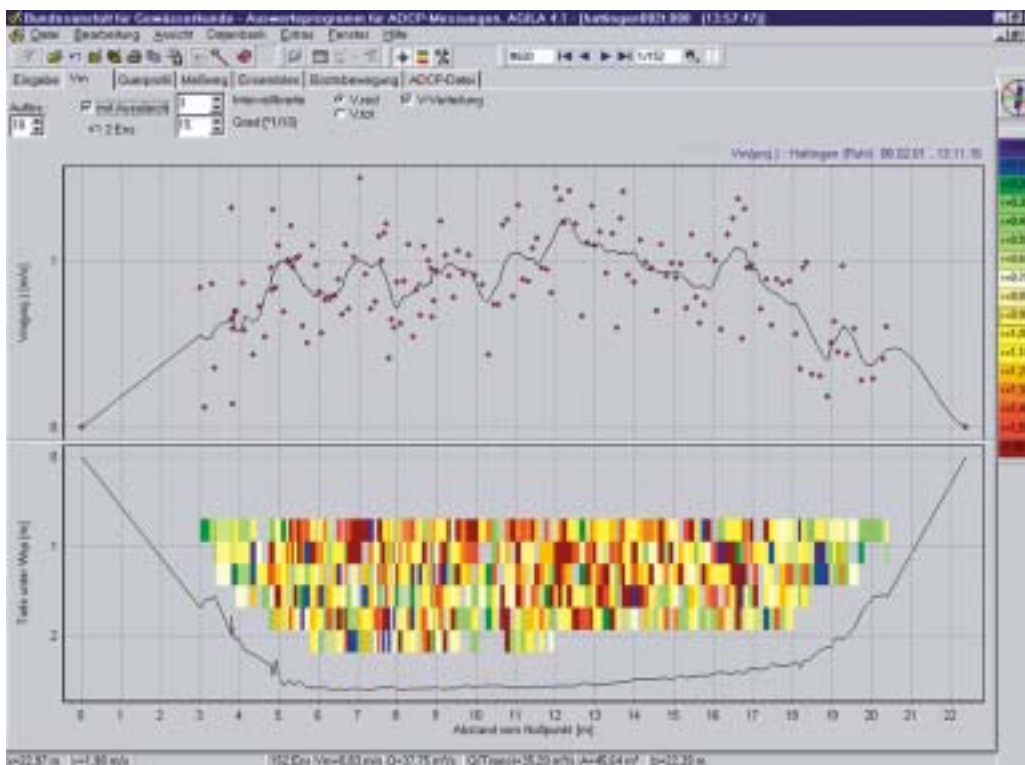


Bild 20: Geschwindigkeits- und Durchflussverteilung am Pegel Hattingen/Ruhr bei einem Durchfluss von 37,75 m³/s. Auswertung einer ADCP-Messung mit AGILA 4.1

Fig. 20: Distribution of flow velocities and the resulting discharge: evaluation of an ADCP measurement at the gauging station at Hattingen/Ruhr (Q = 37.75 m³/s)

Die ersten auf dem Markt befindlichen Geräte wurden Anfang der 90-er Jahre aus in der Ozeanographie verwendeten Instrumenten abgeleitet und waren aufgrund ihrer Ausmaße und der verwendeten Schallfrequenzen im Wesentlichen für „große“ Gewässer, wie z. B. den Rhein, geeignet. Im Laufe der Jahre wurden die Geräte kleiner und mit entsprechenden Frequenzen ausgestattet, so dass sie heute für Wassertiefen ab 0,25 m eingesetzt werden können (siehe Messgeräte in Kapitel 11.3). Darüber hinaus wurden sie auch erheblich preiswerter.

Detaillierte Vergleichsmessungen mit Hilfe von hydrometrischen Flügeln, wie sie dankenswerterweise insbesondere von der Bundesanstalt für Gewässerkunde an vielen Gewässern durchgeführt wurden, haben die Brauchbarkeit dieser Messmethode auch für die „raue“ gewässerkundliche Praxis belegt.

Voraussetzung für gute Ergebnisse bei diesem hoch entwickelten Messsystem ist jedoch eine gute Schulung der Mitarbeiter und ein ständiges Arbeiten mit dem Messgerät und der zugehörigen Software.

11.3 Messgeräte und ihre Anwendung

Auf dem internationalen Markt sind zurzeit drei Fabrikate auf dem Gebiet der mobilen Ultraschall-Doppler-Messtechnik verfügbar:

- ADCP von RD Instruments/San Diego (USA)
- ADP von SonTek/San Diego (USA)
- EasyQ resp. Aquadop von Nortek AS/Saulvika (Norwegen).

Alle drei Anbieter gehen zurück auf RD Instruments, die 1982 das erste Gerät auf den Markt brachten. SonTek und Nortek entwickelten darauf aufbauend eigene Systeme, die sich vom ADCP in einigen Punkten wesentlich unterscheiden. So arbeitet das ADP nach der „pulse incoherent“-Methode in einem eng begrenzten Frequenzbereich (narrow band), das ADCP hingegen nutzt die „pulse coherent“-Methode in einem breiten Frequenzbereich (broad band). Beide Methoden haben Vor- und Nachteile; variabler einsetzbar und mit höherer Präzision arbeitet das ADCP.

Da außerdem lediglich für das ADCP Software für Auswertungen nach der Pegelvorschrift verfügbar war und Geräte dieses Herstellers das in Deutschland bei weitem am häufigsten eingesetzte Ultraschall-Doppler-Strömungsmessgerät waren, entschied sich der Ruhrverband für dieses Fabrikat.

11.3.1 Eingesetzte Gerätekonfiguration

Im Februar 2000 wurde daraufhin ein ADCP vom Typ Workhorse Rio Grande 600 kHz angeschafft. Dieses Messgerät ist speziell für Durchflussmessungen in kleinen bis mittleren Gewässern entwickelt worden. Es kann bis zu einer minimalen Wassertiefe von 0,80 m und einer maximalen Tiefe von bis zu 53 m (je nach eingestellter Option) eingesetzt werden. Das Gerät eignet sich damit zum Einsatz in der gesamten Ruhr bis hin zu Talsperrenzuflüssen im Sauerland. Aus organisatorischen Gründen wird es bisher vorwiegend in der mittleren und unteren Ruhr eingesetzt, da hier aufgrund der vorherrschenden Randbedingungen (Gewässerbreite, instationärer Abfluss, Zugänglichkeit) die Vorteile dieser Messtechnik am deutlichsten genutzt werden können. Nähere Hinweise zu messtechnischen Details sind dem Technical Manual von RD Instruments, 1999 und dem deutschsprachigen Benutzerhandbuch WinRiver, 2001 zu entnehmen

Bild 21 zeigt das ADCP-Messgerät mit dem zugehörigen Laptop, der die Messdaten aufnimmt und auswertet. Es handelt sich um einen Spezialrechner, der akkubetrieben, stoß- und wasserfest den rauen Randbedingungen von Feldmessungen gewachsen und außerdem so leistungsfähig ist, dass er die hohen Anforderungen der ADCP-Messtechnik rechnerseits erfüllt.

Nach intensiver Schulung von zwei Mitarbeitern auf entsprechenden Fortbildungsveranstaltungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz und nach Beschaffung eines speziellen Messbootes wurde das Messsystem 2001 in den gewässerkundlichen Messdienst eingeführt und wird seitdem routinemäßig zur Durchflussmessung eingesetzt. Bild 22 zeigt das Messboot mit dem im Bug montierten ADCP im Einsatz.



Bild 21: ADCP-Messgerät Rio Grande mit zugehörigem Datenerfassungs- und -auswertegerät

Fig. 21: Rio Grande and laptop used for data acquisition and data processing



Bild 22: Messboot mit im Bug montiertem Messgerät im Einsatz
 Fig. 22: Measuring boat with ADCP mounted in the bow



Bild 23: Messboot mit Trailer
 Fig. 23: Measuring boat with trailer

11.3.2 Eingesetzte Messgeräteträger

ADCP an Messboot montiert:

Üblicherweise werden ADCP-Messgeräte an ein Boot montiert durch den Fluss bzw. Messquerschnitt bewegt. Bei diesen Verfahren muss die Eigengeschwindigkeit des Messbootes berücksichtigt werden. Dies geschieht beim ADCP mit Hilfe des bottom tracking, mit dem, wie in Kapitel 13.1 erläutert, die Geschwindigkeit und Richtung des ADCP über dem Gewässergrund ermittelt und bei der Berechnung der tatsächlichen Wassergeschwindigkeit subtrahiert wird. Da das Messgerät zusätzlich mit einem Magnetkompass ausgerüstet ist, kann automatisch die Richtung der Strömung und der ADCP-Bewegung relativ zur Gewässersohle ermittelt werden (siehe Beispiel in Bild 19); dadurch können Messungen unabhängig vom Weg des Bootes beim Queren des Gewässers gemacht werden.

Das Messboot ist ein Aluminium-Arbeitsboot, das von einem Außenbordmotor (4,5 PS) angetrieben und zu den Messstellen mittels eines Trailers transportiert wird (siehe Bild 23).

Wie die bisherige Praxis gezeigt hat, ist dieses Boot sehr gut für Messungen im Niedrig- und Mittelwasser geeignet, jedoch bei höheren Durchflüssen wegen der auftretenden hohen Strömungsgeschwindigkeiten aus Sicherheitsgründen nicht einsetzbar. Hier bietet u. a. die Nutzung der an vielen Pegeln im Einzugsgebiet der Ruhr für Messungen mit Schwimmflügeln vorhandenen stationären Seilkrananlagen einen probaten Ausweg.



Bild 24: Katamaran-Trägerschwimmkörper mit Messgerät und Funkantenne
 Fig. 24: Catamaran floating body with ADCP and radio antenna

ADCP an Trägerschwimmkörpern:

Um das ADCP-Gerät unabhängig von einem Boot einsetzen zu können, wurde beim Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen (Prof. Dr.-Ing. J. Königeter) der Bau eines strömungstechnisch optimierten Trägerschwimmkörpers aus Styropor (Measure cat) in Auftrag gegeben.

Dies beinhaltet auch die Implementierung einer kabellosen Datenübertragung (Full-Duplex) zwischen dem ADCP und dem landseitigen Messrechner mit Hilfe von zwei Funkmodems sowie die für das Messgerät benötigte Stromversorgung (2 bis 6 V).



Bild 25: ADCP-Katamaran im Einsatz an der Seilkrananlage am Pegel Hattingen
Fig. 25: ADCP-catamaran mounted on the cable way of the gauging station at Hattingen



Bild 27: ADCP-Messung mit einem Zugseil von einer Brücke
Fig. 27: ADCP measurement using a rope pulled from a bridge



Bild 26: ADCP-Messung mit einer mobilen Seilkrananlage
Fig. 26: ADCP measurement using a mobile cable way



Bild 28: ADCP-Messung entlang eines Spannseils
Fig. 28: ADCP measurement using a guide rope

Das gleiche Institut hatte in jüngerer Vergangenheit einen Trägerschwimmkörper in Form eines Katamarans für das Schweizerische Bundesamt für Wasser und Geologie in Bern und für das Landesumweltamt NRW erstellt, jedoch für das größere Vorgänger-ADCP. Bild 24 zeigt den Katamaran mit eingebautem ADCP und Antenne am Heck für die kabellose Datenübertragung.

In Bild 25 ist der Katamaran am Pegel Hattingen im Einsatz, montiert am Schwimmkörper der dortigen Seilkrananlage. Für eine Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten dieses neuen Messgerätesets über die begrenzte Anzahl von fest installierten Seilkrananlagen hinaus (beim RV insgesamt 10) boten sich zum einen

a) mobile Seilkrananlagen an, mit denen von Brücken und Messstegen in gleicher Weise gemessen werden kann. Bild 26 zeigt einen solchen Einsatz bei Strömungsmessungen vor dem Turbineneinlauf zum Wasserkraftwerk am Wehr Baldeney,

zum anderen insbesondere bei Niedrigwasser

b) Zugseil-Messungen von Brücken aus an, bei denen der Katamaran wie an einer „Hundeleine“ von einer Brücke aus quer durch das Gewässer gezogen wird. Bild 27 zeigt eine solche Messanordnung.

- c) Eine dritte Möglichkeit wird in Bild 28 bei einem langsam fließenden Gewässer dargestellt. Da in der Nähe des breiten Messprofiles keine Brücke vorhanden war, wurde ein Spannseil quer über den Fluss gespannt und der Katamaran mit dem Messgerät langsam, mit einem Zugseil am Spannseil geführt, messend von einem Ufer zum anderen gezogen. Diese Vorgehensweise ist jedoch nur bei geringen Fließgeschwindigkeiten empfehlenswert.

Es ist somit festzuhalten, dass sich durch die Einführung eines Trägerschwimmkörpers die Einsatzmöglichkeiten des ADCP erheblich erweitert haben. Dies haben die Gerätehersteller inzwischen auch erkannt; so bietet RD Instruments seit kurzem einen Trimaran als Schwimmkörper an, der für den US Geological Survey entwickelt wurde und dem Verlautbaren nach ein ausgezeichnetes Schwimmverhalten aufweist.

11.4 Grenzen der ADCP-Messtechnik

Kontrollmessungen, insbesondere seitens der Bundesanstalt für Gewässerkunde (H. Adler) haben eindeutig belegt, dass ADCP-Messungen mit Ergebnissen von Flügelmessungen gut übereinstimmen, wenn – und das ist ausschlaggebend – die Grenzen der Anwendbarkeit des ADCP-Verfahrens berücksichtigt werden. Neben der optimalen Einstellung des Messsystems, die eine gute Schulung und einige Praxiserfahrung des Messpersonals voraussetzen, sind hier als begrenzende Faktoren die Gewässergröße und -geometrie sowie das Problem der bewegten Gewässersohle zu nennen.

Die Bedeutung der **Gewässergröße und -geometrie** wurde schon bei der Vorstellung des Messprinzips in Kapitel 11.2 erläutert. Die in Bild 20 in der unteren Hälfte dargestellten gemessenen Geschwindigkeiten verdeutlichen die Bereiche ohne Messungen an Oberfläche, Sohle und beiden Ufern.

Wird dieser Bereich, der mit Hilfe von hydraulischen Modellrechnungen im Auswerteprogramm geschätzt werden muss, im Verhältnis zum messtechnisch erfassten Bereich zu groß,

ist eine Messung nicht mehr sinnvoll. Die Größe dieses undefinierten Bereichs hängt auch vom Gerätetyp und der verwendeten Messfrequenz ab. Bei dem hier eingesetzten Workhorse Rio Grande 600 kHz wird eine minimale Wassertiefe von 0,80 m benötigt. Inzwischen gibt es eine Weiterentwicklung zur Erfassung kleiner Gewässer, den Gerätetyp Zed Head, der bis zu einer minimalen Wassertiefe von 0,25 m eingesetzt werden kann. Dieses Gerät befindet sich zurzeit im Test bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde.

Als Hauptproblematik der mobilen ADCP-Messung werden **bewegliche Gewässersohlen** angesehen, da dadurch zum einen im Bereich der Gewässersohle durch nichteindeutige Zuordnung von Geschwindigkeitswerten Ausfälle auftreten und zum anderen die Eigengeschwindigkeit des Messbootes, die über das bottom tracking als Geschwindigkeit über Grund ermittelt wird, unzureichend ist. Dies kann insbesondere bei Hochwassersituationen zu einer deutlichen Verschlechterung der Messergebnisse führen. An entsprechenden Kontroll- bzw. Korrekturmöglichkeiten (z. B. mittels DGPS) wird zurzeit intensiv gearbeitet.

11.5 Zusammenfassung und Ausblick

Mit der Ultraschallströmungsmesstechnik nach dem Dopplerverfahren steht der gewässerkundlichen Praxis seit kurzem ein Messverfahren mit außerordentlich kurzen Messzeiten zur Verfügung. Dadurch kann einerseits die bisherige Messpraxis erheblich rationalisiert werden, andererseits können erstmals kurzzeitig schwankende Abflüsse, wie sie insbesondere in stark staugeregelten Flüssen üblich sind, messtechnisch zuverlässig erfasst werden.

Welche Bedeutung dieser Messtechnik zugemessen wird, kann auch daraus ersehen werden, dass es inzwischen international besetzte ADCP-Anwendertreffen als Foren für den Austausch von Erfahrungen und als „Ringversuche“ zur gegenseitigen Kontrolle der im Einsatz befindlichen Messgeräte gibt.



Kronprinzenstraße 37, 45128 Essen
Postfach 10 32 42, 45032 Essen
Telefon (02 01) 178-0
Fax (02 01) 178-1425

Nachdruck – auch auszugsweise
– nur mit Quellenangabe gestattet.

Gedruckt auf umweltfreundlich
hergestelltem Papier aus 50 %
recycelten Fasern.