



Niedersächsischer Landesbetrieb für
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
– Betriebsstelle Aurich –

Marktsondierung und Durchführung: Alternative Durchflussmessverfahren



Durchführung der Flügelmessung



parallele Messung mit ADCP

Aufgestellt:
Aurich, den 9. Mai 2005

Dietrich Rupert

NLWKN-Dienstgebäude:

Aurich Oldersumer Str. 48
Leer Georgstr. 24

Telefon

04941/176-0
0491/91206-40

Telefax

04941/176-135
04941/176-445 *Gewässerkunde*

e-mail:

dietrich.rupert@nlwkn-aur.niedersachsen.de

Lieferanschrift

Oldersumer Str. 48
26603 Aurich

Marktsondierung und Durchführung: Alternative Durchflussmessverfahren

Inhaltsverzeichnis:	Seite:
1. Zielgegenstand	2
2. Aktivitäten der Betriebsstelle Aurich (chronologisch)	2
2.1 Radarmessung	2
2.2 Fragebogenaktion	2
2.3 AG alternative Messtechnik	2
2.4 Ultraschallströmungsmessungen	3
2.5 ADCP-Messungen	3
3. Ergebnisse	3
3.1 Fließgeschwindigkeitsmessung mittels Radarsensor	3
3.1.1 Zusammenstellung der technischen Daten	3
3.1.2 Angaben zum Messverfahren	3
3.1.3 Ergebnisse der vergleichenden Fließgeschwindigkeitsmessungen in Gandersum	5
3.2 Ultraschallströmungsmessungen / stationäre Horizontal-ADCP	7
3.3 ADCP-Messungen	11
3.3.1 Ausgangslage	11
3.3.2 Geräteangebot	12
3.3.3 Ergebnisse des „4. Anwendertreffen zur Qualitätssicherung von Abflussdaten“	14
3.3.4 ADCP-Messungen mit dem WSA Emden auf der Ems	15
3.3.5 ADCP-Messungen in der Leda	17
3.3.6 ADCP-Messungen am Leysiel	18
3.3.7 Erfahrungen der Betriebsstelle Meppen (ZV 23 MEP)	19
3.4 Fragebogenaktion	20
4. Zusammenfassung und Empfehlungen	24
<u>Anhang:</u> Messstellenfotos	27 - 31

(Hinweis: Rechtschreibfehler in Zitaten wurden nicht korrigiert.)

Marktsondierung und Durchführung: Alternative Durchflussmessverfahren

1. Zielgegenstand

Die Technik zum Messen und Registrieren von Wasserständen und Durchflüssen wird ständig weiter entwickelt. Zusätzlich zur Verbesserung des technischen Standards ist häufig auch die Verringerung des Arbeitsaufwandes für den Pegelbetreiber das Ziel. Letztgenannter Aspekt wird in Zeiten knapper Personalressourcen immer wichtiger. Unter den Gesichtspunkten "Rationalisierung von Arbeitsabläufen" und "Sicherstellung der Datengewinnung" werden neue Techniken untersucht und ggf. auch im Zusammenspiel bewertet, wobei die Erfahrungen der Bundesländer und des Bundes einfließen. Als mittelfristiges Ziel für den NLWKN wird eine Handlungsempfehlung für innovative Wasserstands- und Durchflussmesstechnik zur Optimierung des Pegelbetriebs angestrebt, basierend auf der Leistungsfähigkeit der untersuchten innovativen Techniken und den bislang vorliegenden Erfahrungen. Kostenminimierung und sichere Datenerfassung stehen dabei im Vordergrund der Betrachtung.

Die Zielvereinbarungen zu 2004 sehen für die Betriebsstellen Aurich, Meppen und Süd u.a. vor, mittels Messpraxis Empfehlungen zu den Messverfahren

- *Ultraschallströmungsmessung* (s. Kap. 3.2),
- *Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) – Messung* (s. Kap. 2.3, 3.3 und 3.2) und
- *Fließgeschwindigkeitsmessung mittels Radar* (s. Kap. 3.1) heraus zu arbeiten.

2. Aktivitäten der Betriebsstelle Aurich (chronologisch)

2.1 Radarmessung: Der Radarsensor KALESTO wurde im Herbst 2003 am Ende des Messsteges des Pegels Gandersum in der Messlotrechten der dauerhaft betriebenen magnetisch-induktiven 1-Pkt.-Strömungssonde (MI-Sonde, System NSW) zusätzlich montiert und getestet; dazu wurde die Direktion bereits mit Bericht vom 25.2.2004 informiert.

2.2 Fragebogenaktion: Am 25. Februar wurde von der Betriebsstelle Aurich eine Fragebogenaktion zu eingesetzten Messtechniken bei den nds. Betriebsstellen und gewässerkundlichen Dienststellen der Länder und des Bundes gestartet. 27 ausgefüllte Fragebögen, teils von Ortsdienststellen, teils insgesamt für Bundesländer, wurden übersandt; die sich aus der Auswertung ergebenden Schlussfolgerungen werden im Kap. 3.4 dargestellt.

2.3 AG alternative Messtechnik: Unter Leitung der Direktion trafen sich die ausführenden Betriebsstellen am 12. Mai in Meppen, um die Aktivitäten gegenseitig abzustimmen; dabei wurden an der Lotter Beeke Durchflussmessungen mit dem Messflügel und vergleichsweise mit einem (im Trimaran eingebauten) ADCP (Modell RD-StreamPro ADCP, Lieferung Fa. Bornhöft, Kiel) gemessen. Von der Betriebsstelle Meppen wurde in Erfüllung ihrer Zielvereinbarung dazu ein 3-seitiger Abschlussbericht „Neue Abflussmessverfahren (ADCP) in der Betriebsstelle Meppen“ vorgelegt (Dez. 2004). Zu diesem Themenkomplex werden im nachfolgenden Kap. 3.3 die Erfahrungen der Betriebsstelle Aurich geschildert.

2.4 Ultraschallströmungsmessungen: In der Betriebsstelle Aurich gehören Ultraschallströmungsmessungen seit Jahrzehnten zum Standard an gewässerkundlichen Tidepegeln. Bei hohen Schwebstoffkonzentrationen oder mit ungeeigneten Geräten können aber Fehler auftreten.

Mit dem sonicflow-Gerät der Fa. Ott ist ein neues Gerät auf dem Markt, welches an der Messstelle Ramsloh (Romelse) erprobt wurde. Dies Gerät hat keine verlässlichen Ergebnisse geliefert (Kap. 3.2); zu Lasten der Firma wurde am 22. Juni 2004 parallel ein horizontal messendes Ott-EASY-V (Nortec) Ultraschall-Dopplermesssystem montiert, um die Messsysteme gegenseitig im Betrieb zu vergleichen.

2.5 ADCP-Messungen: Vom 5. bis 7. Oktober wurden 30 vorhandene ADCP-Geräte von Dienststellen aus Deutschland, den Niederlanden, Österreich und Belgien auf dem Rhein einem Vergleichstest unterzogen, um ggf. Gerätefehler über Messfehler erkennen zu können. Wichtiger Untersuchungspunkt war, ob bei Gewässern mit rolliger bzw. schllickiger Sohle (fluid mud) die Messergebnisse durch Koppelung des ADCPs mit einer DGPS-Anlage verbessert werden können.

Eigene Messungen erfolgten am 26.10.2004 am Leysiel (Vergleichsmessung zur instromet-Ultraschallströmungsmessanlage), weitere Messungen am 4.2.2005 an der Ultraschallströmungsmessstelle Leer/Leda und am 7.2.2005 zu einer Messkampagne bezüglich des dreidimensionalen Strömungsverhaltens der Ems im Bereich Jemgum-Terborg (Planung zur Verlegung der Fahrrinne).

3. Ergebnisse

3.1 Fließgeschwindigkeitsmessung mittels Radarsensor

Bereits im Herbst 2003 bot sich die Möglichkeit, Fließgeschwindigkeitsmessungen mittels Radarsensor am GÜN-Hauptpegel Gandersum (instationäre alternierende Tideströmung) zu messen bzw. einen Gerätetest durchzuführen.

3.1.1 Zusammenstellung der technischen Daten:

Gerät: Ott-KALESTO

Vergleichsgerät: Magnetisch-induktive 1-Pkt.-Strömungssonde (MI-Sonde, System NSW)

Messort: Messsteg am GÜN-Tidepegel Gandersum/Ems,
Messrichtung Ebbestrom

Messzeitraum: 23. September 2003 bis 28. Oktober 2003

3.1.2 Angaben zum Messverfahren:

Erste Erfahrungen mit der Messtechnik liegen seit 2002 aus dem Bereich der Messtechnik in Freispiegel-Kanälen (Abwasser-Regenwasser) vor. Hydrometrisch kennzeichnend ist dabei, dass damit lediglich die Oberflächengeschwindigkeit gemessen wird und ein Eindringen in den Wasserkörper bisher nicht möglich ist. Dabei wird die Genauigkeit gegenüber 1-Punkt-Sonden gesteigert, da durch den Radarstrahl ein größerer Ausschnitt der Oberfläche erfasst wird. Allerdings liegt die Oberflächengeschwindigkeit für diesen Einsatzbereich im Allgemeinen recht nah am Querschnittsmittelwert,

so dass bei der Abschätzung dieser Differenz keine sehr großen Fehler auftreten können.

Beim Einsatz dieses Geräts ist neben den anderen spezifischen Eigenschaften zu beachten, dass die Geschwindigkeit und die Wassertiefe nicht exakt im gleichen Querschnitt gemessen werden, so dass ein ebener Wasserspiegel und ein gerades, prismatisches Gerinne unbedingt zu gewährleisten sind. Oft werden diese Geräte am Auslauf eines Rohres in einen Schacht oder ins Freie angeordnet. Hier ist diese Bedingung jedoch meist nicht so leicht einzuhalten.

In die Sensoreinheit sind Radar-Geschwindigkeitssensor und Ultraschall-Pegelmessung integriert. So kann ohne Einbauten im Abwasserstrom und ohne jeglichen Kontakt zum Medium der Durchfluss präzise und zuverlässig gemessen werden.



Die Positionierung erfolgt .B. im Abwasser-
schacht.



Seitens des Geräteherstellers Ott, Kempten, wurde 2002 berichtet, dass in schnell fließenden Gebirgsflüssen Versuche zur Messung der Fließgeschwindigkeit an der Wasseroberfläche mit dem Radarsensor KALESTO erfolgreich durchgeführt wurden.

Dabei wird der Einsatzbereich wie folgt definiert: „Dies gestattet zum Beispiel bei Extremsituationen, wo konventionelle Flügelmessungen nicht mehr durchführbar sind, eine näherungsweise Bestimmung der Abflussmenge“ (Zitat Fa. Ott).

Grundsätzlich bedarf es bei der Einschätzung einer Messstelle, der Auswahl einer geeigneten Messmethode, der Dimensionierung eventueller baulicher Maßnahmen zur Verbesserung der Situation, der korrekten Anordnung der Sensoren, der genauen Kalibrierung und Justierung und der richtigen Ermittlung des Durchflusses aus den Messwerten eines spezialisierten Wissens.

Derzeit muss bezüglich der Fließgeschwindigkeitsmessung in natürlichen Gewässern mittels Radarsensor von einer laufenden Entwicklungs- und Testphase gesprochen werden, der Routineeinsatz an gewässerkundlichen Pegeln steht noch aus. Wie sich aus untenstehender Erläuterung der in Gandersum durchgeführten Messungen ergibt, sind vergleichende Kalibriermessungen mit bewährten Messmethoden (Flügelmessung, Schwimmermessung, MI-Sonde, ggf. ADCP,) bei Einrichtung einer Messstelle sowie zur regelmäßigen Kontrolle der Installation unabdingbar.

3.1.3 Ergebnisse der vergleichenden Fließgeschwindigkeitsmessungen in Gandersum:

Der Radarsensor KALESTO wurde im Herbst 2003 am Ende des Messsteges des Pegels Gandersum in der Messlotrechten der dauerhaft betriebenen magnetisch-induktive 1-Pkt.-Strömungssonde (MI-Sonde, System NSW) montiert. An der Sonde werden die Fließgeschwindigkeiten in ein Meter Wassertiefe gemessen, dies entspricht annähernd der Oberflächengeschwindigkeit (ist aber geringer).

Der Abschlussbericht zu der Messkampagne wurde der NLWK-Direktion bereits am 25.2. 2004 übersandt, damit die Beurteilungen bereits für Haushaltsmittelentscheidungen des Jahres 2004 einbezogen werden konnten. Die wichtigsten Erkenntnisse werden hier wie folgt wiederholt:

1. Verwertbare Messergebnisse gibt es vom KALESTO nur bei Ebbestrom.
2. Bei Flutstrom werden überhöhte Ausreißer registriert.
3. Die registrierte Fließgeschwindigkeit (Ebbestrom) an der Oberfläche ist falsch (zu gering); sie konnte mittels Anpassungsfunktion dem „wahren“ Wert der MI-Sonde angepasst werden (in einfacher Näherung dient dazu der Faktor 1,4)
4. Brauchbare Messergebnisse werden erst ab Fließgeschwindigkeiten $> 0,7$ m/s erreicht; aber unterhalb $v < 1,0$ m/s weichen die Werte nach oben und unten von den „wahren“ Werten der 1-Pkt.-Strömungssonde deutlich ab und müssen als unzuverlässig angesehen werden.

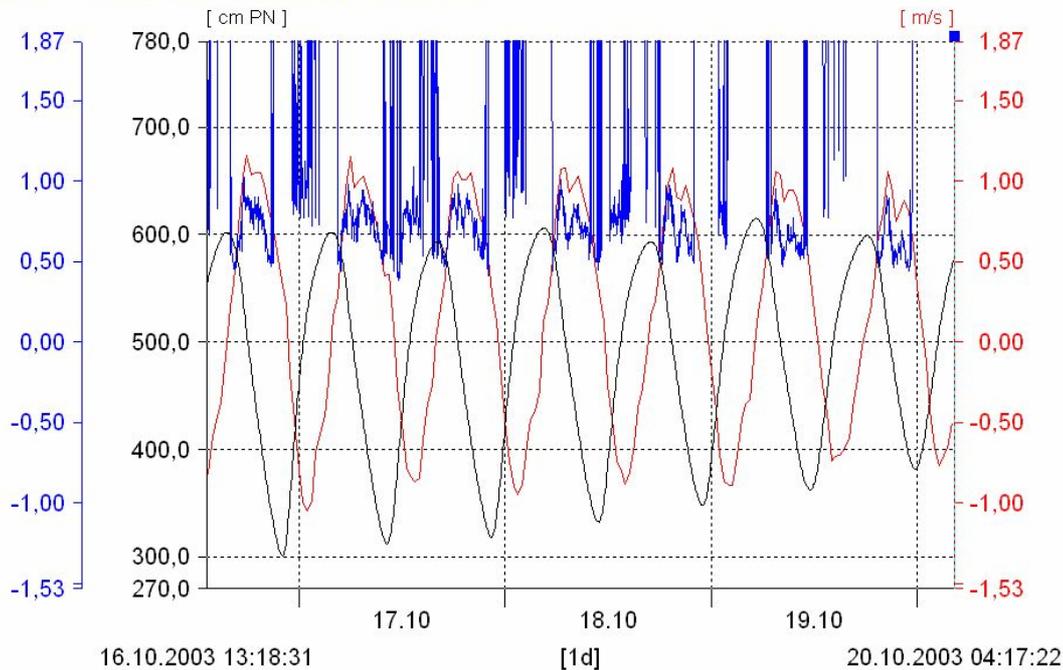
Mit der Radarmesstechnik lassen sich im hiesigen Anwendungsbereich keine Messergebnisse in der für gewässerkundliche Zwecke erforderlichen Messgenauigkeit ermitteln. Dies verdeutlicht beispielhaft nachstehende Grafik.

Die Werte der 1-Pkt.-Strömungssonde sind im Vergleich zum Tidegang plausibel, während die Radarmessungen der Fließgeschwindigkeit falsch sind. Nur in kurzen Ebbestromphasen mit $v > 1$ m/s ergeben sich kurzfristig bessere Übereinstimmungen.

*Gandersum GÜN (UEms-km 31,725)/W Gütestation Radar (5 min.)

*Gandersum GÜN (UEms-km 31,725)/v (30 min.)

*Gandersum GÜN (UEms-km 31,725)/v-Radar x 1,4



Aus praktischen Gründen wird von einem weiteren Betrieb in den hiesigen Tideflüssen abgesehen:

1. Fachlich ist nicht begründbar, warum die bewährten und genauen Messmethoden (Ultraschall-Strömungsmesstechnik, MI-Sonde) durch eine (derzeit) ungenauere Messmethode abgelöst werden soll.
2. Die Installationskosten im Tidegebiet verdoppeln sich wegen der wechselnden Strömungsrichtung (erforderlich sind zwei Radarsensoren)
3. Grundsätzlich kann das Gerät nicht zum Einsatz kommen, weil die Kenterungen der Tide und weitere Tidephasen mit Fließgeschwindigkeiten < 1,0 m/s nicht erfasst werden.
4. Aufwändige Kalibriermessungen über die Tide (13 h) sind erforderlich:
 - a) an der Oberfläche (Flügelmessung, Schwimmermessung)
 - b) bezogen auf den Messquerschnitt (Flügelmessung, ADCP)
5. Die Aufhängung eines Radarsensor über einem repräsentativen Punkt der Gewässeroberfläche ist nicht immer möglich bzw. sinnvoll (Zugänglichkeit) bzw. kostengünstig (gilt genauso für Binnengewässer)

Analog dazu ist auch von einem Einsatz des KALESTO in Binnengewässern abzuraten:

Im GÜN wird kein Pegel enthalten sein, an welchem im Gewässer bei NNQ bis MQ höhere Fließgeschwindigkeiten als $v > 0,7$ bzw. $1,0$ m/s auftreten. Damit ist die Messmethode für den gewässerkundlichen Routinebetrieb und die anschließende Statistik nach PV bzw. LAWA-Richtlinie zum DGJ ungeeignet. Vom Hersteller selbst (vergl. oben) wird der Einsatz derzeit nur für extreme Hochwässer (hohe Fließgeschwindigkeiten), wenn

konventionelle Flügelmessungen nicht mehr durchführbar sind, zur näherungsweise Ermittlung des Abflusses empfohlen.

Im Übrigen kann es möglich sein, dass es wegen der Kalibriermessungen erforderlich bleibt, eine vorhandene Seilkrananlage weiterhin vorzuhalten.

Die Weiterentwicklung des Geräteherstellers zum Wasserstands-Radarpegel KALESTO bezüglich der Strömungsmessung bleibt abzuwarten und wird - auch im Kontakt mit der Firma - weiterhin beobachtet.

3.2 Ultraschallströmungsmessungen / stationäre Horizontal-ADCP

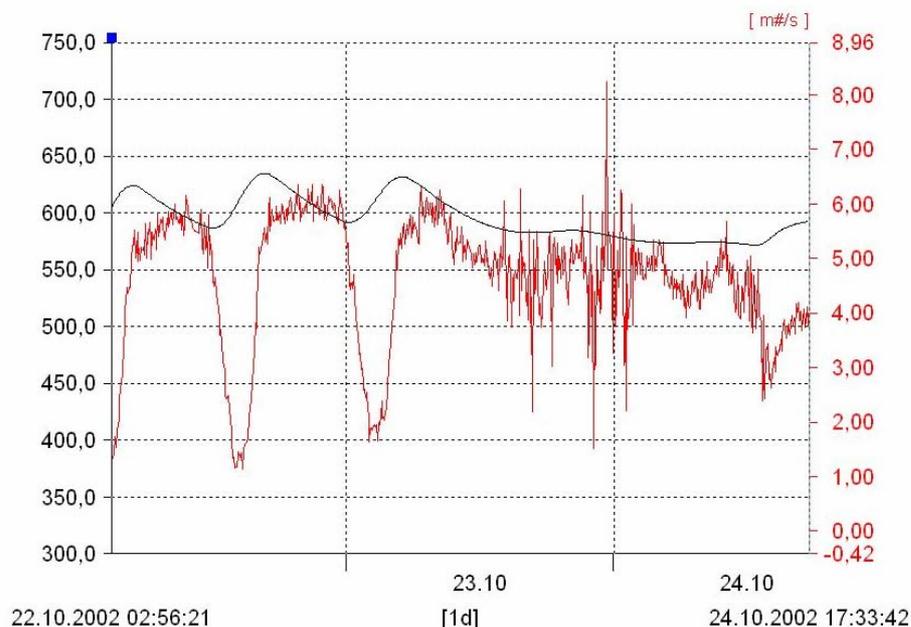
In der Betriebsstelle Aurich gehören Ultraschallströmungsmessungen seit Jahrzehnten zum Standard an gewässerkundlichen Tidepegeln. Eine stetige Betriebsüberwachung und zeitnahe Auswertung ist erforderlich und an allen Anlagen gesichert.

Zu den Erfahrungen wurde in mehreren Veröffentlichungen berichtet, die Durchfluss-Daten der GÜN-Pegel werden im DGJ veröffentlicht.

Bei hohen Schwebstoffkonzentrationen oder mit ungeeigneten Geräten können Fehlmessungen bzw. Fehler auftreten. Im Zuge des neuen hydrologischen Messnetzes für den Betrieb des Emssperrwerkes wurde aus Kostengründen an der Messstelle Ramsloh (Romelse) an der Sagter Ems (Pegelart 3, kein GÜN-Pegel) ein **neu** angebotenes sonicflow-Gerät der Fa. Ott eingebaut (Mai 2002) und betrieben. Leider hat dies keine verlässlichen Ergebnisse geliefert:

*Ramsloh (Romelse) a. d. Sagter Ems/W (5 min.)

*Ramsloh (Romelse) a. d. Sagter Ems/Q mittel (15 min.)



Während bei Flutstrom recht plausible Werte gemessen werden, versagt die Messtechnik bei Ebbestrom, da zu geringe und zusätzlich stark schwankende Werte ermittelt werden, welche aufgrund der hydraulischen Situation des Messquerschnittes als falsch beurteilt werden mussten.

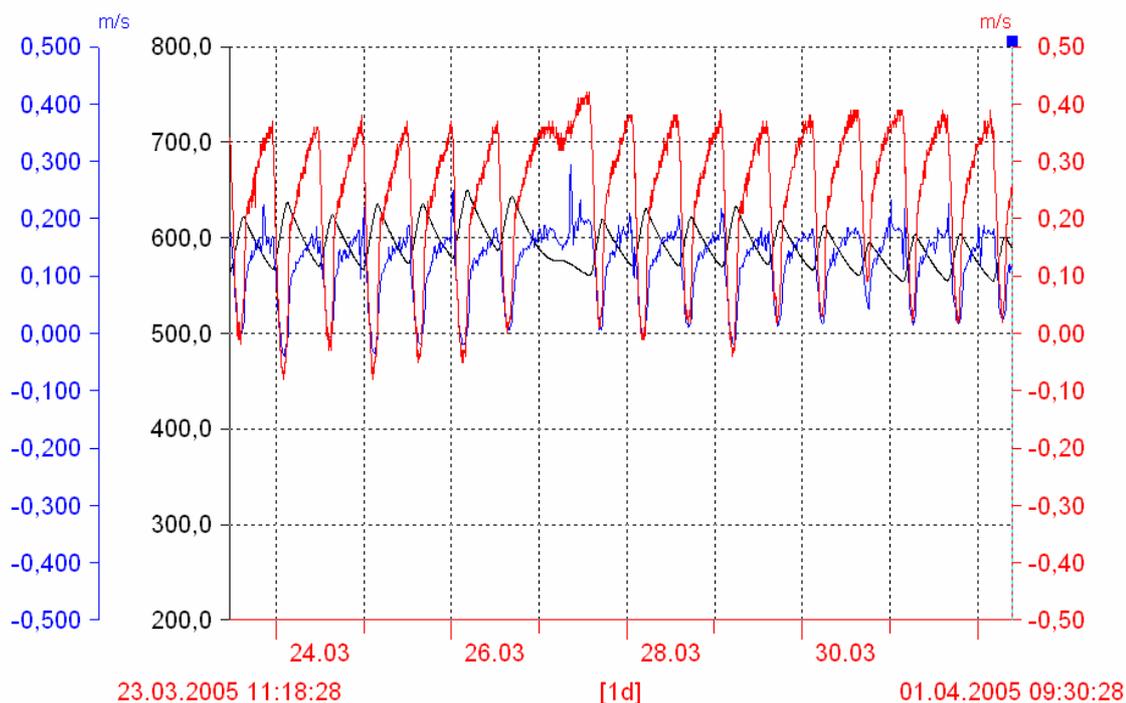
Zu Lasten der Firma wurde am 22. Juni 2004 parallel ein horizontal messendes Ott-EASY-V (Nortec) Ultraschall-Dopplermesssystem (bekannt als Horizontal-ADCP, vergl. zur Messtechnik Kap. 3.3) montiert, um die Messsysteme gegenseitig im Betrieb zu vergleichen. Nach anfänglichen Kalibrierproblemen liefert dieses Messsystem recht genaue Durchflusswerte, wie Vergleichsmessungen mit dem Messflügel gezeigt haben.

Nachstehende Grafik zeigt einen Messzeitraum aus dem März 2005, im dem beide Durchflussmesssysteme ohne Ausfälle parallel gemessen haben. Während der Flut herrscht meist geringe Strömung, teils stromauf, teils stromab, d.h. dass zu dem Zeitpunkt hier praktisch die Flutstromgrenze war. Bei Ebbe weichen die Ultraschallmesswerte deutlich von den ADCP-Werten ab und sind um rd. 50 % erniedrigt.

*Ramsloh (Romelse) a. d. Sagter Ems/W (5 min.)

*Ramsloh (Romelse) a. d. Sagter Ems/Doppler-v -Mittelwerte (5min.)

*Ramsloh (Romelse) a. d. Sagter Ems/v mittel (15 min.)

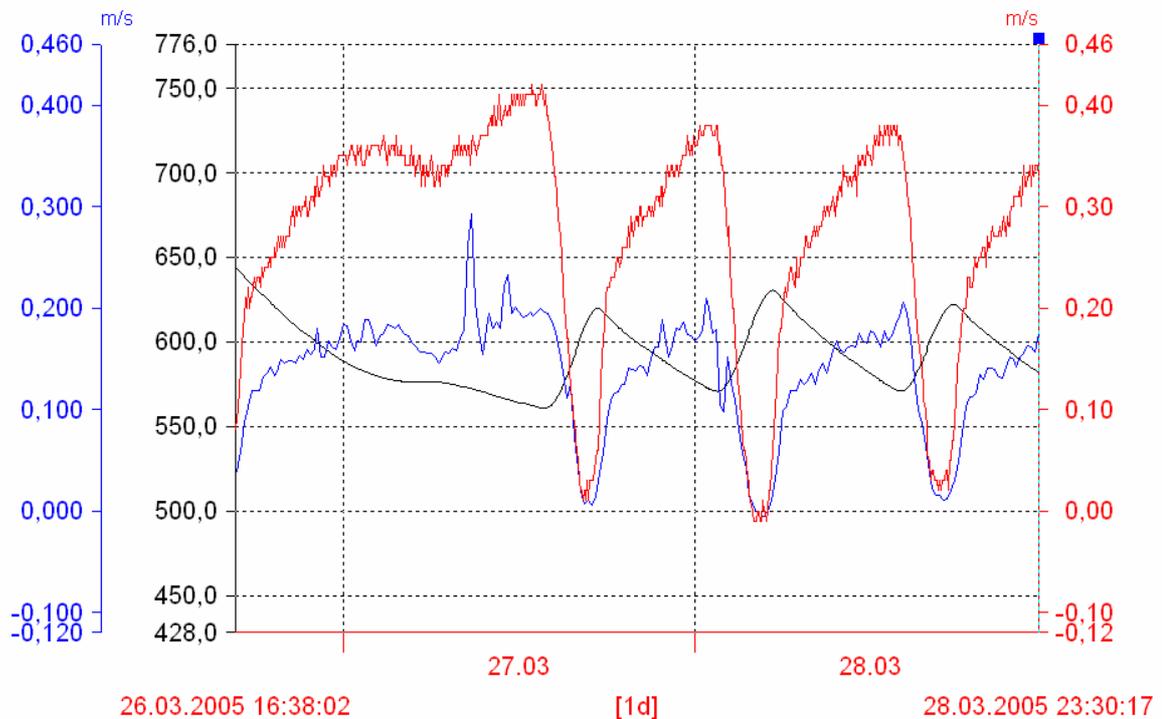


Dies wird in folgender „gezoomter“ Darstellung ebenfalls deutlich:

*Ramsloh (Romelse) a. d. Sagter Ems/W (5 min.)

*Ramsloh (Romelse) a. d. Sagter Ems/Doppler-v -Mittelwerte (5min.)

*Ramsloh (Romelse) a. d. Sagter Ems/v mittel (15 min.)

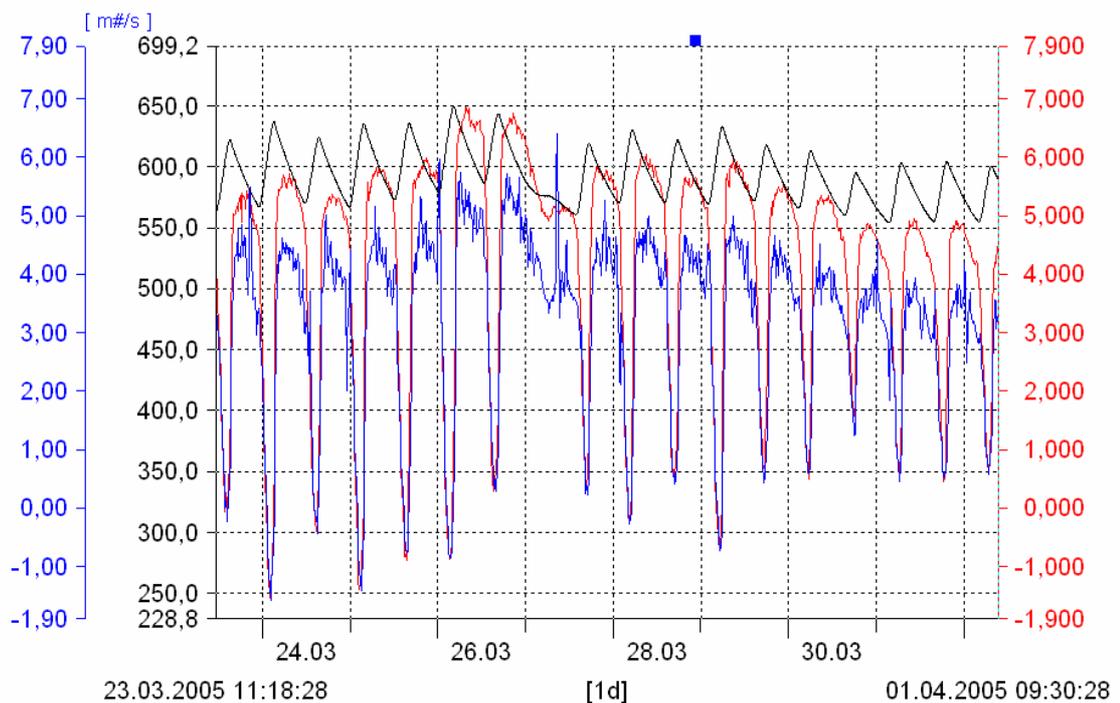


Nachstehend folgen ergänzend die Darstellungen mit den Durchfluss-Werten:

*Ramsloh (Romelse) a. d. Sagter Ems/W (5 min.)

*Ramsloh (Romelse) a. d. Sagter Ems/Doppler-Q-Mittel-15min.

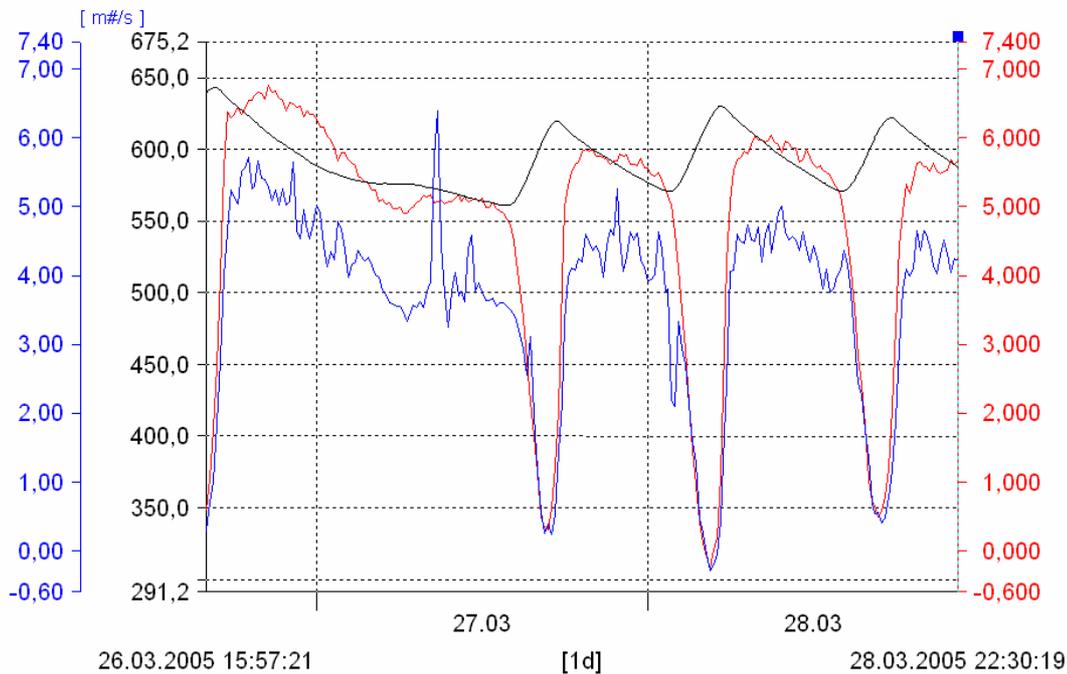
*Ramsloh (Romelse) a. d. Sagter Ems/Q mittel (15 min.)



*Ramsloh (Romelse) a. d. Sagter Ems/W (5 min.)

*Ramsloh (Romelse) a. d. Sagter Ems/Doppler-Q-Mittel-15min.

*Ramsloh (Romelse) a. d. Sagter Ems/Q mittel (15 min.)



Hier an der Flutstromgrenze lassen sich durch die Fließgeschwindigkeitsmessungen mittels Horizontal-ADCP auch die monatlichen Durchflüsse und Abflussspenden ermitteln, ohne dass die aufwändige Ermittlung der Flut- und Ebbevolumina erforderlich wird. Wegen der fast immer seewärts gerichteten Strömung ist die Tagesmittelwertberechnung von Q_0 vertretbar (keine tidebezogene Auswertung auf 12.25 h Tidedauer). Daraus ergeben sich z.B. für den März 2005 nachstehende Tagesabflüsse (siehe Grafik) und als Monatsabfluss $Q = 4,52 \text{ m}^3/\text{s}$, die Abflussspende beträgt $q = 11,6 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$.

Das Horizontal-ADCP hat zudem den Vorteil, dass die Anlagenteile auf einer Gewässerseite montiert werden können und somit keine aufwändig gesicherte Kabelverbindung zum anderen Ufer erforderlich ist.

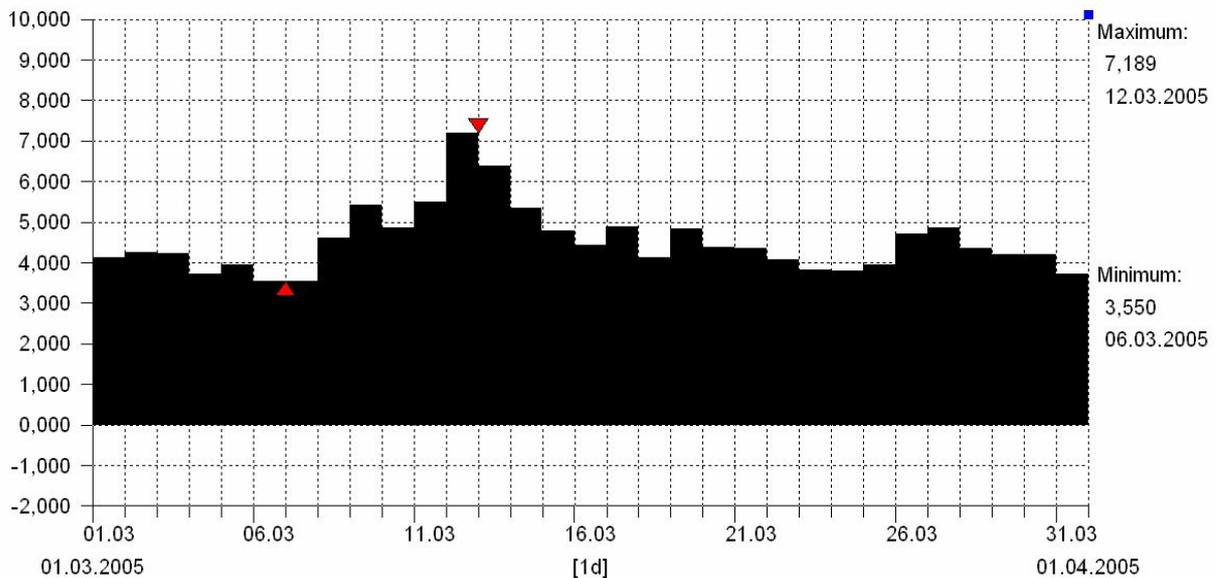
Nach dem vom NLWKN Aurich hier erstmals erfolgten Einsatz eines Horizontal-ADCP kann zusammenfassend empfohlen werden, diese Messtechnik standardmäßig in der Hydrometrie einzusetzen.

Trotz der allgemein sehr guten Erfahrungen mit der Ultraschallströmungsmesstechnik ist von einer Beschaffung des hier beschriebenen Gerätes aufgrund der Fehlmessungen dringend abzuraten; die Geräte der Hersteller „Quantum“, Berlin und „Instromet“, Dordrecht, haben sich dagegen bewährt.

Gebiet: Aktuelle Messstellen
Tagesmittel

Messstelle:
Sensor:

*Ramsloh (Romelse) a. d. Sagter Ems
Doppler-Q-Mittel-15min.



3.3 ADCP-Messungen

3.3.1 Ausgangslage

Vom StAWA Aurich wurde 1996 ein RDI-ADCP 1200 kHz BB beschafft und als „Moving Boat Doppler“ eingesetzt. Während der Messung überquert das Boot als Geräteträger den Fluss beim Messquerschnitt in freier Fahrt. Das im Schiffsboden montierte Gerät sendet Ultraschall in Richtung Gewässersohle und empfängt unmittelbar danach Reflektionen der Schallsignale (Reflektionsquellen sind Schwebstoffe sowie die Gewässersohle). Die Auswertung dieser Echos liefert an jeder Position entlang des Fahrweges Informationen über

- die Strömungsverteilung innerhalb der jeweils gemessenen Wassersäule
- die Tiefe
- die Geschwindigkeit des Bootes über Grund.

Aus diesen Größen wird der Durchfluss in Echtzeit ermittelt. Mittels Software können die Messwerte und Durchflussergebnisse auf den Soll-Messquerschnitt projiziert werden. Das ADCP arbeitet automatisch ohne weitere Zusatzgeräte. Wenn allerdings das Geschiebe oder die schlickige Gewässersohle („fluid mud“) stark in Bewegung ist, werden die Messergebnisse (Fahrwegermittlung über „bottom-track“) verfälscht; durch die zusätzliche Positionsbestimmung mittel DGPS können Korrekturen ermittelt werden.

Vom GLD im NLWKN Aurich wurde das Messboot regelmäßig zur Kalibrierung von Ultraschallströmungsmessanlagen und zu planerischen Vorarbeiten eingesetzt; insbesondere in der Ems konnten aufgrund der schlickigen Sohle keine sicheren Durchflüsse bestimmt werden. Deshalb wurde das Messboot mit DGPS nachgerüstet. Die Erfahrungen - auch anderer Nutzer - zeigten, dass o.g. Vorgehen zwar theoretisch geeignet ist, die Praxis aber an gerätespezifischen Konfigurationen zunächst scheiterte.

Zur Kalibrierung aller Geräte der gewässerkundlichen Dienste in Deutschland und zum anwenderspezifischen Erfahrungsaustausch lädt die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG Koblenz, www.bafg.de) regelmäßig die Messtrupps mit ihrem Geräten zu Vergleichsmessungen an den Rhein in Koblenz ein. Aufgrund der Unsicherheiten im Messbetrieb (Einpassung des DGPS in die ADCP-Software) hat der GLD im NLWKN Aurich am „4. Anwendertreffen zur Qualitätssicherung von Abflussdaten“ vom 5.10. bis 7.10.2004 teilgenommen.

3.3.2 Geräteangebot

Das StAWA (→ NLWKN) Aurich hat bereits 1996 ein RDI-ADCP 1200 kHz BB „der ersten Generation“ beschafft, dies kann in großen Wassertiefen messen, benötigt aber eine Mindestwassertiefe von > 1 m. Einen Überblick über das bisher bekannte Angebot verschiedener Hersteller gibt nachfolgende Tabelle:

lfd. Nr.	Hersteller	Gerät	Frequenz kHz	Einsatztiefe	Geräteträger	Einsatzbereiche, Bemerkungen
1	RD Instruments	1200 kHz BB	1200	1,0 -- 60,0	Messboot	veraltet
2	RD Instruments (USA)	Workhorse Rio-Grande „ZedHed“	1200 600	0,3 – 21,0 1,8 – 75,0	Messboot, Trimaran „Riverboat“ (Bornhöft)	Durchflussmessungen
3	RD Instruments	StreamPro	2000	0,14 – 2,0	Kleiner Trimaran	Durchflussmessungen
4	RD Instruments, RDI-Vertrieb: Bornhöft, Kiel	H-ADCP Channel-Master	1200 600 300	20 m Breite 90 m Breite 300 m Breite	am Ufer installiert	Fließgeschwindigkeiten, auch Durchfluss
5	Ott (Nortec) (D/N)	EASY-V (horiz.ADCP)	2000	12 m Breite	am Ufer installiert	Durchflussmessungen
6	Sontec / YSI (USA)	RiverSurveyor	250 500 1000 1500 3000 5000	5,0 – 180 3,0 – 100 1,2 – 35,0 0,9 – 25,0 0,5 – 6,0 0,3 – 1,5	Messboot	Durchflussmessungen
7	Sontec / YSI	RiverCat System mit Mini-ADCP	1500 3000 5000	0,9 – 25,0 0,5 – 6,0 0,3 – 1,5	Katamaran „RiverCat“, auch mit DGPS und Funk-DFÜ	Durchflussmessungen
8	Nortek (N)	Aquadopp Profiler	600 1000 2000	30 – 50 12 – 25 5 - 12	Positionierung an der Gewässersohle	Vertikale Strömungsprofile
9	Qmetrix (NL)	Qliner, Technologie entspricht Nortec, s. 8.	600 1000 2000	30 – 50 12 – 25 5 - 12	Katamaran-Floß, von Brücken, an SKA oder vom ankernden Schiff	Durchflussmessungen über Geschwindigkeitsmessungen in Messlotrechten

Prospekte und Anwenderberichte liegen diesem Bericht in der Original-Akte (→ NLWKN Aurich, GLD, A 3.2) bei.

Folgende Fotos zeigen Ausführungsbeispiele zur genannten Messtechnik:

Zu 1.: NLWKN-Messboot (1200 kHz BB ADCP) Einsatzvorbereitung



ADCP-Messkopf im Schiffsboden



Kapitän auf Messfahrt



zu 2.: Trimaran mit Workhorse Rio- Grande „ZedHed“

zu 2.: in Seitenmontage an Messboot



3.3.3 Ergebnisse des „4. Anwendertreffen zur Qualitätssicherung von Abflussdaten“

Der vollständige Abschlussbericht ist bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde erhältlich. Die Messungen erfolgten mit 25 Ultraschall-Doppler-Geräten bei Rhein-km 590,5 (Koblenz-Promenade). Als „wahrer“ Referenzwert galt das Ergebnis der Schwimmflügelmessung, durchgeführt vom Messschiff „Walter Türk“, WSA Mainz. Die größten Abweichungen der ADCP-Messungen lagen bei 4 bis 5 % von zwei Messbooten, alle anderen Messtrupps erzielten Übereinstimmungen innerhalb ± 3 %. **Damit haben alle Geräte „genaue“ Messergebnisse gemäß PV erzielt**, wo in Anlage D unter 1.6.3 (2) und 2.6 (3) erwähnt wird, dass es schwierig ist, eine Genauigkeit von ± 5 % zu erzielen. Für die größten Abweichungen von 4 – 5 % der Messkampagne schließt die BfG praktisch Gerätefehler aus und gibt die Empfehlung, die tatsächliche Eintauchtiefe des Messkopfes zu prüfen und dann ggf. in der Auswerte-Software zu korrigieren.

Fazit der BfG: „Da die Messungen immer von Störungen, z.B. durch vorbeifahrende Frachtschiffe, beeinflusst sind, können diese Ergebnisse als sehr zufriedenstellend angesehen werden“

Nun liegt aber ausgerechnet unser NLWKN-Messboot mit den Messergebnissen an der akzeptablen Höchstgrenze für Abweichungen, was anschließend zu Korrekturen in der Konfiguration geführt hat. Die Abweichung wird schon deshalb nicht als gravierend empfunden, da diese z.B. gegenüber dem baugleichen BfG-Boot „M1“ nur + 0,5 % betrug.

Wie unter 3.3.1 erwähnt, werden die Messergebnisse (Fahrwegermittlung über „Bottom Track“) verfälscht, wenn das Geschiebe oder die schlickige Gewässersohle („fluid mud“) stark in Bewegung ist. Zitat der BfG dazu:

„Die Verwendung von GPS statt „Bottom Track“ ist noch im Erprobungsstadium und birgt viele Unsicherheitsquellen, was auch an den unbefriedigenden Ergebnissen beim Vergleichstest zu sehen ist. Vier der Teilnehmer hatten die nötige Ausrüstung, um beim Vergleichstest eine ADCP-Messung mit GPS auszuführen.“

Die Abweichungen vom o.g. Referenzwert lagen zwischen –2 und –21 %, wobei die NLWKN-Ergebnisse je nach Fahrtrichtung „Ost-West“ bzw. „West-Ost“ sowohl die besten als auch die schlechtesten Ergebnisse darstellten. Die Probleme und ihre Ursachen konnten auf dem Anwendertreffen intensiv diskutiert werden, hierzu konnte aber keine befriedigende allgemeingültige Handlungsempfehlungen formuliert werden (insbesondere die spezifischen Geräteeigenschaften verschiedener DGPS-Geräte harmonisieren nicht bzw. unterschiedlich mit der ADCP-Software). Im NLWKN Aurich hat sich anschließend der Kollege A. Engels intensiv um die Problematik gekümmert und konnte zwischenzeitlich auch auf der Ems, der Leda und am Leysiel gute Messergebnisse erzielen (siehe 3.3.4 ff); die Auswertung erfordert aber eine intensive Prüfung und ggf. Anpassung der registrierten Originalwerte.

3.3.4 ADCP-Messungen mit dem WSA Emden auf der Ems

Der NLWKN hat das Wasser- und Schifffahrtsamt Emden bei einer Messkampagne in der Unterems am 7. Februar 2005 durch ADCP-Messungen bei Jemgum unterstützt.

Es sollten auf den Querprofilen UEms-km 21,80, 22,60, 23,35 und 23,80 Querfahrten mit dem NLWKN-Messboot „Tidestrom“ zwecks ADCP-Messung stattfinden. Die Messfahrten wurden auf Profilen nahe den nachstehend aufgeführten Soll-Profilen durchgeführt.

Soll-Profil [UEms-km]	Ist-Profil
21,80	querab Anleger Leer-Nord
22,60	ca. 22,5 - 22,6
23,35	südl. der Dauerstrommesser
23,80	querab Sauteler Siel

Die Koordinaten der Messfahrten sind mithilfe der DGPS-Anlage aufgezeichnet worden; die Strömungen sind sowohl auf „Bottom Track“ (BT) als auch auf DGPS (NAV) bezogen.

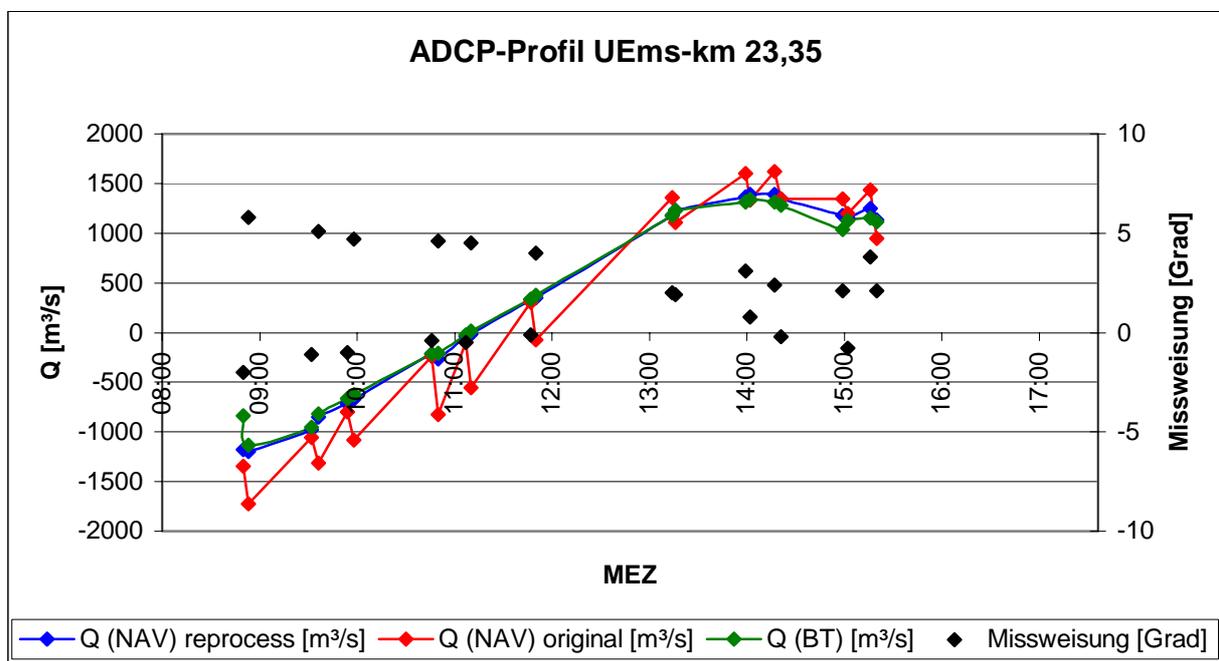
Während der Messung wurde eine Bewegung der Sohle festgestellt, und zwar im Fahrwasser der Profile 21,8 bis 23,35 zur Zeit des größten Ebbstromes.

Ein Maß für die Bewegung der Sohle erhält man über die Differenz zwischen den Durchflüssen aus dem BT- und NAV-Bezug sowie über den Vergleich der mittleren Ge-

schwindigkeiten der unterschiedlichen Messlotrechen („Ensemble“) im Auswertprogramm TIDE.

Die Strömungsdaten wurden korrigiert durch die Berücksichtigung des Salzgehaltes (Messstation Terborg: 0,4 – 1,2 PSU; gew. konst. 0,8 PSU), sowie durch die Kompensation der Missweisung während der Messung. Die Missweisung trat gerätespezifisch am Magnetkompass der TIDESTROM auf und kann durch die über die Satellitenortung erhaltene Kursinformation definiert werden. Die Datenqualität kann durch die Kompensation der Missweisung wesentlich verbessert werden, die Berücksichtigung des geringen Salzgehaltes spielt hierbei eine untergeordnete Rolle.

Die Messergebnisse eines der o.g. Messprofile ergibt folgende beispielhafte Ergebnisdarstellung:



Erläuterung zur vorstehenden Grafik:

1. Je größer Missweisung (rechte Achse: Differenz ADCP-Kompass / DGPS), desto ungenauer ist die auf NAV bezogene Messung (rote Linie)

2. Je stärker die Sohle in Bewegung, desto ungenauer ist die auf BT bezogene Messung (grüne Linie) → siehe: Zeitraum zwischen 13:30 und 15:30 Uhr, hohes Q = hohes v

3. Verbesserung der Datenqualität von Q(NAV),(reprocess, blaue Linie):
Berücksichtigung der Missweisung bei den NAV-Daten; Berücksichtigung des Salzgehaltes (0,8 PSU; untergeordnete Rolle; betrifft NAV und BT)

4. Die Bewegung der Sohle wurde in den BT-Daten nicht bereingt.

Zum Ergebnis: Die auf NAV bezogenen Daten differieren von denen auf BT basierenden Messwerten bei hoher Fließgeschwindigkeit. Die Differenz ist als Maß der Sohlbewegung zu sehen.

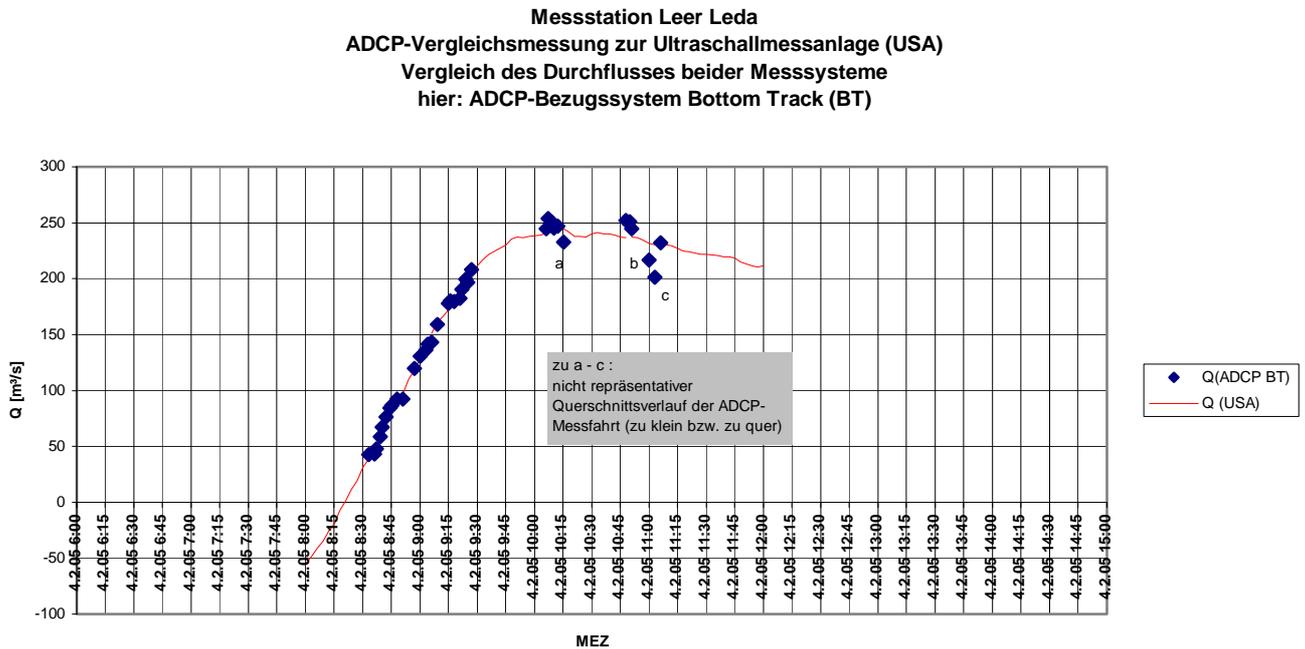
Betriebliche Unsicherheiten zur Nutzung des ADCP-Messbootes konnten aufgrund der unter 3.3.3 beschriebenen Grundsatzuntersuchungen eingegrenzt werden, so dass verlässliche Ergebnisse erzielt werden. Dies wurde seitens des WSA Emden ebenso beurteilt (Zitat 31.3.2005, Az. 4-231,2/UnEm/48):

„Sämtliche Messungen waren dank der außerordentlich guten Bedingungen und der fachgerechten Begleitung sowie der guten Sach- und Revierkunde Ihrer Mitarbeiter ein großer Erfolg. Das ADCP-Datenmaterial gibt sehr guten Aufschluss über die Durchströmung der gemessenen Profile, woraus sich für die Unterhaltungssituation bzw. die Wirkung der derzeitigen Strombauwerke sehr wichtige Erkenntnisse ... ableiten lassen“

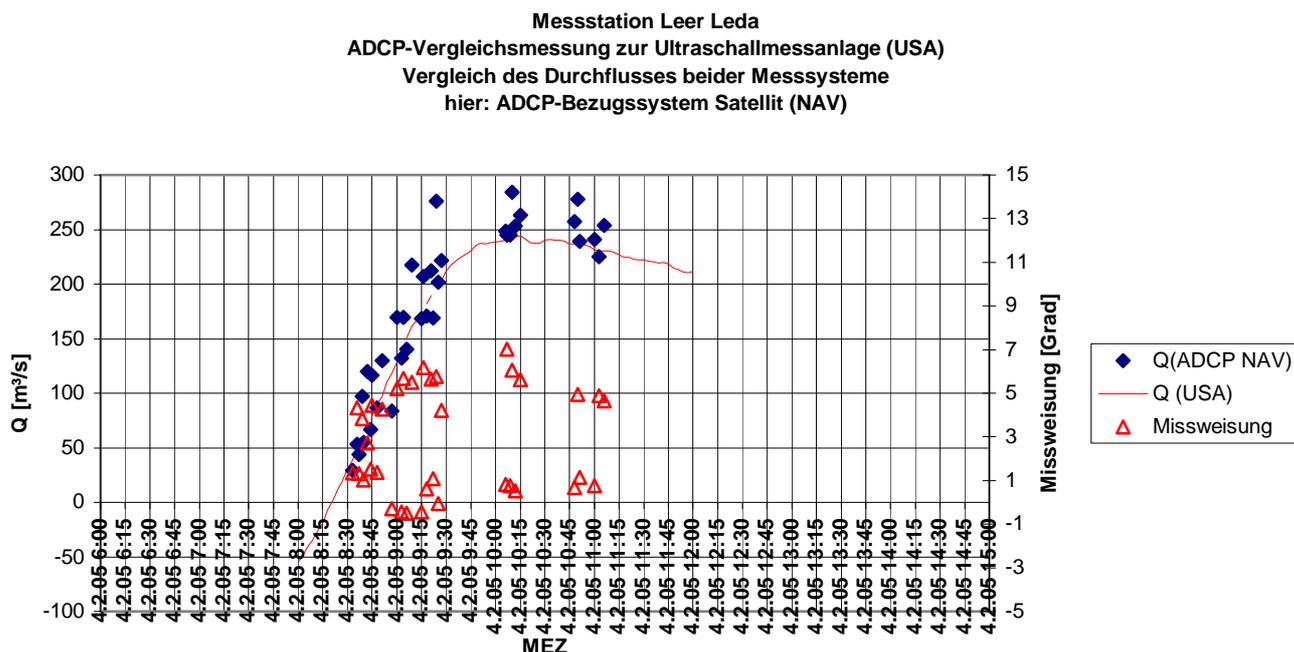
3.3.5 ADCP-Messungen in der Leda

Zur Kalibrierung der Ultraschallströmungsmessanlage Leer/Leda sowie zu weiteren Grundsatzuntersuchungen zwecks Einbindung von DGPS-Daten wurden am 4. Februar 2005 zwischen 7:30 Uhr und 13:00 Uhr Messungen im Durchflussquerschnitt an der Ultraschallströmungsmessanlage durchgeführt.

Die Messergebnisse, basierend auf BT, decken sich sehr gut mit den von der Ultraschallströmungsmessanlage minütlich ermittelten Durchflusswerten:



Als Folge der jeweils unterschiedlichen Kompass-Mißweisungen variieren die Q(NAV)-Daten stärker; die Durchflüsse und Missweisungen (rechte Achse) zeigt folgende Darstellung:



Auf eine Korrektur der Daten (vergl. 3.3.4) konnte hier verzichtet werden, da keine bewegliche Sohle registriert wurde und die Q(BT)-Daten Verwendung finden konnten.

3.3.6 ADCP-Messungen am Leysiel

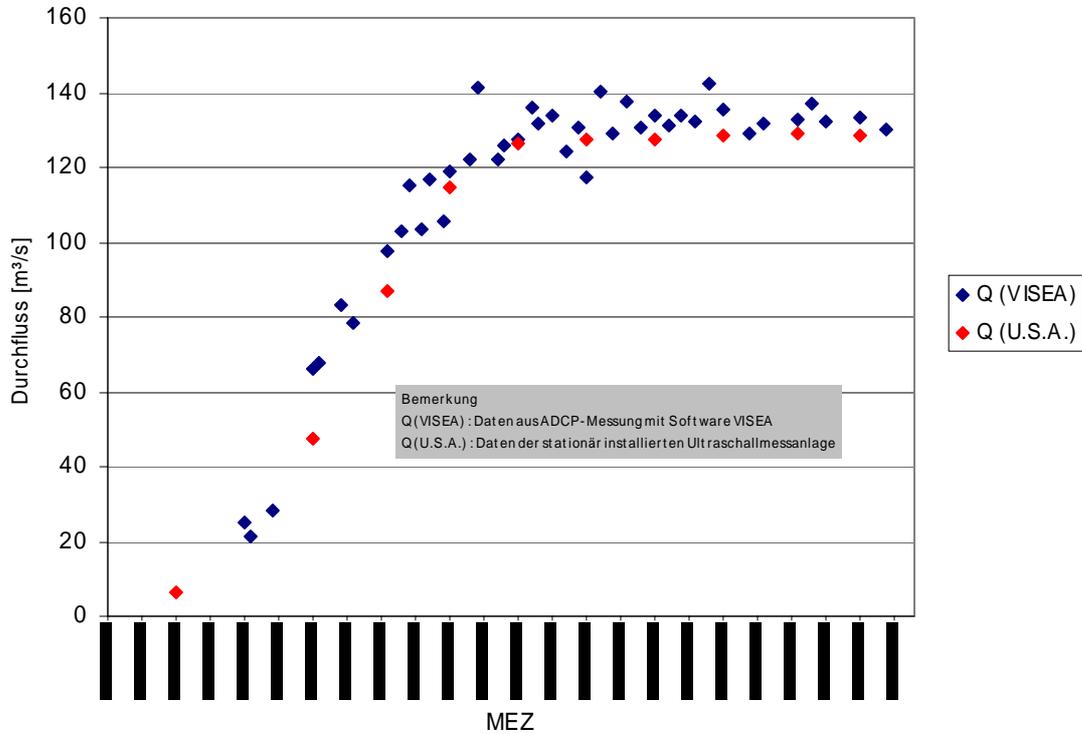
Am Leysiel erfolgten nach dem Gerätetest bei der BfG (siehe 3.3.3) am 26. Oktober 2004 und ab Mai 2005 ADCP-Durchflussmessungen (die Auswertungen der Mai-Messungen konnten zum Berichtstermin 31.5.2005 noch nicht erfolgen).

Die Messungen ergaben - wie untenstehende Grafiken verdeutlichen - eine gute Übereinstimmung, witterungsbedingt mussten die Messungen am 26.10.2004 aber bei Dämmerungsbeginn abgebrochen werden. Zur genauen Ermittlung der Sielzugvolumina und dem Abgleich der Ergebnisse beider Messmethoden sind Messungen erforderlich, die bis zum Sielschluss dauern.

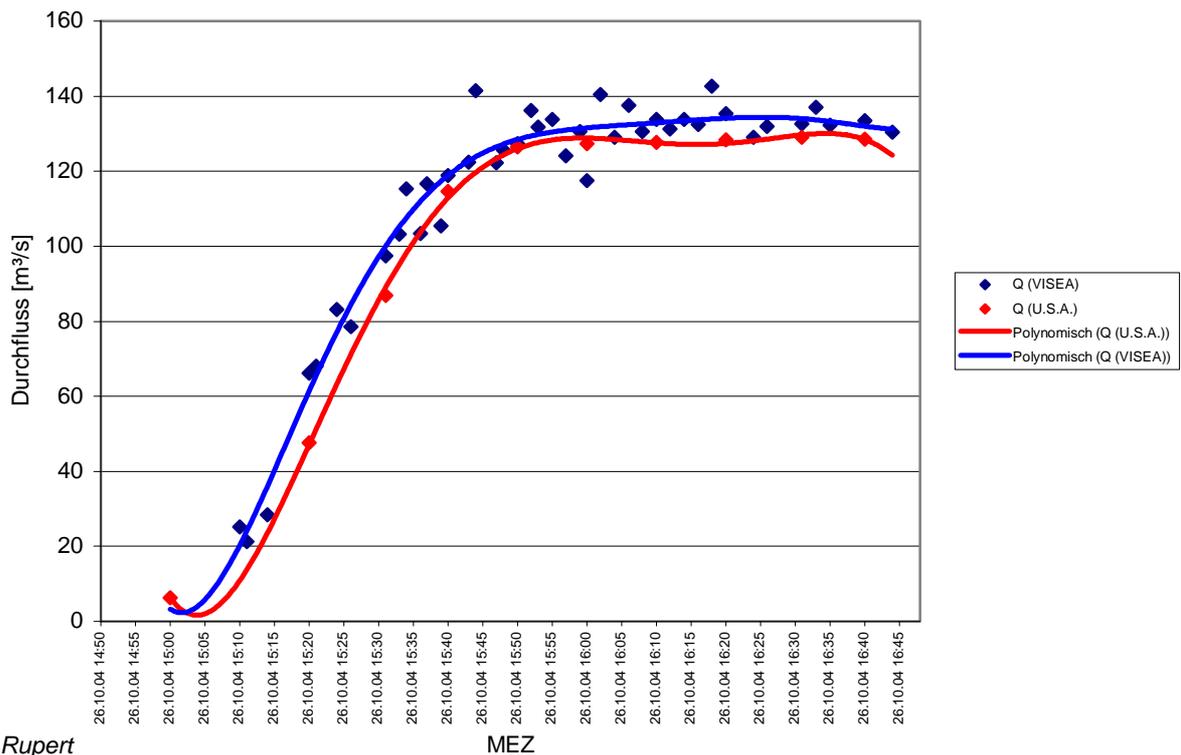
Die hier eingebaute Ultraschallströmungsmessanlage ermittelt jeweils nach einem Messintervall von 10 Minuten den Durchfluss, so dass weniger Stützstellen dargestellt werden können. In der zweiten Darstellung wurde deshalb Ausgleichskurven berechnet.

Die Durchflüsse, die mit dem ADCP gemessen wurden, liegen demnach je nach Vergleichszeitpunkt zwischen 4 bis 8 % höher als die Durchflüsse, die die stationär installierte Messanlage ausgibt. Dieses Ergebnis ist mit den Ergebnissen am Rhein (siehe 3.3.3) stimmig, wo auch geringfügig erhöhte Durchflüsse gemessen wurden. Aufgrund der bisherigen Messergebnisse ergibt sich keine Notwendigkeit zur Nachjustierung der Ultraschallströmungsmessanlage. Letztendlich sind zur Kalibrierung - wie oben erwähnt - die vollständigen Sielzugvolumina zu vergleichen.

Sielzugmessung Leysiel
am 26.10.04



Sielzugmessung Leysiel
am 26.10.04



3.3.7 Erfahrungen der Betriebsstelle Meppen (ZV 23 MEP)

Die Betriebsstelle Meppen hat sich bereits im Juni sowie im Herbst 2004 abschließend zu den Messerfahrungen mit dem ADCP (Zielvereinbarung 23/2004, vergl. Kap. 1) geäußert. Die ADCP-Messungen am Pegel Bokeloh/Hase durch das WSA Meppen sowie an der Lotter Beeke mit dem „StreamPro“ (vergl. 3.3.2, Nr. 3) durch die Firma Bornhöft, Kiel, zeigten Abweichungen zur Durchflussmessung mit dem Messflügel zwischen 0 und 5,5 %; dies bestätigt die erzielbaren Genauigkeiten gemäß 3.3.3. Messungen mit dem „QLiner“ (vergl. 3.3.2, Nr. 9) befriedigten dagegen nicht (Abweichung bis 10 %). Die Eignung des ADCP-Messverfahrens für Messungen bei Hochwasser wird betont.

Zitate:

„Die Abflussmessung mittels Messflügel und Seilkrananlage gehören zwar zu den besten Messverfahren, verursacht aber durch den hohen Wartungs- und Sicherheitsaufwand für die Seilkrananlage rel. hohe laufende Kosten.“ und:

„Auf einen Weiterbetrieb der Seilkrananlagen der Bst Meppen könnte bei Einsatz von ADCP verzichtet werden. Als Ergebnis aller Untersuchungen, Vergleichsmessungen etc. kommt für uns, nur das ADCP als Messverfahren in Betracht.“

Trotz verschiedener Einsatzbereiche bestätigen die Erfahrungen der Betriebsstellen Aurich und Meppen damit grundsätzlich die wirtschaftliche Einsatzmöglichkeit von ADCP-Geräten unter Einhaltung der erforderlichen Messgenauigkeit sowohl in Messquerschnitten an Binnenflüssen, bei geeigneten Gewässern II. Ordnung und im Küstengebiet.

3.4 Fragebogenaktion

Im Zusammenhang mit der Neustrukturierung der niedersächsischen Landesverwaltung stehen bezüglich der Hydrometrie im Rahmen des GLD (§ 52 bis 54 NWG) die Kosten für den hydrologischen Messdienst im Blickpunkt, dies betrifft beispielsweise die monatlichen Durchflussmessungen mittels Messflügel an verkräutungsbeeinflussten Pegeln. Zunehmend ergaben sich insbesondere aus Anlass von Haushaltsmittelanmeldungen bzw. –zuweisungen Fragen an die Messnetzbetreiber nach Rationalisierung und Vereinfachung des Messbetriebes sowie Ausdünnung der Messnetze. Kritisch wird dabei hinterfragt, ob die o.g. manuellen Durchflussmessungen noch dem aktuellen technischen Stand entsprechen.

Bezüglich des Zieles „Minimierung des Messaufwandes“ sind folgende Gesichtspunkte abzuwägen:

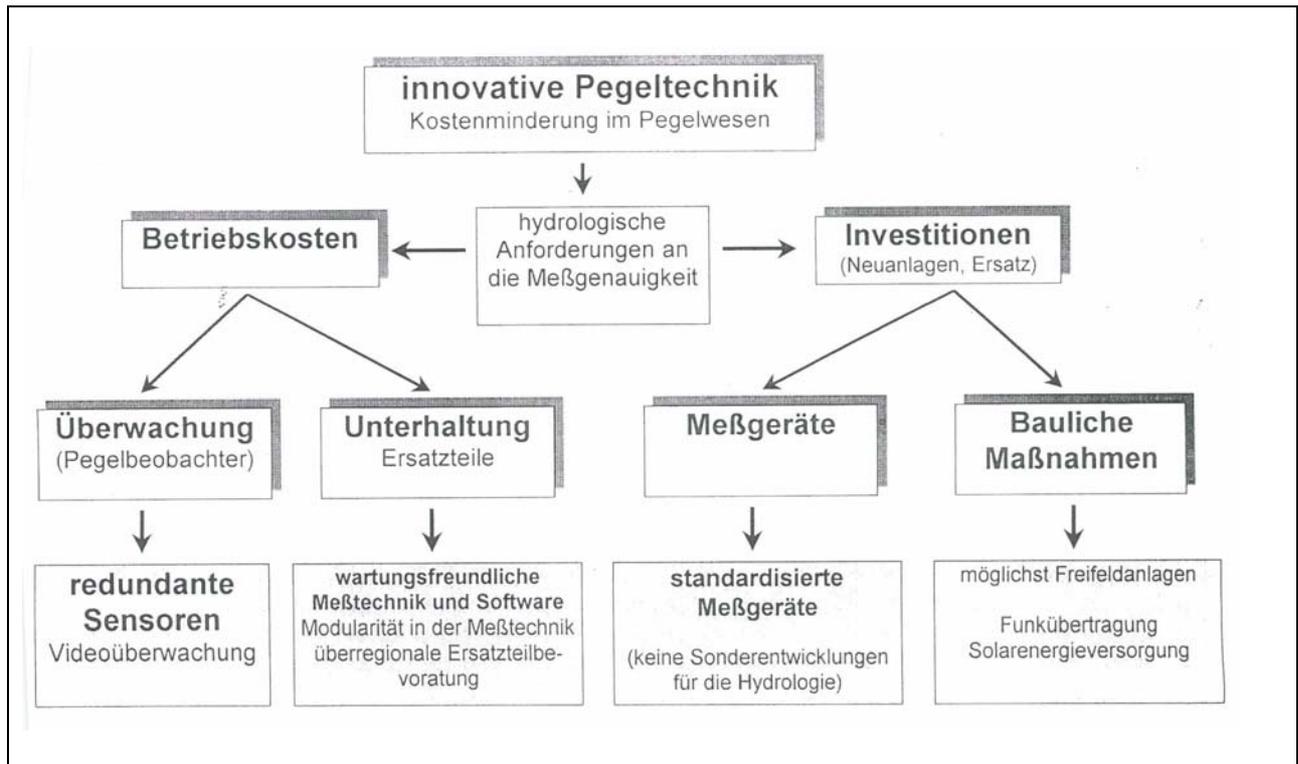
- *preiswertere Technik* (z.B. keine Gebäude, keine Seilkrananlagen,)
- *verbesserte Technik* (z.B. Genauigkeit, Bedienung, Wartung, Automatisierung, ...)

und als „Negativ-Beispiel“:

- *Senkung des Standards* zur Kostensenkung (z.B. Ausdünnung der Messnetze über eine Optimierung hinaus, Senkung der Genauigkeitsanforderungen an die Geräte bzw. Verfahren der Erfassungs- und Aufbereitungskette)

-

Nachstehende Grafik verdeutlicht beispielhaft mögliche Handlungskonzepte:



Sicherlich - und dies wird schwerpunktmäßig im vorliegenden Bericht beschrieben - gibt es verschiedene neue Messverfahren basierend auf neuen Geräteentwicklungen. Für den Messdienst im GÜN gemäß Pegelvorschrift (PV) ist aber zu entscheiden, ob es sich um Geräte im Entwicklungsstadium oder um bereits bewährte Messmethoden im regulären Dauereinsatz handelt.

Dabei war es interessant, ob bundesweit noch einheitlich gemäß PV gehandelt wird, oder ob einzelne gewässerkundliche Dienste bereits verstärkt auf neue innovative Messmethoden setzen. Dies gab Anlass für eine Umfrage bei den Bundesländern und der Bundesanstalt für Gewässerkunde der WSV (BfG Koblenz).

Am 25. Februar 2004 wurde von der Betriebsstelle Aurich eine Fragebogenaktion zu eingesetzten Messtechniken bei den nds. NLWK-Betriebsstellen und gewässerkundlichen Dienststellen der Länder und des Bundes gestartet. Der Fragebogen

„Durchflussmessungen,
hier: angewandte Messverfahren an gewässerkundlichen Hauptpegeln“

liegt als Anlage 1 bei. 27 ausgefüllte Fragebögen, teils von Ortsdienststellen, teils insgesamt für Bundesländer, wurden übersandt. Das Umfrageergebnis ist aus der beigefügten Anlage 2 ersichtlich, daraus ergeben sich folgende Schlussfolgerungen (Angaben zu den Bundesländern mit den offiziellen Kurzformen BB, BW, ...usw.):

1. Überwiegend wird in allen Ländern (so auch in NI), die Flügelmessung eingesetzt.
2. In BW, BY, HE, MV, SH und SN werden an vielen Messstellen andere Methoden nach PV, Anl. D (ohne Einbeziehung des ADCP) eingesetzt.
3. Das ADCP-Gerät wird in erheblichem Ausmaß in der WSV und in BW, HE, NW und SN eingesetzt.

D. Rupert

**Niedersächsischer Landesbetrieb
für Wasserwirtschaft und Küstenschutz**

Aurich, den 25.2.2004

FAX: 04941-176445; e-mail: dietrich.rupert@nlwk-aur.niedersachsen.de

Durchflussmessungen.**hier:** angewandte Messverfahren **an gewässerkundlichen Hauptpegeln**

Bearbeiter: Dienststelle: Ort:

gültig für Bundesland: (oder: Amtsbezirk:)

*Anfrage soll einen generellen Überblick verschaffen, ggf. Anzahl bitte **schätzen/runden!***

Frage:	Nein	Ja	Wenn ja: Anzahl der Messorte/Pegel
Werden Messungen mit dem Messflügel durchgeführt?			
wenn ja: mit dem Stangenflügel?			
mit dem Schwimmflügel?:			
mit Brückenausleger?			
vom Messsteg?			
mit Seilkrananlage?			
vom Messschiff?			
Werden Messungen mit stationären Ultraschallanlagen durchgeführt?			
wenn ja: mit Einebenenanlagen?			
mit Mehrebenenanlagen			
Werden Messungen mit ADCP durchgeführt?			
wenn ja: zur Kalibrierung von Ultraschallanlagen?			
routinemäßig statt Flügelmessungen?			
vom Messschiff/-boot?			
vom Messfloß?			
vom Messfloß mittels Seilkrananlage?			
Ist zukünftig geplant, Seilkrananlagen abzubauen und andere Messverf. anzuwenden (Ultrasch., ADCP)?			
Werden Messungen mit Messgefäßen durchgeführt?			
Werden Messungen mit Schwimmern durchgeführt?			
Werden Messungen mit Markierungsstoffen durchgef.?			
Finden andere, nicht genannte Verfahren Anwendung?			
Wenn ja, welche?:	X	X	
	X	X	
	X	X	
	X	X	
zur Wasserstandsmessung:			
Werden Druckmessdosen eingesetzt?			
Werden Ultraschallpegel eingesetzt?			
Werden Echolotpegel eingesetzt?			
Werden Radarpegel eingesetzt?			
Wurden redundante Systeme einschl. DFÜ verwirklicht?			
wenn ja: wurden Schreibpegel schon stillgelegt?			
ist geplant, Schreibpegel stillzulegen?			
Werden redundante Systeme einschl. DFÜ verwirklicht?			
Weitere Geräte:			
Bemerkungen:			

Betrieb gewässerkundlicher Pegel in Deutschland:

Auswertung ausgefüllter Fragebögen:

		Durchflussmessung:		alternative Pegeltechnik:							
				Zahlenangaben = Pegelanzahl							
		nur	überwiegend								
		Land (WSV)	Flügelmessung	Flügelmessung	andere, ggf. mit Anzahl:	Druckmessung	Ultraschall	Echolot	Radar	redundante Msg	ohne SP ?
zentraler gewässerkundlicher Dienst											
WSD NW	WSV	keine!		ADCP, gel. Schwimmer, RCM (*)	ja	ja		oft	oft	oft	
P	BB		222	Ultrasch. 5, MID 2	200				ja	ja	
LfU KA	BW		120	Ultrasch. 30, ADCP 60	20			35	60	0, gepl. 300!	
LfW M	BY		500	Ultrasch. 4, ADCP,	30			10	110, gepl. 70	40, gepl. 200	
noch LfW M	BY			Messgef. 35, Markierungsst. 24							
Hlug WI	HE		140	Ultrasch. 15, ADCP 10 statt SKA	70	1		1	70, gepl. 70	5, gepl. 20	
LUNG GÜ	MV		100	geeichte Wehre 10	ja	ja			ja	ja	
NLWKN	NI		215	Ultrasch 7, ADCP, ggf. MID	28	1	1	9	41	17	
LUA D	NW		290	Ultrasch. 8, ADCP 20, Messgef. 5, ggf. MID	33			1	12, gepl. 75	gepl. 17	
LfW MZ	RP		150	Ultrasch. 6, ADCP gepl., Messgef. 1	20			10	8, gepl. 34	ja	
LNU KI	SH		150	Ultrasch. 20, ADCP gepl., Messgef. 3	ja				40	nein	
UBG C	SN		110	Ultrasch., ADCP 14, Messgef. 10	4	gepl.		gepl.	2, gepl. 34	unverzichtbar !	
noch UBG C	SN			Markierungsst. 20, MID							
UBG DD	SN		100	Messgef. 2, Schwimmer bei HW	2			2	gepl. 40	nein	
UBG L	SN		43	ADCP 5, gepl. Ultrasch. und Hori-ADCP				1	1, gepl. 13		

(*) : instationäre Tidemessungen!, keine Durchfluss- bzw. Abflussmessung!

		nur	überwiegend								
		Land (WSV)	Flügelmessung	Flügelmessung	andere, ggf. mit Anzahl:	Druckmessung	Ultraschall	Echolot	Radar	redundante Msg	ohne SP ?
Ortsbehörden		Summe:	178	133		28	1	1	10	41	18
AUR	NI			3	Ultrasch 4, ADCP 2, Hori-ADCP im Test	6			5	15	3
BS	NI		32					1		div.	2, gepl. 10
CLP	NI		25			14				2	nein
GÖ	NI		34		Ultrasch 1 (kein GÜN)	3	1				nein
HI	NI			22	Ultrasch 1	1			3	8	7
MEP	NI		28		ADCP geplant ab 2005, statt SKA						nein
LG	NI		17							6	6, gepl. 6
SUL	NI			12	Ultrasch 1, ggf. MID	3				1, gepl. 5	nein
STD	NI		18		ggf. MID	1				1, gepl. 1	nein
VER	NI		24		ADCP 1 gepl., statt SKA; ggf. MID			1		1, gepl. 4	
G	TH			96	Messgef. 2, bei HW Schwimmer						nein
DU	WSV				nur ADCP				1		nein

Durchflussmessung:

Ultraschallströmungsmessverfahren und neuerdings auch ADCP sind als bewährte Verfahren in der Hydrometrie einzuordnen.

rot hervorgehoben ist, wenn mit wesentlichem Anteil andere Messverfahren als Flügelmessungen zum Einsatz kommen, oder wenn neue Verfahren getestet werden.

alternative Pegeltechnik:

Wasserstandsmessung über Druckmessung ist (meist als Redundanz) weit verbreitet. Radarpegel werden zunehmend eingesetzt und haben sich bewährt.

blau hervorgehoben ist, wo deutlich erkennbar ist, dass "der Stellenwert des Schreibpegels sinkt".

Nl-intern ist zu ergänzen:

4. Vom NLWK wird zu 97 % bei 221 genannten gewässerkundlichen Pegeln die Flügelmessung ausgeführt.
5. An gewässerkundlichen Hauptpegeln der NLWK-Betriebsstellen wurden 2004 von drei Betriebsstellen 6 Ultraschallströmungsmessgeräte eingesetzt, davon 4 Stück (entspr. 57 % der dortigen Q-Pegel) von der Bst. Aurich.
6. Die Bst. Meppen beabsichtigt ab 2005, ADCP-Geräte an Pegeln einzusetzen, die bisher per Flügel/SKA gemessen wurden.
7. Die Betriebsstelle Aurich führt mit dem ADCP Vergleichsmessungen an den genannten Ultraschallströmungsmessanlagen durch sowie Strömungsmessungen am Emsperrwerk und im Rahmen von Vorarbeiten für wasserbauliche/wasserwirtschaftliche Vorhaben.
8. Außerhalb des GÜN wird von der Bst. Aurich ein Horizontal-ADCP mit gutem Erfolg betrieben (s. Kap. 3.2); die Bst. Verden plant den Einsatz.
9. Bei starker Verkrautung oder geringen Fließgeschwindigkeiten wird von mehreren Betriebsstellen statt mit dem Messflügel mit einer MID-Sonde gemessen (Messprinzip: magnetisch-induktiv).

Über den Routinemessbetrieb mittels Flügelmessung hinaus fallen besonders die Messnetzbetreiber in BW (ADCP, Ultrasch.), NW (ADCP) und SH (Ultrasch.) mit neuerer Messtechnik auf, im Bereich der WSD NW sind Flügelmessungen vollständig entfallen. BY zeichnet sich durch einen hierarchisch geordneten gewässerkundlichen Dienst aus, wo Einsparungen und Änderungen im Messbetrieb sorgfältig vom Landesamt vorbereitet werden und über die Wasserwirtschaftsämter umgesetzt werden.

Ergänzend werden durch die Umfrage (rechte Seite der Tabelle) zur **Pegeltechnik** folgende Erkenntnisse gewonnen:

1. Standart nach PV ist nach wie vor der Schreibpegel (SP).
2. Die Druckmessung hat teils „ihren schlechten Ruf“ gebessert und wird in unterschiedlicher Intensität von den Messstellenbetreibern mit gutem Erfolg eingesetzt.
3. Radarpegel werden zunehmend eingesetzt und haben sich bewährt.
4. Überwiegend werden alternative Messwertgeber (haupts. Drucksonde und Radar) als redundante Systeme meist zum Zwecke der DFÜ eingesetzt.
5. Teils wird inzwischen auf Schreibpegelbetrieb verzichtet, nur ein Messnetzbetreiber hat den SP ausdrücklich als „unverzichtbar“ beurteilt.

Relativ neu ist folgende Entwicklung: Bei einigen Messnetzbetreibern wird die Kontrolle der Pegelanlage einschl. der Lattenpegelablesung mittels Kamerafernüberwachung getestet oder geplant.

Es gibt Messstellen, an denen aufgrund der Örtlichkeit und hydraulischen Situation nur „Sonderlösungen“, wie sie auch in der PV beschrieben werden, Anwendung finden können; aber **allgemein kann** aufgrund der abgefragten Erfahrungen zu den Techniken **folgendes geschlossen werden:**

1. **Zur Wasserstandsmessung wird sich der Radarpegel weiter durchsetzen.**
2. **Der „Stellenwert des Schreibpegels sinkt“. Die PV wird diesbezüglich immer häufiger „umgangen“, so dass eine (kontinuierliche) Überarbeitung hinsichtlich neuerer Messmethoden erforderlich ist.**
3. **Für einzelne Durchflussmessungen an gewässerkundlichen Pegeln insbesondere bei Verkrautungsgefährdung oder bei Hochwasser sowie im Tidegebiet wird das ADCP-Gerät noch deutlich weiter an Bedeutung gewinnen.**

4. In kleinen und flachen Gewässer wird der Messflügel (als Stangenflügel) bzw. die MID-Sonde auch zukünftig Anwendung finden.
5. Als festinstalliertes automatisch messendes Durchflussmessgerät hat sich das Ultraschallströmungsmessgerät seit langem bewährt und wird weitere Verbreitung finden.
6. Horizontal montierte ADCP werden seit wenigen Jahren erprobt und werden seit 2004 gezielt durch die Hersteller auf den Markt gebracht. Die guten Messergebnisse im In- und Ausland mit dem Horizontal-ADCP lassen eine starke Zunahme dieser Geräte erwarten, da die Beschaffung und Installation besonders wirtschaftlich erscheint.
7. Ein Routineeinsatz des Radarmessverfahrens zur Fließgeschwindigkeits- und Durchflussmessung ist gemäß Kap. 3.1 kurzfristig nicht zu erwarten.

Die gewässerkundlichen Dienststellen in NI haben ihren Messdienst - den hiesigen regional erforderlichen Bedingungen entsprechend – organisiert, dabei sind Auffälligkeiten („Rückständigkeiten“) gegenüber anderen Bundesländern nicht aufgefallen. Eine weitere Automatisierung der Messnetze ist parallel zur rasanten technischen Entwicklung zu erwarten, wobei aber ein hohes Investitionsvolumen erforderlich ist. Personaleinsparungen bzw. ein optimierter Personaleinsatz wird die Wirtschaftlichkeit des GLD erhöhen; wesentlich dabei ist, dass qualitativ hochwertige Messtechnik zum Einsatz kommt, so dass **der heute noch oft erforderliche Betreuungsaufwand vor Ort zukünftig deutlich gesenkt werden kann.**

Ein fachlicher Erfahrungsaustausch auch über Ländergrenzen hinweg ist diesbezüglich in bewährter Form erforderlich. Einsparmaßnahmen der LAWA, die derzeit die Stilllegung der entsprechenden Arbeitsausschüsse zur Folge haben, sind kontraproduktiv. Wenig hilfreich sind dabei auch die bürokratischen und damit die Umsetzung verzögernden Handlungsweisen innerhalb der LAWA: Die PV-Anlage B, die sich mit dem Pegelbetrieb beschäftigt, wurde entsprechend o.g. Kriterien für einen rationellen Messbetrieb in den Jahren 2001 bis Mitte 2003 überarbeitet, die LAWA hat dem zugestimmt; nach nun rd. 2 Jahren muss noch immer auf die Drucklegung und Veröffentlichung gewartet werden. Den Unterzeichnenden, welcher seinerzeit federführend die Druckvorlage des LAWA-UA „Pegel“ bearbeitet hat, kann der Sachstand keineswegs befriedigen.

4. Zusammenfassung und Empfehlungen

Die Technik zum Messen und Registrieren von Wasserständen und Durchflüssen wird ständig weiter entwickelt. Zusätzlich zur Verbesserung des technischen Standards ist häufig auch die Verringerung des Arbeitsaufwandes für den Pegelbetreiber das Ziel.

Zusammenfassend hatten die Untersuchungen im Jahr 2004 folgende Ergebnisse:

Fließgeschwindigkeitsmessungen mit Radar (3.1):

Mit der Radarmesstechnik lassen sich derzeit keine Messergebnisse in der an GÜN-Pegeln erforderlichen Messgenauigkeit ermitteln. Grundsätzlich kann das Gerät nicht zum Einsatz kommen, weil Fließgeschwindigkeiten $< 1,0$ m/s nicht erfasst werden. Die Messmethode ist für den gewässerkundlichen Routinebetrieb und die anschließende Statistik nach PV bzw. LAWA-Richtlinie zum DGJ ungeeignet. Vom Hersteller selbst wird der Einsatz derzeit nur für extreme Hochwässer (hohe Fließgeschwindigkeiten), wenn konventionelle Flügelmessungen nicht mehr durchführbar sind, zur näherungsweise Ermittlung des Abflusses empfohlen.

Ultraschallströmungsmessungen (3.2):

In der Betriebsstelle Aurich gehören Ultraschallströmungsmessungen seit Jahrzehnten zum Standard an gewässerkundlichen Tidepegeln. Es wurde ein **neu** angebotenes sonicflow-Gerät der Fa. Ott getestet, dieses hat dies keine verlässlichen Ergebnisse geliefert. Trotz der allgemein sehr guten Erfahrungen mit der Ultraschallströmungsmess-technik ist von einer Beschaffung des o.g. Gerätes aufgrund der Fehlmessungen dringend abzuraten; die Geräte der Hersteller „Quantum“, Berlin und „Instromet“, Dordrecht, haben sich dagegen bewährt.

stationäre Horizontal-ADCP (3.2):

Ergänzend wurde parallel ein horizontal messendes Ott-EASY-V (Nortec) Ultraschall-Dopplermesssystem (bekannt als Horizontal-ADCP) getestet, um die Messsysteme gegenseitig im Betrieb zu vergleichen. Das Horizontal-ADCP hat den Vorteil, dass die Anlagenteile auf einer Gewässerseite montiert werden können und somit keine aufwändig gesicherte Kabelverbindung zum anderen Ufer erforderlich ist. Nach den ausführlichen Testmessungen kann empfohlen werden, diese Messtechnik standardmäßig in der Hydrometrie einzusetzen.

Acoustic-Doppler-Profiler (ADCP) (3.3):

Alle getesteten ADCP-Geräte haben „genaue“ Messergebnisse gemäß PV erzielt, wo in Anlage D unter 1.6.3 (2) und 2.6 (3) erwähnt wird, dass es schwierig ist, eine Genauigkeit von ± 5 % zu erzielen. Gerätefehler traten nicht auf, die BfG gibt die Empfehlung, immer die tatsächliche Eintauchtiefe des Messkopfes zu prüfen und dann ggf. in der Auswerte-Software zu korrigieren. Teils werden die Messergebnisse (Fahrwegermittlung über „Bottom Track“) verfälscht, wenn das Geschiebe oder die schlickige Gewässersohle („fluid mud“) stark in Bewegung ist. Die Verwendung von GPS statt „Bottom Track“ ist noch im Erprobungsstadium und birgt viele Unsicherheitsquellen. Im NLWKN Aurich hat sich ein Kollege intensiv um die Problematik gekümmert und konnte zwischenzeitlich auch auf der Ems, der Leda und am Leysiel gute Messergebnisse erzielen. Auch die NLWKN-Betriebsstelle Meppen hat sich abschließend zu den Messerfahrungen mit dem ADCP geäußert. Als wirtschaftliche Alternative zur Flügelmessung an Seilkrananlagen kommt demnach nur das ADCP-Messverfahren in Betracht. Auf einen Weiterbetrieb der

Seilkrananlagen der Bst. Meppen könnte bei Einsatz von ADCP verzichtet werden. Trotz verschiedener Einsatzbereiche bestätigen die Erfahrungen der Betriebsstellen Aurich und Meppen damit grundsätzlich die wirtschaftliche Einsatzmöglichkeit von ADCP-Geräten unter Einhaltung der erforderlichen Messgenauigkeit sowohl in Messquerschnitten an Binnenflüssen, bei geeigneten Gewässern II. Ordnung und im Küstengebiet.

Eine stichprobenartig durchgeführte bundesweite Umfrage zum Messbetrieb ergab folgenden Überblick (3.4):

(Angaben zu den Bundesländern mit den offiziellen Kurzformen BB, BW, ...usw.):

Überwiegend wird in allen Ländern (so auch in NI) noch die Flügelmessung eingesetzt. Das ADCP-Gerät findet in erheblichem Ausmaß in der WSV und in BW, HE, NW und SN Verwendung.

An gewässerkundlichen Hauptpegeln der NLWK-Betriebsstellen wurden 2004 von drei Betriebsstellen 6 Ultraschallströmungsmessgeräte eingesetzt.

Die Bst. Meppen beabsichtigt ab 2005, ADCP-Geräte an Pegeln einzusetzen, die bisher per Flügel/SKA gemessen wurden.

Die Betriebsstelle Aurich führt mit dem ADCP Vergleichsmessungen an Ultraschallströmungsmessanlagen durch sowie Strömungsmessungen am Emssperrwerk und bei Planungsvorarbeiten.

Außerhalb des GÜN wird von der Bst. Aurich ein Horizontal-ADCP mit gutem Erfolg betrieben (s. Kap. 3.2); die Bst. Verden plant den Einsatz.

Bei starker Verkräutung oder geringen Fließgeschwindigkeiten wird von mehreren Betriebsstellen statt mit dem Messflügel mit einer MID-Sonde gemessen (Meßprinzip: magnetisch-induktiv).

Ergänzend werden durch die Umfrage zur **Pegeltechnik** folgende Erkenntnisse gewonnen:

Standart nach PV ist nach wie vor der Schreibpegel (SP).

Überwiegend werden alternative Messwertgeber (hauptsächlich Drucksonde und Radar) als redundante Systeme meist zum Zwecke der DFÜ eingesetzt.

Fazit:

Allgemein kann aufgrund der Messungen und der abgefragten Erfahrungen zu den Techniken folgendes geschlossen werden:

Zur Wasserstandsmessung wird sich der Radarpegel weiter durchsetzen.

Für Durchflussmessungen an gewässerkundlichen Pegeln insbesondere bei Verkräutungsgefährdung oder bei Hochwasser sowie im Tidegebiet wird das ADCP-Gerät noch deutlich weiter an Bedeutung gewinnen.

In kleinen und flachen Gewässern wird der Messflügel (als Stangenflügel) bzw. die MID-Sonde auch zukünftig Anwendung finden.

Als festinstalliertes automatisch messendes Durchflussmessgerät hat sich das Ultraschallströmungsmessgerät seit langem bewährt und wird weitere Verbreitung finden.

Die guten Messergebnisse mit dem Horizontal-ADCP lassen eine starke Zunahme dieser Geräte erwarten, da die Beschaffung und Installation besonders wirtschaftlich erscheint. Es gibt aber Messstellen, an denen aufgrund der Örtlichkeit und hydraulischen Situation bewährte „Sonderlösungen“, wie sie in der PV-Anl. D, Kap. 3 bis 7, beschrieben werden, Anwendung finden müssen.

Wirtschaftliche (monetäre) Aspekte können nicht vertieft bewertet werden; Ultraschallströmungsmessgeräte ermöglichen sicherlich über das in der PV-Anl. D, Kap. 8, S. 8.1 genannte Einsatzkriterium hinaus einen wirtschaftlichen Messbetrieb. Zur Wirtschaftlichkeit des ADCP-Messverfahrens insbesondere bei Abbau vorhandener Seilkrananlagen erfolgten unter 3.3.7 Ausführungen. Für den Pegelbetrieb einschl. Konzeption und Einrichtung der Messanlagen erscheint der Radarpegel (siehe Fotos im Anhang) eine kostengünstige Alternative zu bieten.

Die eingangs (Kap. 1) formulierten Fragestellungen gemäß den Zielvereinbarungen 2004 konnten vorstehend eindeutig beantwortet werden. Es muss dazu hervorgehoben werden, dass entsprechende Grundsatzuntersuchungen einzelner NLWKN-Betriebsstellen in der Zukunft nur möglich sind, wenn sich trotz aller Einsparziele geschultes Personal über die Pflichtaufgaben hinaus (GÜN/GLD, WRRL) ausreichend mit der Problematik beschäftigen kann. Diesbezüglich gilt es, den Dank gegenüber der engagierten Mitarbeit der Kollegen auszudrücken:

Lübbe Aden

(Konzeption und Aufbau von Messanlagen, kurzfristige Reparaturarbeiten, Kap. 3.1 und 3.2)

Andreas Engels

(Test von Messtechnik und Auswertesoftware, insbesondere siehe Kap. 3.3.3 bis 3.3.6, Betrieb von N-A- und HN-Modellen)

Michael Köhnke

(unermüdlicher Einsatz zur Inbetriebnahme von Messtechnik: Hard- und Software, betrifft alle Kap.)

Dass darüber hinaus ein bundesweiter ggf. internationaler Erfahrungsaustausch für unabdingbar gehalten wird, wurde bezüglich des Beispiels LAWA unter 3.4 begründet.

Aufgestellt:

Aurich, den 9.5.2005



[Dieser Bericht wurde per EDV erstellt
und trägt keine Originalunterschrift]

Anhang: Messstellenfotos



Radarpegel Bensorsiel



Horizontal montierter Radarpegel Harlesiel (Messsignal gespiegelt)



Kompakt-Anlage Ramsloh (Romelse): Ultraschallströmungsmessanlage,
Horizontal-ADCP, Solarstromversorgung, DFÜ über GSM



Ultraschallströmungsmessanlage Ramsloh (Romelse):
Wandlermontage unter Brücke

Wartung und Ausrichtung von Wandlern an der Tidedurchflussmessstation Leer:



rechtes Ufer



linkes Ufer

Impressionen (zu 3.3.3)



Messboote verlassen des WSA-Hafen an der Mosel



Messboot „M 1“ der BfG (mit Herrn Nicklau, WSA Emden)



Während der Messfahrt



ADCP-Boote im Messquerschnitt



Gerätevergleich am Anleger

