

Abteilung I

Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen

(für gewerbliche und Freizeitschifffahrt)

zu Thema 1:

Thema des deutschen Berichts

Künftiges Konzept zur Überwachung des Stromregimes am Niederrhein; Steigerung der Tiefenmeßgenauigkeit durch Einsatz landgestützter Lasersysteme.

Berichterstatter:

Dr.-Ing. J. Behrens, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Dipl.-Ing. H. Henoeh, Wasser- und Schifffahrtsdirektion West, Münster

Dipl.-Ing. W. Keydana, Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg-Rhein,
Außenstelle Wesel

Übersicht

Der Niederrhein ist trotz Festlegung des Mittelwasserbettes und umfangreicher Eindeichungen für den Hochwasserschutz ein Fluß mit freiem Abfluß geblieben. Strömung und stark wechselnde Wasserstände führen zu ständigen Umlagerungen des kiesigen Sohlenmaterials und zu Schäden an den Strombauwerken. Die intensiven anthropogenen Nutzungen (Siedlung, Landwirtschaft, Schifffahrt, Industrie, Bergbau) verursachen im Strombereich immer wieder Eingriffe, die durch wasserbauliche Maßnahmen ausgeglichen werden müssen. Aus wirtschaftlichen und verkehrlichen Gründen werden ständig höhere Anforderungen an Umfang, Genauigkeit und Schnelligkeit der Meßverfahren gestellt, die zur Überwachung der Wasserstraße und für Planung und Ausführung der Strombaumaßnahmen notwendig sind. Beschrieben werden die am Niederrhein anzuwendenden Meßmethoden in Verbindung mit einem neuen, leistungsfähigen Meßschiff.

Inhalt

1.	Allgemeines	2
1.1	Bedeutung der Wasserstraße Niederrhein	2
1.2	Aufgaben und Probleme bei der Gewässerüberwachung	4
2.	Überwachung der Gewässertopographie	5
2.1	Komponenten eines modernen Peilsystems	5
2.2	Verbesserung der Systemgenauigkeit durch Lasertechnik	6
2.3	Peilkonzept für den Niederrhein	9
3.	Erfassung weiterer gewässerkundlicher Daten	10
3.1	Meßaufgaben	10
3.2	Wasserstraßenbedingte Probleme beim Messen	10
3.3	Verbesserung der hydrologischen Meßverfahren	11
4.	Modernes Meßschiff für den Niederrhein	15

Literatur**1. Allgemeines****1.1 Bedeutung der Wasserstraße „Niederrhein“**

Der Rhein ist die verkehrsreichste Binnenwasserstraße Europas. Etwa 2/3 der Verkehrsleistungen der Binnenschifffahrt werden auf ihm erbracht. Über 130 Mio. t Güter werden im Jahr über die Grenzdurchgangsstelle Emmerich transportiert, mit einem Aufkommen von mehr als 180.000 Fahrzeugen/Jahr. Das bedeutet eine Verkehrsfrequenz von 500 Binnenschiffen/Tag; als Spitzenbelastung werden 1.000 Fahrzeuge/Tag erreicht.

Als „Niederrhein“ wird hier der Flußabschnitt des Rheins bezeichnet, der im Bundesland Nordrhein-Westfalen der Bundesrepublik Deutschland liegt. Er reicht von der Köln-Bonner Tieflandsbucht, die im Süden durch den Mittelgebirgszug der Eifel begrenzt wird, bis zur deutsch-niederländischen Staatsgrenze im Norden (Abb. 1).

Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) unterhält für den Schiffsverkehr eine 150 m breite Fahrrinne, die bei dem sogenannten „Gleichwertigen Wasserstand“ (GLW) – das ist ein Wasserstand, der im langjährigen Jahresdurchschnitt an höchstens 20 Tagen im Jahr unterschritten wird – in den Bereichen Emmerich–Köln eine Wassertiefe von 2,50 m und Köln–Bonn von 2,10 m aufweist. Bei höheren Wasserständen kann die Schifffahrt auch die gesamte Wasserspiegelsbreite zwischen den Ausbaulinien, das sind etwa 300 m, als Fahrwasser benutzen.

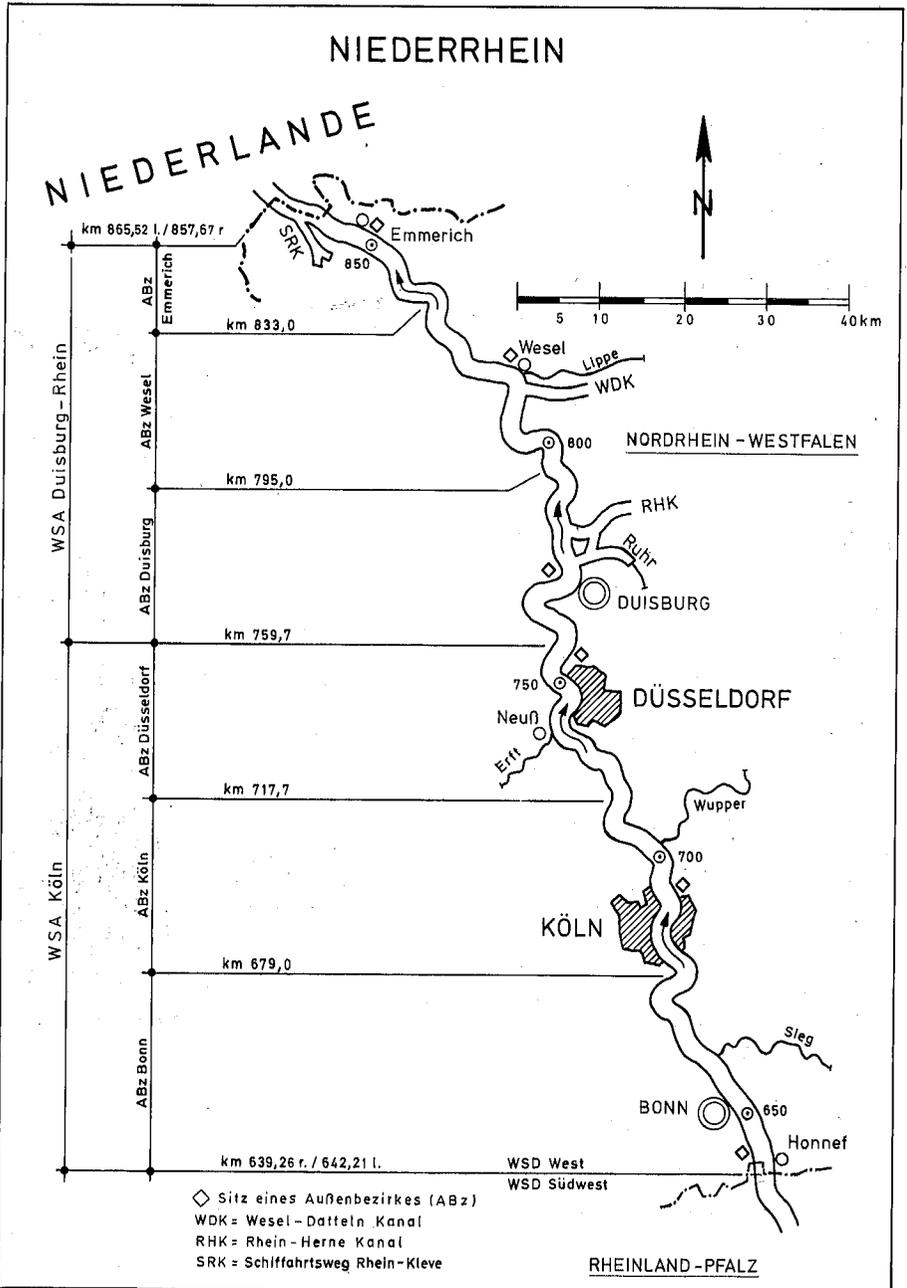


Abb. 1: Niederrhein

1.2 Aufgaben und Probleme der Gewässerüberwachung

Die WSV hat die Aufgabe, die Bundeswasserstraße in einem für den Wasserabfluß ordnungsgemäßen und für die Schifffahrt sicheren Zustand zu erhalten, wenn notwendig auszubauen sowie die Binnenschiffsflotte und den Binnenschiffsverkehr zu fördern.

Mehr als 200 Jahre Wasserbau am Niederrhein haben den Strom in ein festes Bett gezwängt und damit die Voraussetzungen für einen ausreichenden Hochwasserschutz der Siedlungen sowie ein hinreichend tiefes Fahrwasser für einen leistungsfähigen Schiffsverkehr geschaffen. Sie haben jedoch den Charakter des freifließenden Stromes mit seinen ständig schwankenden Wasserständen und den sich daraus ergebenden stark wechselnden Beanspruchungen auf die Sohle und die Ufer nicht grundsätzlich verändert. Nach wie vor unterliegt die Kiessohle den Erosions- und Ablagerungseinflüssen, die durch Strömungskräfte und Geschiebetrieb bestimmt werden.

Dabei überwiegt im Bereich oberhalb Köln die Ablagerungstendenz, während weiter unterhalb eine erhebliche Erosionsgefahr besteht. Die Erosionsraten erreichen hier kurz oberhalb der deutsch-niederländischen Grenze streckenweise noch Werte bis zu 4 cm/Jahr. Ständige Korrektur- und Unterhaltungsarbeiten an der wasserbaulichen Infrastruktur sowie Baggerungen sind die Folge dieser Naturkräfte, die durch menschliche Eingriffe zur Nutzung des Strombereichs (z.B. Eindeichungen, Industrieansiedlungen, Bergbaukolke in der Sohle, Verkehrsbelastung durch die Schifffahrt) noch verstärkt werden [1, 2].

Um die Sicherheit des Verkehrs auf der Wasserstraße zu gewährleisten und wirtschaftliche Baumaßnahmen zur Erhaltung und ordnungsgemäßen Verbesserung unzureichender Abflußverhältnisse und Verringerung der Schäden an Sohle und Ufer zu erreichen, ist eine umfassende, leistungsfähige und genaue Überwachung der Topographie des Gewässerbettes (siehe Abschnitt 2) und der physikalischen Daten notwendig, die den Wasserabfluß und den Geschiebehaushalt bestimmen (siehe Abschnitt 3). Der wesentliche Teil dieser Messungen muß auf dem Gewässer selbst erfolgen. Dazu dienen die mit den erforderlichen Geräten ausgestatteten Meßschiffe.

In den letzten 10 Jahren hat die Datenverarbeitungs- und Lasertechnik zunehmend Eingang in alle Gebiete des Meßwesens gefunden und die Leistungsfähigkeit der für die Gewässerüberwachung erforderlichen Meßgeräte und die Genauigkeit der Messungen erheblich verbessert. Für die Gewässervermessung und die Erfassung der gewässerkundlichen Daten werden diese neuen Techniken am Niederrhein jetzt schon angewendet oder umgehend eingeführt, wobei darauf hingewiesen werden muß, daß die Entwicklung und Verbesserung dieser Meßtechniken noch nicht abgeschlossen ist und weiterhin dem jeweiligen Stand der Technik angepaßt werden muß.

2. Überwachung der Gewässertopographie

2.1 Komponenten eines modernen Peilsystems

Diese ständige Vermessungsaufgabe „Überwachung der morphologischen Gestalt der Gewässersohle“ wird als „Peilung“ bezeichnet. Die Peilung umfaßt eine zum selben Zeitpunkt stattfindende Ortung und Lotung [3], sie besteht aus:

- den Positions- oder Lagebestimmungen schwimmender Meßfahrzeuge (Ortung),
- den Tiefenmessungen (Lotung), bezogen auf die Lage der Meßfahrzeuge und
- den damit gleichzeitig verbundenen Zeitmessungen (Zeitbezug).

Das Vermessungssystem für Peilungen umfaßt Meß-, Steuer- und Registriergeräte, über die während einer Meßfahrt Datenerfassung, Datenaufbereitung hinsichtlich der Datenselektion und der Überprüfung der Daten auf Plausibilität, Berechnung von Zusatzinformationen sowie Datenausgabe und -speicherung erfolgt (Abb. 2).

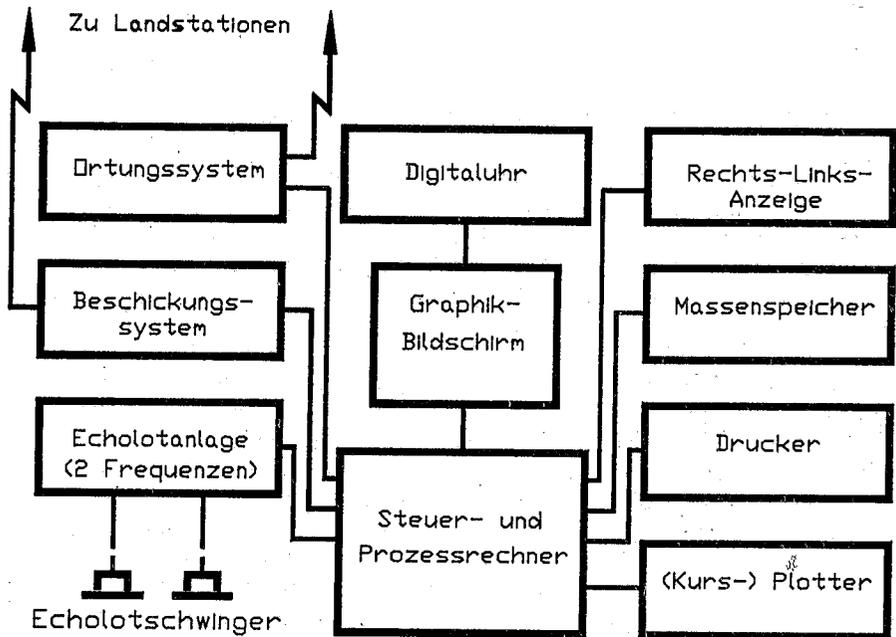


Abb. 2: Prinzip eines Vermessungssystems (Bordstation)

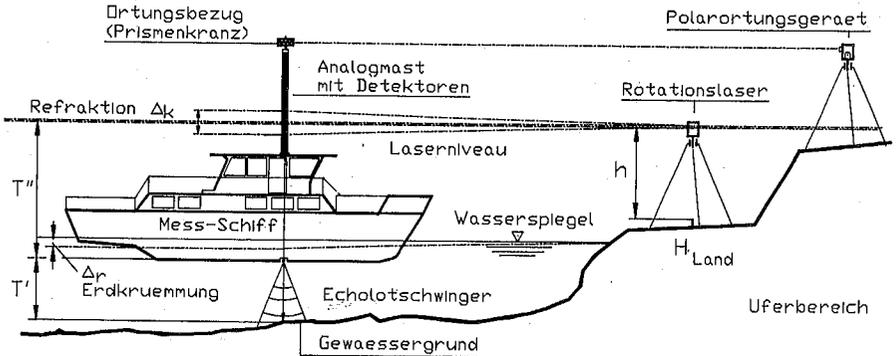
Das Vermessungssystem muß die Meßdaten „online“ verarbeiten, weil aus den Ergebnissen Folgeinformationen für die Fortsetzung der momentanen Peilung abgeleitet werden müssen. Aufbereitung und Verarbeitung der Meßdaten erfolgen durch einen Rechner, der als Kontroll- und Steuereinheit den gesamten Ablauf des Meß-

programms überwacht. Dieser Steuerrechner ist mit einer externen Puffereinheit für die getrennte Sammlung aktueller Meßdaten verbunden. Es wird deutlich, daß das Programmsystem für Peilungen ganz wesentlich den Ablauf der Peilfahrten und die Informationsfülle der Meßdaten bestimmt und daher auf den beabsichtigten Peilzweck abgestimmt sein muß. Hier ist eine Optimierung nach der Meßgenauigkeit und der Wirtschaftlichkeit von Peilungen zwingend notwendig.

Das beschriebene Verfahren gilt für den Teil des Gewässerbettes, der in der Regel Wassertiefen von mehr als 1,5 m aufweist. Die Uferbereiche oder auch weiterreichende Vorländer längs der Wasserstraßen werden entweder mit terrestrischen Meßverfahren (Tachymeteraufnahme; in Flachwasserbereichen: Stangenpeilung) oder durch Luftbildaufnahme erfaßt. Aufnahme und Auswertung von Luftbildern ist wirtschaftlicher als von Tachymeterdaten, jedoch lassen die örtlichen Gegebenheiten Befliegungen nicht immer zu. Als Ergebnis dieser Meßmethoden erhält man ein lückenloses Bild der Topographie des Gewässerbettes in erweitertem Sinne, d.h. auch für die Bereiche der Erdoberfläche, die bei Hochwasser mit Wasser bedeckt sind.

2.2 Verbesserung der Systemgenauigkeit durch Lasertechnik

Das Peilen in der Gewässervermessung für die Aufgabenerledigung der WSV gilt heute als bewährtes Meßverfahren, das durch technologisch neue Komponenten des zuvor beschriebenen Vermessungssystems ständig verbessert wird. Es ist Aufgabe der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), einer Oberbehörde des Bundesministers für Verkehr (BMV), die Entwicklung und Erprobung neuer Meßgeräte und Meßverfahren unter Berücksichtigung internationaler Systemangebote für die WSV vorzunehmen. So ist in den letzten Jahren durch die Nutzung der Lasertechnik die Meßgenauigkeit bei der Beschickung der Peilungen verbessert worden. Unter Beschickung versteht man die Zuordnung der gemessenen Tiefenwerte zu einem Höhenbezugssystem. In der Bundesrepublik Deutschland werden die Höhen in der Regel auf Normalnull (NN) bezogen. Auf Bundeswasserstraßen benutzt man häufig den Bezugswasserstand, z.B. auf dem Niederrhein den gleichwertigen Wasserstand (GlW). Als Bezugsfläche für die Tiefenmessung wird meistens der das Meßschiff umgebende Wasserspiegel benutzt. Dabei werden die Höhenwerte des Wasserspiegels mit Hilfe abgelesener Pegelwerte berechnet. Das Verfahren ist recht ungenau und kann die Höhen der Gewässersohle verfälschen, insbesondere wenn das Meßschiff mehrere Kilometer vom nächstgelegenen Pegel entfernt ist. Der Höhenbezug kann auch mit Hilfe von Nivellierinstrumenten hergestellt werden. Dabei wird entweder der Wasserspiegel oder das Meßschiff während einer Meßfahrt direkt vom Ufer aus beobachtet. Diese Methode ist wegen begrenzter optischer Sichtweite nur bis maximal 200 m Entfernung einsetzbar. Daher suchte man nach Meßgeräten, die präziser und schneller die Beschickung der mit Echoloten gemessenen Tiefenwerte ermöglichten als bisher. Anfang der 80er Jahre begannen am Niederrhein Versuche, ein sogenanntes Niveau-



Berechnungsformeln:

$$H_{\text{Gewässergrund}} = H_{\text{Land}} + h_{\text{Niveaulaser}} - T'' - T' - \Delta r + \Delta k$$

$$\text{Wassertiefe } T = T' + \text{Eintauchtiefe Mess-Schiff}$$

Abb. 3: Gewässervermessung mittels Niveaulasersystems

Lasersystem als Beschickungsgerät einzusetzen (Abb. 3). Die Versuche führten nach einigen Anpassungen durch den Gerätehersteller zu befriedigenden Meßergebnissen [4, 5].

Dieses im Prinzip nivellistisch arbeitende Gerätesystem besteht aus einem Rotationslaser und einem Analogmast mit Detektoren. Der Rotationslaser am Ufer sendet durch ein Umlenkprisma scharf horizontal gebündelte Laserstrahlen aus, die als Bezugsfläche ein Laserniveau aufspannen. Der auf dem Meßschiff angebrachte Analogmast empfängt das Laserlicht, so daß unter Berücksichtigung der Erdkrümmung der Beschickungswert für den momentan gemessenen Tiefenwert bekannt ist und in den Bordrechner eingespeist werden kann. Bei der Meßdatenauswertung ist außerdem der Einfluß der Refraktion zu berücksichtigen. Untersuchungen der BfG haben zwar ergeben, daß Refraktionsinflüsse von mehreren Dezimetern auf 1.000 m auftreten können, die praktischen Erfahrungen am Niederrhein zeigen aber, daß bei Reduktion mit dem in Mitteleuropa gültigen Refraktionskoeffizienten von $k_{\text{Licht}} = 0,13$ und den hier herrschenden atmosphärischen Verhältnissen eine Genauigkeit von besser als 8 cm/km erreicht wird.

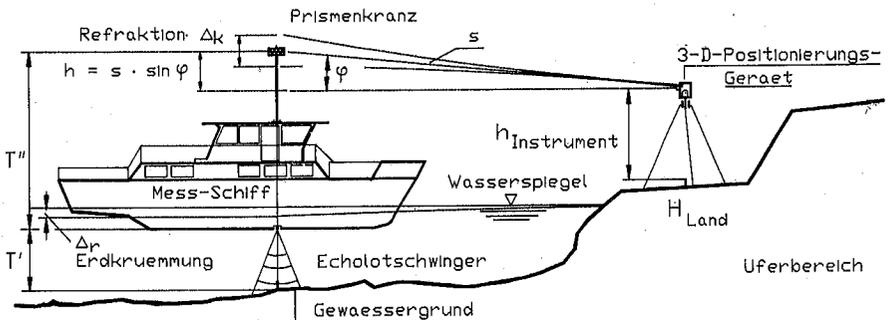
Der Vorteil dieses Niveaulasersystems besteht darin, daß die Tiefenmessung nicht über den Wasserspiegel erfolgt und so unabhängig von Wellen wird, die durch Wind und insbesondere durch vorbeifahrende Binnenschiffe kurzfristig entstehen. Damit wird die große Meßunsicherheit des Beschickungswertes minimiert. Ein weiterer Vorteil ist, daß stets mehrere Beschickungswerte pro Sekunde erfaßt werden, so daß die hohen Meßraten der Echolotung mit rd. 20 Werten/s besser ausgenutzt werden können.

Die bis heute für die hydrographische Vermessung anwendbaren Laserempfängerlatten unterscheiden sich in ihrer technischen Leistungsfähigkeit, die deutlich den Fortschritt in der Geräteentwicklung der letzten 8 Jahre erkennen läßt [4, 5].

1980 fertigte die Firma Spectra-Physics (USA) eine 2,4 m lange Detektorlatte, die auch für den Meßbetrieb auf Peilschiffen geeignet ist, allerdings mit dem Nachteil eines mechanisch bewegten Detektorfeldes. Dadurch treten bei kurzfristigen Änderungen der Höhenlage des Peilschiffs Nachführverzögerungen auf. Die Empfangsreichweite dieses Niveaulasersystems ist auf 1.200 m begrenzt. Es werden durchschnittlich 2 – 3 Meßwerte pro Sekunde übertragen.

Um diesen Mangel zu beseitigen, fertigte 1985 die Firmengruppe Gantzel/Geo-Feinmechanik (D) einen Analogmast mit 40 Dioden pro 2 m-Feld in der Vertikalen. Damit wird eine 5 cm-Auflösung erreicht. Der Prototyp, den die BfG beschaffte, hatte eine Meßrate von 5 Werten/Sekunde und eine Arbeitsreichweite von mehr als 2.000 m. 1988 bot die Firma Gantzel (D) eine Detektorlatte an, die eine 2 cm-Auflösung hat, bis 15 Werte/Sekunde mißt und eine kompakte Bauweise durch Halbleiterelemente aufweist. Die Kosten für ein komplettes Niveaulasersystem liegen bei etwa 100.000 DM (Preisstand 1988).

Die rasche Entwicklung der Laser- und Infrarotlichttechnologie hatte zur Folge, daß es jetzt auch möglich ist, die Beschickung über die direkte Messung des Vertikalwinkels vorzunehmen. Als sogenannte dreidimensionale Positionierungssysteme sind das Navitrack 2000 (Firma Ibeo, D) und das Geodimeter 140 T - Autotracker (Firma Geodimeter, S) zu nennen (Abb. 4). Der betriebstechnische Vorteil liegt darin, daß als Landstation anstelle von zwei verschiedenen Systemen nur 1 Meßinstrument aufgestellt werden muß. Außerdem muß bei 2 Meßsystemen darauf geachtet werden,



Berechnungsformeln:

$$H_{\text{Gewässergrund}} = H_{\text{Land}} + h_{\text{Instrument}} + h - T'' - T' - \Delta r + \Delta k$$

Wassertiefe $T = T' + \text{Eintauchtiefe}_{\text{Mess-Schiff}}$

Abb. 4: Gewässervermessung mittels 3-D-Positionierungssystem

daß keine gegenseitige Beeinflussung der jeweils benutzten Meßsignale erfolgt. Dazu müssen technisch aufwendige Filter auf der Niveaulasersystem-Empfängerplatte angebracht werden.

Diese 3-D-Positionierungssysteme wurden bereits mit zufriedenstellendem Erfolg getestet. Einige Verbesserungen dürften in den kommenden Jahren zu erreichen sein. Eine weitere Optimierung des Peilbetriebs wird so möglich.

2.3 Peilkonzept für den Niederrhein

Die Peilungen erfolgen am Niederrhein in der Weise, daß die Gewässersohle durch Linien- oder Flächenpeilungen erfaßt wird, wobei in der Regel Querprofile und nur im Fall von Überwachungs- oder Inspektionspeilungen Längsprofile aufgezeichnet werden.

Bei der Aufnahme von Querprofilen bietet sich als einfachste Lösung die eindimensionale Ortung durch Abstandsmessung in dem am Ufer ausgesteckten Querprofil an. Wegen der größeren Ortungsgenauigkeit auf dem breiten, unterschiedlich stark strömenden Niederrhein wird die zweidimensionale Ortung bevorzugt (Bogenschnitt- oder Polarverfahren).

Unter der Flächenpeilung wird eine Meßfahrt mit einem Meßschiff verstanden, das mit einem Mehrfachschwingersystem ausgestattet ist. Es gibt zur Zeit Systeme, bei denen bis zu 41 Schwinger auf einem Meßschiff installiert sind. Sie sind in einer Reihe mit Abständen von jeweils bis zu 1 m angeordnet, so daß bei einer Meßfahrt ein bis zu 40 m breiter Flächenstreifen der Gewässersohle erfaßt wird. Man spricht von einer Sohlenaufnahme mit einem 1 m x 1 m-Raster, wenn der Schwingerabstand 1 m beträgt und die Datenaufzeichnung in 1 m Abstand erfolgt.

Die Beschickung der mit Echoloten gemessenen Tiefenwerte erfolgte bisher meist nivellistisch oder über Pegelwerte. Wegen der großen Meßunsicherheiten bei der Beschickung über Pegelwerte von zum Teil mehr als 30 cm (Entfernung zum Pegel, kurzfristige Wasserspiegelschwankungen) wird künftig das in Abschnitt 2.1 näher beschriebene Niveaulasersystem eingesetzt. Dadurch wird die Standardabweichung in der Beschickung unter 8 cm/1.000 m und 5 cm/500 m reduziert.

Bei der Positionsbestimmung wird bisher das Funkortungssystem Ralag 20 (2 Landstationen) der Firma Krupp-Atlas-Elektronik (KAE, D) benutzt, das mit einer Frequenz von 34 MHz arbeitet. Es kommt dabei immer wieder zu Fehlmessungen durch Reflektionen oder durch Störungen anderer Sender im Empfangsbereich des Schiffes. Wegen der Unzulänglichkeiten dieser Meßweise, werden die Meßschiffe derzeit mit dem Polarortungssystem Polarfix der Firma KAE (D) ausgerüstet. Die Richtungs- und Entfernungsmessung (absolut) mittels Laserlicht erfolgt von einer Landstation am Ufer zu einem Prismenkranz am Mast des Meßschiffes. Die beiden Meßwerte wer-

den telemetrisch an Bord zur Weiterverarbeitung übertragen. Die praktische Meßunsicherheit liegt für die Positionsbestimmung bei weniger als 50 cm/2 km. Reichweiten bis zu 6 . . . 8 km können bei guten atmosphärischen Bedingungen erreicht werden. In der Regel ist nur ein Aufstellungsort pro Meßbereich von durchschnittlich 3 km/Tag notwendig. Für einen störungsfreien Betrieb der beiden Meßsysteme nebeneinander (Rotationslaser und Polarfix) sind unterschiedliche Meßsignale erforderlich. Das Vermessungssystem in der Abb. 2 kann damit während der Messung NN-korrigierte (X, Y, Z) -Koordinaten der Gewässersohle berechnen.

Versuche mit dreidimensionalen Positionierungssystemen entsprechend Abb. 4 sind wegen der zu erwartenden wirtschaftlichen und meßtechnischen Vorteile eingeleitet.

Von Meßschiffen aus kann nur die eigentliche Gewässersohle gepeilt werden. Zur vollständigen Darstellung des Gewässers werden jedoch auch die Uferbereiche benötigt sowie gegebenenfalls die Retentionsräume, in die extreme Hochwässer gelangen können. Diese sogenannten Landanschlüsse werden mit Polartachymetern (Digitalwerte) oder durch Befliegung mit anschließender photogrammetrischer Auswertung erfaßt. Die Weiterverarbeitung z.B. zu digitalen Geländemodellen (DGM) geschieht derzeit noch über die Datenverarbeitungszentrale der WSV. Zukünftig sollen diese Aufgaben mit einem leistungsfähigen Rechner (CADMUS, Mannesmann-Kienzle, D) bei den einzelnen Wasser- und Schiffahrtsämtern erfolgen. Das DGM wird im Datenpool vorgehalten und kann von allen Nutzern der WSV abgerufen und für Analysen aufbereitet werden.

3. Erfassung weiterer gewässerkundlicher Daten

3.1 Meßaufgaben

Durch die an Land vorhandenen Pegelanlagen können lediglich die Wasserstände und ihre Veränderungen kontinuierlich erfaßt werden. Alle anderen gewässerkundlich relevanten Daten müssen mit Hilfe von Geräten ermittelt werden, die entweder auf den Meßschiffen installiert sind oder von diesen Schiffen ausgelegt und überwacht werden, und zwar

1. Durchflußmessungen (Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung),
2. Wasserspiegelmessungen (Längs- oder Quergefälle),
3. Feststoffmessungen (Geschiebe, Schwebstoffe (DIN 4049); Kornaufbau der Sohle).

3.2 Wasserstraßenbedingte Probleme beim Messen

Die Durchführung der Messungen am Niederrhein wird vor allem durch die hohe Verkehrsbelastung der Wasserstraße erschwert. Damit einerseits bei Flüßelmessun-

gen die Schifffahrt nicht durch das im Strom verankert liegende Meßschiff behindert und andererseits vor allem die Ergebnisse nicht durch die Schifffahrtseinflüsse verfälscht werden, sind in den 50er Jahren die Messungen in den Nachtzeiten ausgeführt worden. Mit der Zunahme der Radar- und Schubschifffahrt ist jedoch das Verkehrsaufkommen bei Nacht so gestiegen, daß es sich kaum noch von dem bei Tag unterscheidet. Da außerdem die Nachtmessung mit einem erhöhten Unfallrisiko behaftet ist, werden die Messungen wieder tagsüber ausgeführt. Besondere Gefährdungen für die Besatzung der Meßschiffe ergeben sich bei den Geschwindigkeitsmessungen in den Problemstrecken an unübersichtlichen Stellen, z.B. starken Stromkrümmungen. Hier muß die mit etwa 20 bis 24 km/h zu Tal fahrende Berufsschifffahrt über ein zusätzliches Wahrschauboot gewarnt werden. Die die Messungsergebnisse beeinträchtigenden Schifffahrtseinflüsse können nur durch eine Vielzahl von Messungen und Mittelbildung auf das Maß der anzustrebenden Genauigkeit gebracht werden.

Die geschilderten Probleme treten ebenso bei der Durchführung von Wasserspiegel-nivellements wie auch bei allen anderen gewässerkundlichen Messungen auf. Daneben findet die Messung von Wasserspiegellagen stets unter Zeitdruck statt. Messungen müssen dann ausgeführt werden, wenn Beharrungswasserstände, Scheiteltbildungen und andere kennzeichnende Wasserstände eintreten, die in der Regel nur von kurzer Dauer sind. Nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen werden daher Meßverfahren angewendet, die den Zeit- und Personalaufwand für die Messung und Plausibilisierung so klein wie möglich halten.

Wenn der Strom bei hohen Wasserständen ausuferet, entstehen durch die überfluteten Vorländer Wasserflächen, die teilweise mehrere Kilometer breit sind. Sie sind mit Weidezäunen und Buschwerk bestanden, was die Meßdurchführung erheblich erschwert.

3.3 Verbesserung der hydrologischen Meßverfahren

Durchflußmessungen

Zur Ermittlung der Fließgeschwindigkeiten und -richtungen und daraus abgeleitet der Abflüsse wird nach wie vor der hydrometrische Meßflügel eingesetzt.

Die Meßgenauigkeit hängt vor allem von der Eignung des Personals und der Auswahl und Anordnung der Meßgeräte ab. Beispielsweise kann eine Verfälschung der Messung durch den Fremdkörper „Schiff“ eintreten, der den Meßquerschnitt verengt. Zur Zeit wird querab vom Schiff gemessen. Der Fehler wird weitgehend vermieden, wenn die Meßausleger am Bug des Schiffes angeordnet sind und die Messung seitlich voraus, etwa 3 bis 6 m vor dem eingetauchten Schiff, erfolgt (Abb. 8).

Durch Krängungen sowie horizontale und vertikale Eigenbewegungen des Schiffes mit seinen Meßauslegern bei nicht fester Voraus- und Seitenverankerung kann die gemessene Fließgeschwindigkeit erheblich verfälscht werden. Bei nur ± 3 Grad seitlicher Neigung beschreibt der Meßflügel am Ausleger eine vertikale Bewegung von ± 52 cm, also absolut 1,04 m bei 10 m Ausladung ab Schiffsachse. Da diese Bewegungen relativ schnell erfolgen können, ist eine Beeinflussung der Flügelumdrehungen nicht ausgeschlossen.

Die Meßdatenerfassung erfolgt „on line“ über Meßprozessoren und die EDV-Anlage mit den entsprechenden Meßaufnahme- und Auswerteprogrammen und ermöglicht eine sofortige Auswertung: Bereits während des Absenkvorgangs werden die Geschwindigkeitswerte laufend auf dem Monitor dargestellt. Dadurch kann die Plausibilitätskontrolle sofort erfolgen, eine falsche Messung erkannt und durch Wiederholung schnell berichtigt werden. Als Endergebnis können an Bord die Geschwindigkeitsverteilung in der Meßlotrechten, der Geschwindigkeitsflächenplan und der Isotachenplan ausgedruckt oder geplottet und die Abflüsse berechnet werden [6].

Wasserspiegelaufnahmen

Bis vor mehreren Jahren wurden die Wasserspiegelaufnahmen durch Ablesungen des Wasserspiegels an kleinen, in 500 m Abstand an beiden Ufern geschlagenen Pfählen oder Rohren vorgenommen, deren Höhe durch Nivellement bestimmt wurde. Jetzt werden sie ausschließlich mit dem sogenannten Verfahren „Schwimmende Latte“ mit Hilfe des Rotationslasers durchgeführt.

Die Meßgenauigkeit ist dadurch um ein vielfaches erhöht und der Zeitaufwand verringert worden. Das Meßschiff, ausgerüstet mit der Laserempfängerlatte und einem Linienschreiber oder einem Mikroprozessor fährt in Talfahrt an dem an Land aufgestellten Rotationslaser vorbei und sammelt kontinuierlich die Meßwerte. Einflüsse, die durch Besonderheiten der Stromstecke hervorgerufen werden oder die das Meßergebnis verfälschen (z. B. Schiffahrt), sind infolge der Informationsdichte sofort erkenn- und bewertbar [4]. Bei Aufstellung von mindestens 3 Rotationslasern am Ufer im Abstand von etwa 2 km mit fortlaufendem Standortwechsel können die Meßschiffe ohne Unterbrechung die Talfahrt fortsetzen und eine Strecke von rd. 30 bis 40 km/Tag messen. Fahren zwei Meßschiffe gleichzeitig jeweils in Ufernähe zu Tal, werden dabei auch Aussagen über das Quergefälle gewonnen.

Feststoffmessungen

Am Niederrhein werden bei unterschiedlichen Wasserständen in unregelmäßigen Abständen Feststoffmessungen von schwimmenden Fahrzeugen an bestimmten Meßprofilen ausgeführt, um den Feststofftransport bestimmen zu können.

Für Geschiebemessungen wird ein spezieller Geschiebefänger verwendet, der dem Prinzip des „Arnheim-Samplers“ entspricht [1, Seite 55]. Das Gerät wurde den Korngrößen und Strömungsgeschwindigkeiten des Ober- und Niederrheins angepaßt. Ähnlich einer Durchflußmessung wird der Geschiebefänger je nach Querschnittsbreite an 7 bis 14 Meßpunkten eingesetzt, die so über das Meßprofil verteilt sind, daß sie den geschiefeführenden Querschnittsbereich erfassen. Schwebstoffmessungen werden parallel zu den Geschiebemessungen ausgeführt. Vorzugsweise werden Punktmessungen mittels Pumpen in etwa 0,1 - 0,2 - 0,4 - 0,8 h (h = Wassertiefe) über der Sohle vorgenommen. Die Proben werden über einem Meßgefäß gefiltert, wobei der suspendierte Sand abgetrennt und gesondert erfaßt wird.

Im Jahre 1986 ist erstmalig eine feste Geschiebemeßstelle im Rhein eingerichtet worden. Es wurden in einem Querprofil 5 Geschiebefallen mit Hilfe eines Taucherglockenschiffes in die Sohle eingebaut. Da die Fallen mit ihrer Oberkante in Sohlenhöhe liegen, ist eine Beeinflussung der Messung durch störende, den Abfluß behindernde Teile des Gerätes nicht gegeben.

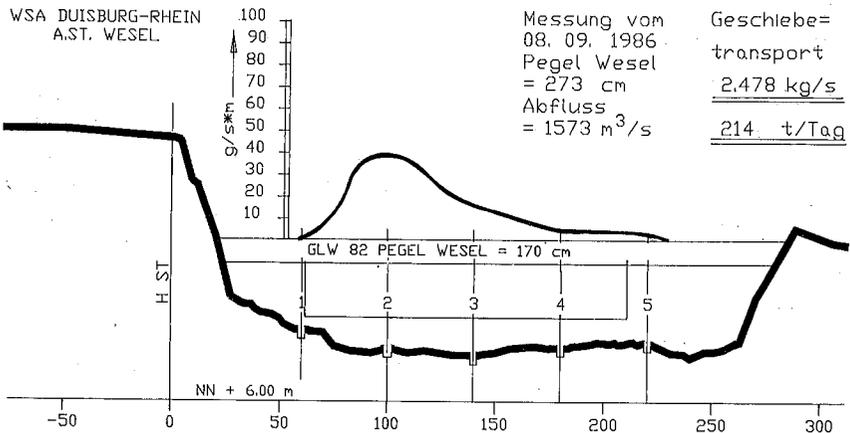
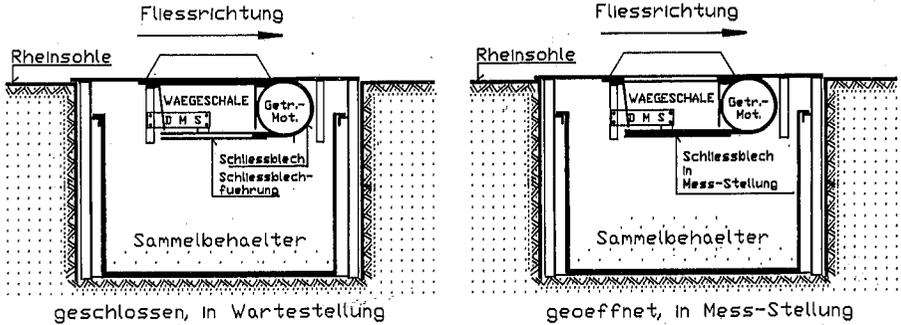


Abb. 5: Meßprofil bei Rhein-km 818,200

Die Geräte sind über Versorgungs- und Steuerleitungen, die in der Sohle verlegt sind, mit einer Bedienstation verbunden, die auf einem am Ufer verankerten Signalponton aufgebaut ist. Bei Beginn des Meßvorganges werden die Fallen geöffnet. Das in eine Wägeschale hineinrollende Geschiebe wird unter Wasser kontinuierlich durch elektronische Meßwertgeber gewogen.

Aufzeichnungen in Form von Summenlinien ermöglichen qualifizierte Auswertungen der Meßergebnisse sowie qualitative und quantitative Unterscheidung der Einflüsse von Strömung, Wasserstand und Schifffahrt auf den Geschiebetransport.



Fangoeffnung: Breite 15 cm, Laenge 40 cm. Behälterinhalt 440 Liter
 Steuerung und Messdatenerfassung
 elektronisch ueber 12-adriges UW-Kabel

Abb. 6: Geschiebefalle, Rhein-km 818,200

Die Summenlinien der Abb. 7a zeigen den Verlauf der Geschiebemessungen der 5 Geschiebefallen über die vorgewählte Meßzeit von 10 Minuten. Es wird jeweils das Gewicht des über die Meßbreite von 15 cm in die Falle eingelaufenen Geschiebes angezeigt, und zwar umgerechnet auf den Trockenzustand. In der Abb. 7b ist der Einfluß eines über die Geschiebefalle 2 zu Berg fahrenden Schubverbandes erkennbar. Sobald der Bug des Schubverbandes den Meßquerschnitt erreichte, setzte ein starker Geschiebetransport ein, obwohl bei dieser Messung zwischen Schiffsboden und Rheinsohle noch ein Wasserpolster von 1,60 m Höhe vorhanden war.

Wasser- und Schiffsamt Dulsburg-Rhein, Aussenstelle Wesel
 Datei Nr. 8 Waage Nr. 1-5 Datum: 09.10.1986 Zeit: 12:57

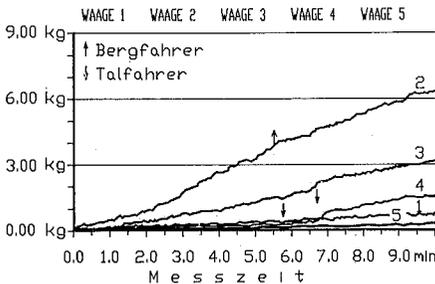


Abb. 7a: Summenlinien einer Vollmessung

Wasser- und Schiffsamt Dulsburg-Rhein, Aussenstelle Wesel
 Datei Nr. 3 Waage Nr. 1-2 Datum: 09-04-1986 Zeit: 09:49

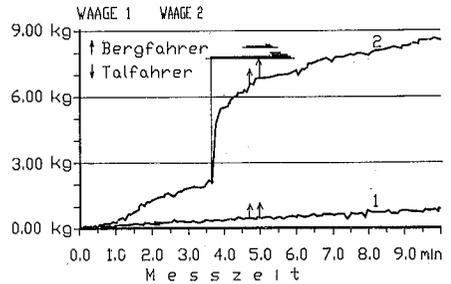


Abb. 7b: Summenlinien einer Sondermessung - Schiffeinfluß -

4. Modernes Meßschiff für den Niederrhein

Das in Abb. 8 dargestellte Meßschiff ist den speziellen Verhältnissen am Niederrhein angepaßt. Durch seine Größe mit einer Verdrängung von rd. 140 m^3 bei Doppelrumpfbauweise und rd. 9,80 m Gesamtbreite besitzt es ein großes Flächenträgheitsmoment. Das ist eine Grundvoraussetzung, um auch bei bewegtem Wasser eine möglichst stabile Lage des Fahrzeugs zu erreichen und um die Genauigkeit der an Bord eingebauten Meßgeräte ausschöpfen zu können. Bei der Installation der Meßsysteme ist besonderer Wert auf eine rationelle und unfallsichere Arbeitsweise gelegt worden.

Das Fahrzeug ist am Vorschiff mit einem ausfahrbaren Ankerpfahl ausgerüstet. Er wird während der Marsch- und Peilfahrt unter dem Deck, aber über dem Wasserspiegel, zwischen den beiden Rümpfen beigeclappt. Bei der Durchführung von Geschwindigkeits-, Abfluß- oder Geschiebemessungen, für die das Fahrzeug entsprechend der Profildbreite je Meßprofil an bis zu 20 vorbestimmten Meßlotrechten verankert werden muß, wird der Ankerpfahl bis zu einer Wassertiefe von 12 m eingesetzt. Die beiden auf dem Vorschiff aufgestellten Seilwinden dienen zur Verankerung des Fahrzeugs bei noch größeren Wassertiefen. Zwei Meßausleger am Bug des Schiffes ermöglichen zwei gleichzeitige Durchflußmessungen mit gegenseitigem Abstand der Meßlotrechten von maximal 25 m. Zwischen den Rümpfen am Heck ist ein motorisiertes Beiboot angeordnet, das über eine hydraulische Bühne von Deckshöhe zum Wasserspiegel abgesenkt wird. Es ist für das Ausbringen der an Land aufzustellenden Meßgeräte vorgesehen, wenn an flachen Ufern die Reichweite der Meßausleger, die auch der Geräteübergabe dienen sollen, nicht mehr genügt. Am Heck des Fahrzeugs sind zwei Hydraulikkranne mit Seilwinden für Feststoffmessungen vorgesehen. Zur ersten Begutachtung der gewonnenen Proben dient der überdachte Meßplatz auf dem Achterschiff mit dem anschließenden Naßlabor.

In dem rd. 35 qm großen, mit guter Rundumsicht ausgestatteten Steuerhaus sind neben dem Fahrpult mit Radaranlage 2 Arbeitstische angeordnet. Dadurch ist eine weitgehende fehlerfreie Kommunikation zwischen dem Schiffsführer und dem Meßpersonal gewährleistet.

Das Einsatzgebiet von rd. 225 km Gewässerlänge macht die Unterbringung des Personals an Bord des Meßschiffes erforderlich, damit das Fahrzeug wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Es sind 5 Schlafplätze und die erforderlichen Sozialräume mit einem Aufenthaltsraum unter Deck vorhanden.

Neben den erforderlichen, modernen, nautischen Hilfsmitteln für die Schiffsführung sind drei vollständige Einrichtungen für Flügelmessungen mit den dazugehörigen Meßwinden und Meßprozessoren sowie zur Bestimmung der Strömungsrichtung an Bord. Ein Geschiebefänger sowie Kleingeräte für Sondermessungen vervollständigen die Gerätschaften.

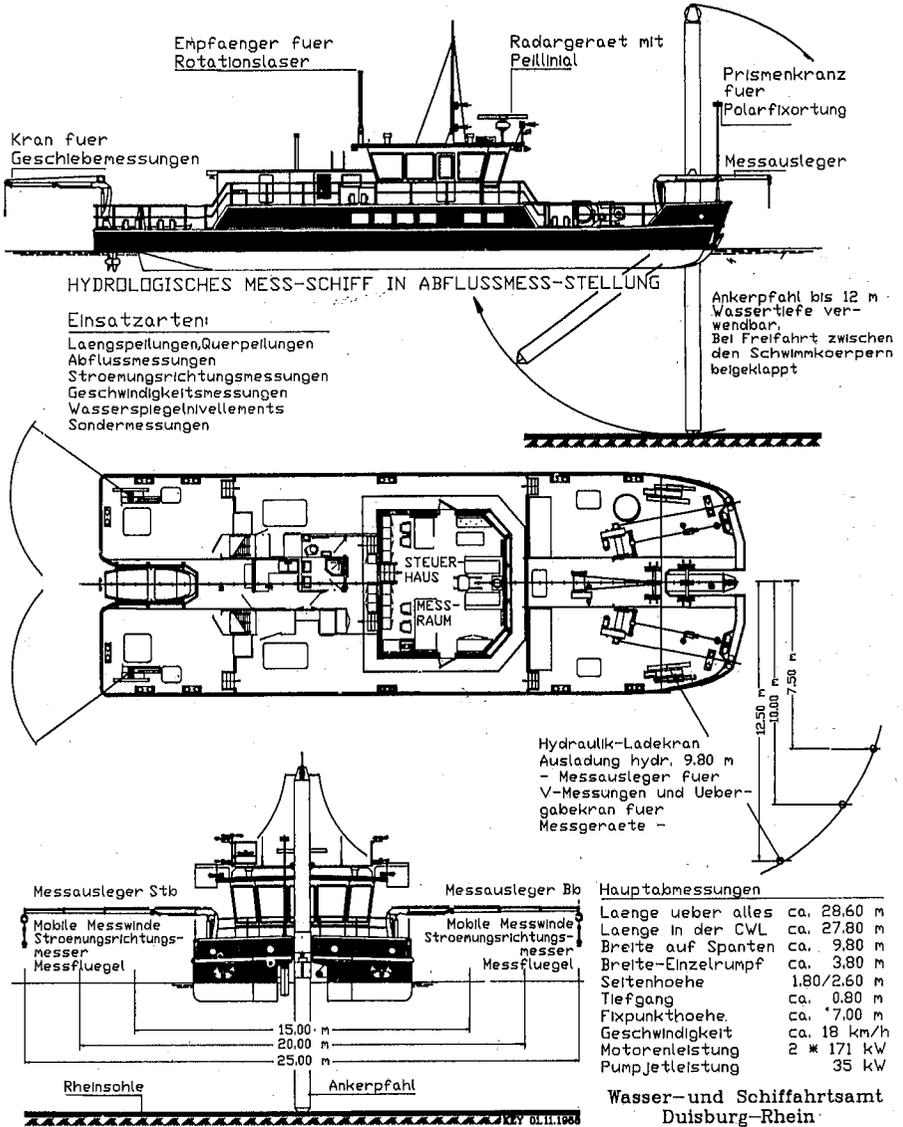


Abb. 8: Hydrologisches Meß- und Peilschiff für den Niederrhein

Peilaufgaben werden mit Hilfe eines KAE (D) SUSY-30-Peilsystems in Verbindung mit einem Niveaulasersystem Spectra-Physics (USA) erledigt. Das SUSY-System besteht im wesentlichen aus der Laserortungsanlage Polarfix, dem Vermessungslot Deso 25 und dem Tischrechner HP-330. Als Peripheriegeraete sind 1 Drucker, 1 Plot-

ter, Rechts-Links-Anzeige für den Schiffsführer und 1 Farbmonitor angeschlossen. Die Bord-Software ist so ausgelegt, daß der Operator Uferanschlüsse, Fahrinnen-daten, Wasserspiegellagen und ein Vergleichsprofil einspielen kann. So wird der Peil-leiter bereits an Bord in die Lage versetzt, die Aufzeichnung kritisch zu beurteilen und Fehler zu erkennen. Es ist damit möglich, sofort zu entscheiden, ob die Fehler ausgemerzt werden können oder ob die Messung wiederholt werden muß. Ebenso wird auch bei der Auswertung der sonstigen gewässerkundlichen Messungen verfahren.

Zusammenfassung

Der Niederrhein ist trotz Festlegung des Mittelwasserbettes und umfangreicher Ein-deichungen im Interesse des Hochwasserschutzes ein Fluß mit freiem Abfluß geblieben. Strömung und stark wechselnde Wasserstände führen zu ständigen Umlagerungen des kiesigen Sohlenmaterials und Schäden an den Strombauwerken. Auch die intensiven anthropogenen Nutzungen im Strombereich durch Siedlung, Landwirtschaft, Schifffahrt, Industrie und Bergbau verursachen immer wieder Eingriffe in das Stromregime, die durch wasserbauliche Maßnahmen ausgeglichen werden müssen. Aus wirtschaftlichen Gründen werden dabei die natürlichen Grenzen, die durch das Abflußregime mit seinen bestimmenden Regimefaktoren (DIN 4049) vorgegeben sind, immer stärker ausgenutzt. Dies und die Vergrößerung der auf der Wasserstraße verkehrenden Schiffseinheiten stellen immer höhere Anforderungen an Umfang, Schnelligkeit und Genauigkeit der Meßverfahren, die zur Überwachung der Wasserstraße und für die Planung und Ausführung der Strombaumaßnahmen notwendig sind.

In den letzten 10 Jahren hat die Anwendung der Datenverarbeitung und Lasertechnik die Leistungsfähigkeit und die Genauigkeit der für die Gewässerüberwachung eingesetzten Geräte auf Meßschiffen und für die Auswertung an Land erheblich verbessert. Die Steigerung der Leistungsfähigkeit der Rechenanlagen, besonders bei der Erfassung und Verarbeitungsgeschwindigkeit großer Datenmengen, ermöglichen eine hohe Ausnutzung der Meßdaten, die in sehr großer Menge und in gegenseitig zeitlicher Abhängigkeit bei der Gewässervermessung anfallen. Die Grundvoraussetzungen für ausreichend genaue Meßergebnisse und hinreichend schnelle und umfassende Auswertung der Messungen, zum Teil schon an Bord (Plausibilisierung), sind damit gegeben.

Im Abschnitt 2.1 wird das Prinzip eines datengestützten modernen Vermessungssystems zur Überwachung der Gewässertopographie und des Zusammenwirkens der einzelnen Geräte erläutert (Abb. 2). In den folgenden Abschnitten 2.2 und 2.3 wird der Einsatz der Lasertechnik zur Verbesserung der Genauigkeit der Ortsbestimmung und vor allem der Höhenwerte dargestellt (Abb. 3 und 4). Als Vorteil ergibt sich hier gegenüber der bisher angewendeten Funkortungstechnik die geringere Störanfälligkeit

keit und die genauere Zielverfolgung durch hochfrequente Laserwellen. Die Verwendung eines Niveaulasersystems macht die Höhenbestimmung (Beschickung) unabhängig von der Unruhe des Wasserspiegels, der das Meßschiff umgibt.

Auf die wichtigsten Aufgaben, Probleme und Möglichkeiten zur Verbesserung der Messungen, die darüber hinaus für die Überwachung des Abflußregimes am Niederrhein notwendig sind, wird in Kapitel 3 eingegangen. Es sind dies der Einsatz der Datentechnik bei Durchflußmessungen, des Rotationslasers bei Gefällemessungen und vor allem der Einbau von sogenannten Geschiebefallen in die Gewässersohle zur automatischen Erfassung des Geschiebetriebs (Abb. 5 bis 7).

Darüber hinaus wird in Kapitel 4 ein modernes Meßschiff für den Niederrhein in Katamaranbauweise mit neuartiger Fixierung durch einen Ankerpfahl beschrieben (Abb. 8), das sowohl für die Gewässervermessung als auch für die sonstigen gewässerkundlichen Messungen eingesetzt werden kann.

Literatur

- [1] Der Bundesminister für Verkehr, Abteilung BW, Bonn, Juli 1987: Untersuchung der Abfluß- und Geschiebeverhältnisse des Rheins – Schlußbericht – (nicht veröffentlicht).
- [2] Hansen, H. und Rüß, G.: Die Sohlenerosion des Niederrheins; Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft 41 (1985/86).
- [3] Behrens, J.: Zur Genauigkeit von Peilungen in der Gewässervermessung; wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Dissertation Nr. 151, Hannover 1988.
- [4] Keydana, W. und Suntrop, H.: Verbesserung gewässerkundlicher Messungen durch Rotationslaser und Radar; Wasserwirtschaft Heft 1/1986.
- [5] Behrens, J.: Entwicklung eines Beschickungsgerätes für Gewässervermessungen; Zeitschrift für Vermessungswesen, Heft 4/1987, Konrad Wittwer Verlag, Stuttgart.
- [6] Teuber, W.: Abflußmessungen mit Meßschiffen – Weiterentwicklung von Meß- und Auswerteverfahren; Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen Heft 5/1986.