

Hydrographische Vermessung von Gewässersohlen von kleinen und mittelgroßen Flussläufen unter Einsatz gekoppelter GPS/Tachymat-Ortungsverfahren

Erwin HEINE, Helmut MADER, Peter MAYR und Stefan SATTLER

1 Einleitung und Problemstellung

1.1 Allgemeines / EU-Wasserrahmenrichtlinien

Im Jahre 2003 erfolgte die Implementierung der EU – Wasserrahmenrichtlinie (WRR) in nationales Recht. Die Umsetzung im Rahmen einer europaweit geordneten Wasserpolitik in den kommenden Jahren und Jahrzehnten verfolgt dabei u.a. insbesondere folgende Ziele:

- Vermeidung der Verschlechterung bzw. Schutz und Verbesserung des Zustandes aquatischer Ökosysteme
- Erreichung eines „guten Zustandes“ für alle Gewässer bis 2015
- Sicherung des guten Zustandes der Oberflächengewässer und des Grundwassers
- Minderung der Auswirkungen von Überschwemmungen und Dürren

Eine zentrale Rolle in der Umsetzung der WRR stellen integrierte Maßnahmenprogramme zur Erreichung der Ziele dar. Die Bewertung des IST Zustandes und des erreichten Zustandes nach Maßnahmenumsetzung erfolgt anhand biologischer, hydromorphologischer und chemisch – physikalischer Qualitätskomponenten.

Der Erfassung der morphologischen Bedingungen wie der Variation der Breiten und Tiefen, der Struktur des Flussbettes und der Uferzone sowie der Struktur des Substrates kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Aus Vergleichsuntersuchungen auf Basis des Gewässermonitorings (Erfolgskontrolle) sind Rückschlüsse auf die Wirkungsweise von Maßnahmen wie Veränderungen an der Gewässersohle (Erosion, Auflandung), der Auswirkung auf Wasserspiegellagen bei Katastrophenabflüssen und der Habitatverfügbarkeit für die benthische wirbellose Fauna und die Fischfauna möglich.

1.2 Hydraulische Modelle und Habitatssimulation

Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung der WRR ist vor allem die Bereitstellung geeigneter Modelle zur Simulation der Wirkungen von Maßnahmen, die im Maßnahmenprogramm ihren Niederschlag finden und letztendlich sukzessive zur Umsetzung gelangen. Projekte geeigneter Restrukturierungsmaßnahmen, die aus schutzwasserwirtschaftlicher und ökologischer Betrachtung zur s.g. „win – win Situation“ und zur umfassenden Zielerreichung führen, müssen bereits im Planungsstadium präzise Aussagen hinsichtlich der Verbesserungen des Zustandes aquatischer Ökosysteme und der Minderung der Auswirkungen von Überschwemmungen enthalten.

Um die komplexen Zusammenhänge zwischen natürlichen Gewässerstrukturen und Gewässerbesiedelung verstehen zu können und in weiterer Folge Reaktionen der Organismen auf Veränderungen im Gewässer abschätzen zu können, wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Habitatanalyse- und Simulationsmodelle entwickelt und sind nunmehr auch als Basis für Planungen von Maßnahmen zur Erreichung der Ziele der WRR in Anwendung.

Unsicherheiten und Ungenauigkeiten in der Erfassung der tatsächlichen Gegebenheiten und der morphologischen Veränderungen der Gewässersohle durch Erosion und Anlandungsprozesse haben teilweise dramatische Auswirkung auf die modellierte Wasserspiegellage bei Hochwasser. Fehlgeleitete Raumnutzungen und/oder eine nicht erkannte Veränderung der Überflutungsgefährdung hochwertig genutzter Räume, aber auch die durch Erosionsprozesse ausgelöste Ausschaltung natürlicher Retentionsräume widersprechen klar den schutzwasserwirtschaftlichen Zielvorgaben der Wasserrahmenrichtlinie.

1.2.1 Topographische Eingangsdaten

Die Verfügbarkeit mehrdimensionaler Simulationsmodelle (Hydraulische-, Morphologische und Habitatsmodelle) erfordern sowohl quantitativ als auch qualitativ ein dichtes Netz an Vermessungsdaten. Um diese Anforderungen zu erfüllen, müssen eine Vielzahl unterschiedlicher Messsysteme verknüpfen werden. Um die Wirtschaftlichkeit in der

Praxis zu gewährleisten, wird versucht, die für die unterschiedlichen Fragestellungen benötigten Informationen in möglichst einem Arbeitsschritt zu erhalten.

Topographische Informationen werden einem Abflussmodell oder einem Habitatsimulationsmodell in Form eines Digitalen Geländemodells (DGM) als regulärer oder irregulärer Raster oder als Längs- und Querprofile zugeführt. Dabei wird die topographische Charakteristik des Fließgewässers je nach Quantität und Qualität der DGM-Daten mehr oder weniger exakt wiedergegeben und beeinflusst dadurch im entscheidenden Ausmaß die Ergebnisse der Abfluss- und Habitatsimulation.

Daneben bildet die exakte Erfassung und Charakterisierung wesentlicher habitatsbeschreibender Komponenten wie Wassertiefen, Fließgeschwindigkeiten, Deckung und Substrat einerseits die Basis für eine theoretische und angewandte limnologische Forschung, andererseits die Grundlage für die Auswahl und Erstellung von Maßnahmenplanungen und deren Umsetzung zur Erreichung eines „guten Zustandes“ der Gewässer.

Das Ergebnis der Simulation einer Wasserspiegellage bei Hochwasser oder der Simulation der Habitatverfügbarkeit im Gewässer ist dabei nur so gut wie die darin zur Anwendung kommenden morphologischen Daten. Dies gilt in besonderem Maße für die verwendeten topographischen Informationen.

1.3 Hydrographische Vermessung

1.3.1 Allgemeines

Der Qualität und Quantität der Daten für künftig zu erstellende Konzepte und Planungen kommt demnach eine große Bedeutung zu. Zusätzlich ist nach Umsetzung von Maßnahmen am Gewässer ein mehrjähriges Monitoringprogramm durchzuführen, um eine Erfolgskontrolle der Eingriffe zu ermöglichen. Beispielhaft sei hier die Auswirkung einer Wehranlage in unterschiedlichen Ausbaubildungsvarianten auf die Hochwassersituation dargestellt (Abb. 1). Durch entsprechende Monitoringkonzepte muss überprüft werden, inwieweit die Modellberechnungen der realen Situation entsprechen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse helfen, die zur Verfügung stehenden Simulationsmodelle weiter zu entwickeln und zu optimieren.

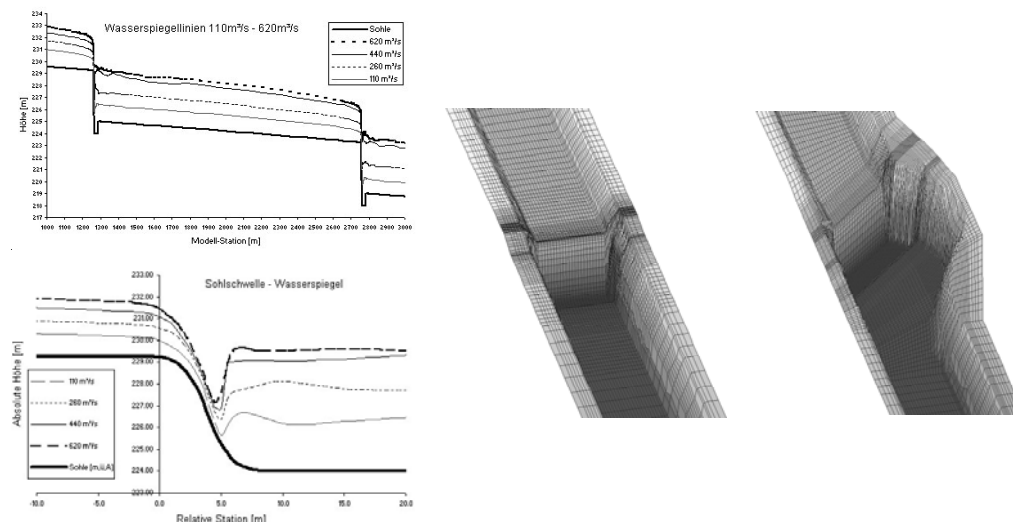


Abb. 1: Variantenstudie Wehranlagenausbildung

Die für wasserwirtschaftliche Planungen benötigten abiotischen Parameter von Gewässern sind neben der Geometrie, die Fließgeschwindigkeit und damit verbunden der Durchfluss, sowie Schwebstoff- und Geschiebetransport. Von Interesse sind besonders morphologische Veränderungen und deren Auswirkungen auf Hochwasserschutz und Ökologie eines Flussgebietes. Anders als an Land sind Gewässerböden unterschiedlich starken Veränderungen durch Strömungseinflüsse, Hochwässer und dergleichen mehr unterworfen. Dadurch werden häufige Wiederholungsmessungen erforderlich, um die aktuelle Geometrie des Gewässerbettes definieren und Veränderungen bestimmen zu können. Da sich die Flusssohle in der Regel pro Jahr nur um wenige cm in ihrer Höhe verändert, ist hier vor allem die Genauigkeit der Höhenwertbestimmung von Interesse. Anlandungs- wie auch Eintiefungstendenzen der Flusssohle und die damit verbundenen Auswirkungen sind für nachhaltige Planungsvorhaben von großer Bedeutung und müssen demnach hochpräzise ermittelt werden [Mayr, 2003].

1.3.2 Anforderungen

Mit dem Inkrafttreten der EU-Wasserrahmenrichtlinie im Jahr 2003 stiegen die Anforderungen an die hydraulische Modellierung sowohl in quantitativer als auch in qualitativer Hinsicht enorm an. Die Zukunft der numerischen Abflussmodellierung liegt in der Simulation bewegter Sohlen. Derzeit liegen aber flächendeckend nur unzureichende Informationen über die Sohlveränderungen mittlerer und kleinerer Fließgewässer vor, um in ausreichender Genauigkeit Eichungen (Voraussetzung qualitativer Aussagen) entsprechender Modelle vornehmen zu können. Die eingesetzte hydraulische 2D-Modellierung bedingt eine hydrographische Vermessung der Flussabschnitte einerseits mit einer höheren Punktdichte und andererseits mit Genauigkeiten im Bereich von wenigen Zentimetern. Diese Anforderungen betreffen jedoch nicht nur große Flüsse wie die Donau, sondern nun auch im verstärkten Maße die mittleren und kleineren Flussläufe.

Neben der hochgenauen Vermessung und deren Wiederholbarkeit spielt dabei die Nachbearbeitung der Messdaten in unterschiedlichen Interpolationssoftwaresystemen zur Erstellung von Geländemodellen eine wesentliche Rolle. Die Vermessung, die Profilanzahl und Lage, sowie die Anordnung von Rastermessungen müssen auf die jeweilige Bearbeitungssoftware abgestimmt werden.

1.3.3 Zielsetzung

Ziel dieser Forschungs Kooperation ist die Entwicklung eines Positionierungs-Echolot-Messsystems für kleinere und mittlere Fließgewässer und Seen, dessen praktische Anwendung, die Überprüfung der Genauigkeiten der erhaltenen Messdaten, der Vergleich unterschiedlicher Systemkomponenten, sowie der Entwicklung geeigneter Mess- und Auswertestrategien.

Durch Echtzeitfusion von Real-Time-Kinematik-GPS-Vermessungskomponenten, Robotic-Totalstationen der tachymetrischen Vermessung und Sigle-Beam-Echolot wird ein hydrographisches Messverfahren entwickelt, welches bereits online im Feld die Ermittlung unterschiedlicher abiotischer Parameter in einem Messgang auch an mittleren und kleineren Flussläufen ermöglicht.

Anforderungen an das Messsystem:

- Komplettsystem (gleichzeitige Bestimmung mehrerer Parameter)
- Baukastensystem (Einsatz für unterschiedliche wasserbauliche Fragestellungen)
- Höchstmögliche Messgenauigkeit und deren Überprüfbarkeit
- Geringe Messzeit, geringer Nachbearbeitungsaufwand
- Geringer Personalaufwand
- Mobile (vom Bootstyp unabhängige) und allwettertaugliche Ausführung

2 Peilung mit GPS/TPS basierten Ortungskomponenten

2.1 Stand Alone Ortungssysteme

Moderne RTKGPS-Systeme oder zielverfolgende Servotachymeter ("Terrestrial Positioning System" TPS) ermöglichen durch die Kombination einzelner Komponenten mit intelligenten Steuer- und Auswertelgorithmen viele neue Anwendungsbereiche in der hydrographischen Vermessung. Mit diesen GPS-satellitengestützten beziehungsweise terrestrischen Positionierungssystemen kann die Trajektorie einer beliebigen Messplattform (Boot etc.) automatisch bestimmt werden. Dabei erfolgt die Messung nicht streng kontinuierlich, sondern besteht aus diskreten Einzelmessungen mit maximalen Taktraten zwischen 5 Hz (TPS) und 20 Hz (GPS). Im Falle einer Bewegungsgeschwindigkeit in der Flußvermessung von 1m/s bedeutet dies, dass die Position des Messbootes mit dem TPS-System alle 20cm und mit dem GPS-System sogar alle 5cm neu bestimmt werden könnte.

Die Genauigkeit bei der 3D-Positionierung im kinematischen Messmodus liegt bei Instrumenten der neuesten Generation in Labortestumgebung bei wenigen Zentimetern. Die im praktischen Einsatz schlussendlich erzielbaren Genauigkeiten hängen - sowohl beim GPS als auch beim TPS - bekannterweise sehr von der jeweiligen Arbeitsumgebung ab.

Bei den in den vergangenen zwei Jahren auf kleinen und mittleren Fließgewässern durchgeführten Projekten zeigte sich, dass ein alleiniger Einsatz von zielverfolgenden Servotachymetern zur Ortung des Echolotsystems sehr kostenintensiv und in vielen Fällen nicht effizient ist. Dichter Uferbewuchs erfordert unzählige Standpunktwechsel des

TPS-Sensoren und führt dadurch zu enormen Stehzeiten für das hochspezialisierte und somit teure Bootspersonal. Peilungssysteme mit RTKGPS-Ortung stellen hier eine gebräuchliche Alternative dar, liefern jedoch für hochgenaue hydrographische Vermessungsarbeiten (z.B.: Stauraumverlandung, Sohleintiefung) noch nicht die geforderte Genauigkeit von $\pm 3\text{cm}$ in der Höhe. Um eine effiziente und hochgenaue Sohlgrundvermessung auch in diesen Messbereiche zu garantieren, ist es also notwendig, das RTKGPS-Positionierungssystem mit weiteren Sensoren zu fusionieren [siehe dazu auch Stempfhuber, 2004].

Des weiteren weist die Topographie kleiner und mittlerer Flüsse aber in vielen Fällen steile Flussufer, einen dichten, weit in den Fluss ragenden Uferbewuchs und auch oft sehr schmale Flussläufe auf. Dies führt bei der GPS-Positionierung zu Schwierigkeiten in der Positionsbestimmung. Durch die eingeschränkte Sicht zu den Satelliten ergeben sich vielfach schlechte Satellitengeometrien und Signalabschattungen. In der Folge ist eine RTKGPS-Positionsbestimmung nicht mehr möglich. Es kann dann nur mehr eine DGPS-Positionierung mit Genauigkeiten im Bereich von $\pm 0.5\text{m}$ durchgeführt werden. In manchen Flussabschnitten werden Signale von weniger als 4-Satelliten empfangen, sodass eine Positionierung über GPS überhaupt nicht mehr möglich ist.

Erfahrungen aus vorangegangenen Projekten haben gezeigt, dass auch auf kleinen Flussläufen je nach Topographie zwischen 60% und 85% der Messungen mit RTKGPS-Positionierungen möglich sind. Die Hauptschwierigkeit liegt jedoch darin, dass eine Vorhersage der zu erwartenden GPS-Messqualität in den jeweiligen Messabschnitten nicht effizient möglich ist. Einerseits kann die Dichte und der Umfang einer Überschirmung durch den Uferbewuchs nicht genau genug im Voraus berechnet werden, und andererseits verändert sich aufgrund der Bewegung der GPS-Satelliten ständig ihre Geometrie. Dies bedeutet insbesondere für die Problemgebiete, dass eine RTKGPS-Positionierung nicht nur von der Topographie sondern auch vom Messzeitpunkt abhängig ist [Heine, 2001].

Es verbleiben also 15% - 40% „weiße Flecken“ oder „Totbereiche“, in denen keine ausreichende Positionierung mit GPS möglich ist. Wo sich diese Bereiche im Messabschnitt befinden zeigt sich mit Gewissheit erst während des Messeinsatzes.

2.2 Hybride Ortungssysteme auf Messschiffen

Die Entwicklungen auf dem Gebiet der kinematischen Trajektorienbestimmung mittels Multisensorsystemen [siehe dazu Grün & Kahmen, 2001] führten dazu, dass seit einigen Jahren bei der kinematischen Vermessung des Sohlgrundes größerer Flüsse (wie etwa des Rheins oder der Donau) zielverfolgende Servotachymeter oder RTKGPS-Messsysteme gestützt durch weitere Sensoren eingesetzt werden [Köhler & Arth, 2003]. Die Integration zusätzlicher Sensoren, wie Richtungssensoren (elektronischer Kompass), Neigungs- und Bewegungssensoren (Gyroskop) und Beschleunigungssensoren (INS) erlaubt eine wenige cm-genaue Bestimmung der Trajektorien in Gebieten mit kurzzeitig schlechter GPS-Signalqualität.

Solcherart ausgestattete Vermessungsschiffe verfügen zwar über die Möglichkeit um auch die in Kap. 1.3.2 besprochenen hohen Genauigkeitsanforderungen erfüllen zu können, sind jedoch in ihrem Einsatz aufgrund ihrer Größe und ihres Tiefganges auf Meeresbuchten, Hafenbecken oder entsprechend großen Binnenseen und Flüssen beschränkt.

Ein effizienter Einsatz derartiger Messplattformen ist auf kleineren und mittleren Flüssen aus folgenden Gründen nicht möglich:

- geringe Wassertiefe sowie starke Schwankungen des Wasserstandes innerhalb einiger Tage verhindern ein befahren des Flusses mit solchen Vermessungsschiffen.
- geringe Flussbreite mit Steinblock-Ufersicherungen bedingen enge Bootsmanöver mit sehr geringen Geschwindigkeiten (teilweise Stillstand und Rückwärtsfahrt); Aufgrund der systemspezifischen Eigenschaften von INS-Systemen ist anzunehmen, dass dies zu sehr starker Schwächung oder sogar zum Verlust einer effizienten INS-Stützung des RTKGPS-Positionierungssystems führt.
Bis dato gibt es noch keinerlei praktische Erfahrungen oder umfassende Untersuchungen über die Eignung dieser Systeme für Trajektorienbestimmung von kleinen Messplattformen. Das Beschleunigungs- und Bewegungsverhalten von tonnenschweren Vermessungsschiffen [siehe auch Andree, 2001] unterscheidet sich grundlegend von einem sich auf dem Fluß befindlichen Boot mit Außenbordmotorantrieb.
- Ein unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht zu vernachlässigender Faktor sind sicherlich auch die Anschaffungskosten derartiger Multisensormessplattformen, die je nach Sensorausstattung mehrere hundert Tausend Euro betragen.

2.3 Peilung mit gekoppeltem GPS/TPS Ortungssystem

Unter Koppelung von GPS und TPS Ortungssystemen wird hier die Kombination von RTKGPS mit einem zielverfolgenden Servotachymeter in einer sich komplementierenden Art verstanden. In Anlehnung an den Begriff der Koppelnavigation wird in diesem Fall das TPS-System zur Überbrückung der RTKGPS-Positionierungslücken eingesetzt. Für Sohlgrundvermessungen mit besonders hohen Genauigkeitsanforderungen erfolgt eine permanente gemeinsame Nutzung der beiden Ortungssysteme (siehe Kapitel 2.3.3: Projekt Salzach-Sohlstufe). Die in diesem Fall notwendige hochpräzise Synchronisation der Ortungssysteme basiert auf der alle Teilsysteme verbindenden GPS-Zeit (siehe Kapitel 2.3.4).

2.3.1 Messsystem

Das System ist so konfiguriert, dass RTKGPS das primäre Ortungssystem für die Peilung darstellt (Abbildung 2). Nach Ausfall der RTKGPS-Positionierung (aufgrund von nicht ausreichender Satellitensignalqualität, -anzahl oder -geometrie) wird das fehlende Trajektorienstück über ein TPS-System bestimmt.

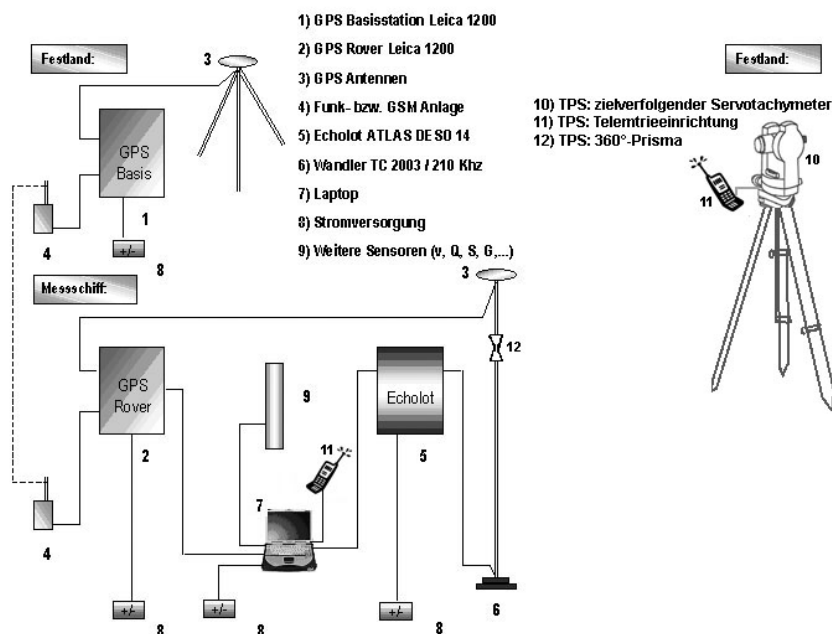


Abb. 2: Schematische Darstellung des Peilsystems

2.3.2 Messablauf

In vielen Fällen ist bei Vermessungsfahrten auf kleineren Flüssen nicht abzusehen, an welcher Stelle ein Ausfall der RTKGPS-basierten Ortung auftreten wird (Abbildung 3). Um einen effizienten Einsatz des Systems zu gewährleisten befindet sich das TPS-System während der Messfahrt in „Bereitschaft“ jedoch nicht im Stillstand. Die TPS-Messtruppe wird in der Zeit die notwendigen ergänzenden Aufmessungen des Flussraumes, wie Einbauten oder Wasseranschlagslinie etc. durchführen. Kommt es dann in einem Flußabschnitt zum Ausfall der RTKGPS-Ortung am Messboot, so wird über Funk/GSM dem TPS-Messtrupp der Bereich der notwendigen TPS-gestützten Ortung mitgeteilt und die auf RTKGPS-gestützte Peilung außerhalb des „Totbereiches“ fortgesetzt. Nach dem Eintreffen der TPS-Messtruppe im besagten Gebiet wird die hydrographische Messfahrt des Bootes unterbrochen und es werden außerhalb des Totbereiches mit Hilfe der am Boot befindlichen RTKGPS-Ausrüstung Anschlusspunkte für die Stationierung und Orientierung des TPS-Systems bestimmt. Aufgrund der gegebenen Mobilität der Bootsmesstruppe geht dies auch in sonst extrem unwegsamen Ufergebieten sehr schnell. Als Stationierungsmethode hat sich hier die „Freie Stationierung“ als äußerst effizient herausgestellt. Nach erfolgter Installation hängt sich der vollautomatisch zielverfolgende Tachymeter an den sich am Boot befindlichen Reflektor und es wird eine Funkverbindung zwischen TPS-System und Messlaptop hergestellt. Ab nun bezieht das Peilungssystem die Ortungsinformation vom TPS-System und es können die „Totbereiche“ mit der Genauigkeit des TPS-Messsystems hydrographisch vermessen werden.

Einschränkungen im Einsatzes des TPS-Systems ergaben sich unter zwei Umständen:

- 1) Nebel über dem zu bearbeitenden Flußabschnitt:
Dieser Zustand ist schon zum Zeitpunkt der Detektion der „Totbereiche“ erkennbar und führt somit zu keiner unnötigen Aktivierung der TPS-Messtruppe.
- 2) Reflexionen des Sonnenlichtes an der Wasseroberfläche in Richtung des einzumessenden Reflektors (besonders bei niedrigem Sonnenstand):
Da die TPS-Messungen zeitversetzt zur RTKGPS-Messung erfolgt ist eine Abschätzung dieses Einflusses nur schwer möglich (Abbildung 4)



Abb.3: Topographie eines Flussteiles der Drau



Abb.4: Störende Sonnenlichtreflexionen

Treten RTKGPS-Positionierungs-„Totbereiche“ in Abständen von wenigen Kilometern zueinander mehrmals auf, so werden in diesem Messabschnitt zuerst die RTKGPS-fähigen Bereiche komplett bearbeitet und im Anschluss daran wird die TPS-Vermessung durchgeführt.

2.3.3 Praktische Realisierung

Vermessung Salzach-Sohlstufe in der Stadt Salzburg

Schutzwasserbauliche Bauwerke, wie Sohlstufen und Wehranlagen müssen aufgrund extremer physikalischer Beanspruchungen in regelmäßigen Abständen überprüft werden. Zur Verdeutlichung dieser Problematik wird beispielhaft die Vermessung der Sohlstufe in der Stadt Salzburg angeführt. Durch das Hochwasser im August 2002 traten bei der Sohlstufe deutlich erkennbare Schäden auf. Es stellte sich daher die Frage, inwieweit auch im Tosbeckenbereich strukturelle Schäden existieren. Durch die strömungstechnisch äußerst schwierige Situation im Tosbeckenbereich sind herkömmliche Vermessungsmethoden (z.B. Stangenlotung) nicht möglich. Gleichzeitig erfordert eine derartige Fragestellung ein hohes Maß an Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Daten. Die drängende Frage in diesem Fall war, ob und in welchem Umfang Instandhaltungsmaßnahmen zur Sicherung des Bauwerkes durchzuführen sind. Die Sohlgrundmessungen wurden auf einer Länge von rund 450m in Querprofilen mit Abstand ca. 30m durchgeführt und in Nähe der Sohlstufe (Kolkbereich) verdichtet. Durch synchronen Einsatz des gekoppelten RTKGPS/TPS-Systems zur Ortung des Echolotschwingers (210kHz mit Öffnungswinkel von 3° für die Sohlvermessung) konnte der zu untersuchende Abschnitt mit einer Genauigkeit von besser als ein Dezimeter vermessen werden. Die daraus resultierenden Sohlhöhen, bezogen auf die Meereshöhe, sowie in Relation zur Wasserspiegeloberfläche stehen in Form eines feinmaschigen Geländemodells mit einer Rasterweite von 25x25cm den weiteren Analysen zur Verfügung (siehe auch Farbtafel im Anhang).

Sohlgrundvermessung der Salzach im Bereich Oberndorf/Laufen

Eine der Besonderheiten dieser Sohlgrundvermessung bestand darin, dass sich die Salzach im Projektbereich stark eintieft und sich direkt unterhalb der bestehenden Sohle leicht erodierbare Seetonschichten befinden. Bei Erreichen der Seetonschicht entstehen an der Sohle schmale, aber tiefe Erosionsspalten, welche sich im Hochwasserfall sehr rasch vergrößern und zu großen Problemen für die Uferstabilität führen können. Diese Strukturen sind nur durch ein dichtes Vermessungsnetz und einer dafür geeigneten Messanordnung zu lokalisieren. Dazu wurden dreihundert Profile in einem Abstand von jeweils 10m zueinander gefahren. Abbildung 5 zeigt einen Auszug aus den Ergebnissen der Vermessung und der nachfolgenden Modellierung.

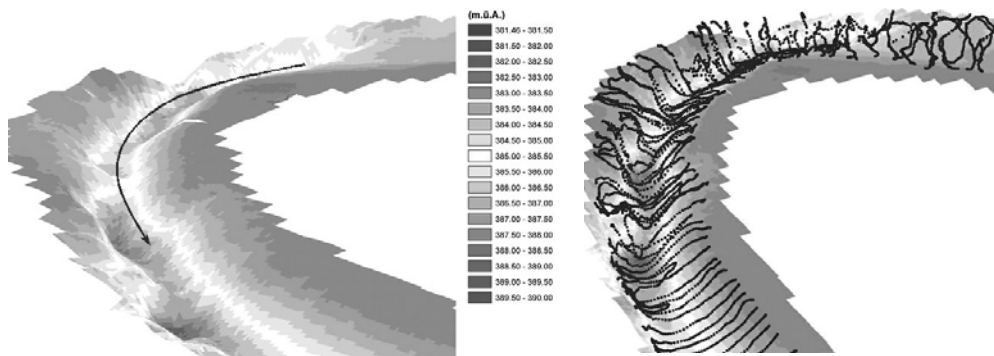


Abb. 5: DGM des Salzachbogens überlagert mit den gemessenen Flussprofilen

2.3.4 Kalibrierung und Genauigkeitsuntersuchungen – Lobau/Donau

Im praktischen Einsatz des Messsystems auf kleinen Flüssen zeigte sich, dass die erreichten Genauigkeiten oftmals signifikant von denen in den oben zitierten Untersuchungen abweichen. Fehlpositionierungen im Bereich von einigen Dezimetern wurden sowohl bei TPS- als auch bei RTKGPS-georteten Positionen festgestellt. Um die auf das System einwirkenden Fehlerquellen zu eruieren und in der Folge gesicherte Aussagen über die erzielbare Genauigkeit tätigen zu können, wurde eine umfassende Untersuchung des Gesamtsystems initiiert. Als Versuchstrecke diente die Neue Donau südlich der Steinspernbrücke. Mit dem RTKGPS-System Leica GX1203 und den TPS-Instrumenten Leica TCRA1203 der Firmen r&a Rost sowie Trimble ATS der Firma Geodäsie Austria kam dabei die derzeit modernste am Markt befindliche Ortungstechnologie zum Einsatz. Neben der Frage der Synchronisation der Einzelsysteme steht bei dieser Untersuchung vor allem die Frage nach dem Verhalten der TPS-Sensoren im Falle stark beschleunigter Prismenbewegungen im Vordergrund (Abbildung 6). Derartige Bewegungen treten besonders bei der Vermessung in den Schwallzonen von Flüssen auf, die beispielsweise durch Kolke oder andere bedeutsame Sohlformationen verursacht werden.

Die Ergebnisse der ersten Auswertungen zeigen, dass die jeweiligen Ortungssysteme gravierende Unterschiede in den Positionierungen ergeben. Weitere Analysen der Daten sowie weiterführende Messfahrten sind derzeit zur Detektion der Ursachen dieser Abweichungen und in Hinblick auf eine Qualitätssteigerung der hydrographischen Vermessung notwendig.

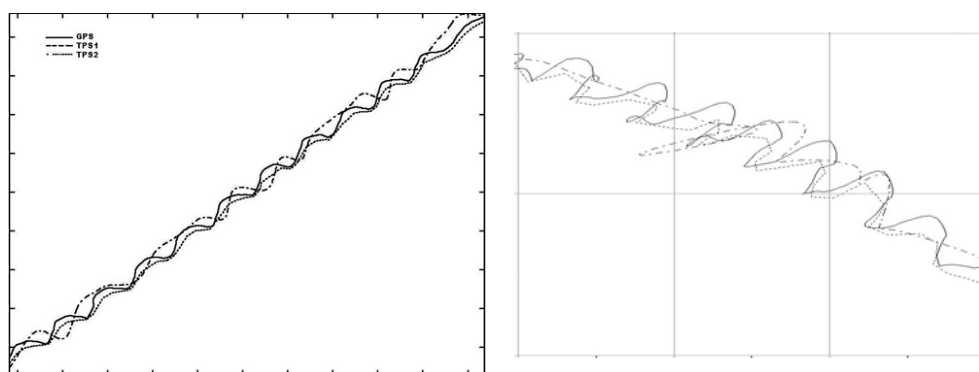


Abb. 6: Abweichungen der von RTKGPS- und zwei TPS-Ortungssystemen aufgezeichneten Bootsfahrt (Rasterweite der beiden Ausschnitte: jeweils 1m)

3 Zusammenfassung und Ausblick

An der Universität für Bodenkultur wurde in Kooperation mit dem auf hydrologische Modellierung spezialisierten Ingenieurbüro „Flussbau Mayr&Sattler“ ein für den Einsatz auf kleinen und mittleren Flussläufen konzipiertes, hydrographisches Vermessungssystem entwickelt. Die Ortung dieses Multisensorsystems erfolgt dabei durch temporäre Koppelung von RTKGPS- und zielverfolgendem Servotachymeter. Der zuschaltbare TPS-Sensor, welcher die Bootstrajektorie bei Bedarf vom Uferbereich aus verfolgt, stellt derzeit die effizienteste Lösung für diese Aufgabenstellung dar. Neben dem Einsatz für die Trajektorienbestimmung des Messbootes ist der TPS-Sensor höchst effizient in der begleitenden Flussraum-Umlandvermessung einsetzbar.

Die simultan erfassten Daten des Lotungssystems werden in Echtzeit über den gemeinsamen GPS-Zeitstempel in der hydrographischen Datenbank verknüpft. Anhand der resultierenden hochgenauen digitalen Geländemodelle können wichtige, die morphologischen Veränderungen der Gewässer betreffende Fragestellungen quantifiziert werden. Aus der multitemporalen Vermessung gleicher Gewässerabschnitte sind sowohl Erosions- als auch Sedimentationstendenzen zahlenmäßig erfassbar. Aktuell durchgeführte Vermessung der Sohlstufe der Salzach im Stadtgebiet von Salzburg sowie Flussbaustrecken auf der Drau und der Mur belegen die Effizienz des entwickelten Verfahrens im praktischen Einsatz.

Nachfolgende Forschungsprojekte sollen weitere Entwicklungsschritte hinsichtlich der erzielbaren Genauigkeit und einer flexiblen Anwendung des Komplettsystems bringen. Die Adaption weiterer Komponenten zur Ermittlung von Geschiebe- und Schwebstoffdurchgang, sowie der Messung von Dichteströmen in Seen sollen in Zukunft das Komplettsystem ergänzen.

Literatur

- Andree, P. et al. (2003): Bestimmung von Schiffsbewegungen und anderen hochfrequenten Bewegungen mittels GPS. DGON Symposium Ortung + Navigation 2000.
- Grün, A. & Kahmen, H. (2001): Optical 3-D Measurement Techniques V, Institute of Geodesy and Geophysics. University of Technology, Vienna.
- Heine, E. (2001): GPS based documentation of agricultural landscape structures in densely forested areas. In: United Nations Office for Outer Space Affairs, Vienna (Ed.): "The Use of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) for Aisa-Pacific Region". Kuala Lumpur, Malaysia.
- Köhler, G. & Arth C. (2003): Von der Sondierstange bis zum Flächenecholot – vom Maßband bis zum GPS. Tagungsbeitrag am 18. Hydrographentag in Wien. Deutsche Hydrographischen Gesellschaft.
- Mayr P. (2003): Weiterentwicklung von Messtechnik und Methodiken im Wasserbau. Dissertation. Universität für Bodenkultur Wien.
- Stempfhuber, W. (2004): Ein integritätswahrendes Messsystem für kinematische Anwendungen. Dissertation. Technische Universität München.

Autoren

DI Dr. Erwin Heine
Institut für Vermessung, Fernerkundung
und Landinformation (IVFL)
Universität für Bodenkultur Wien
Peter-Jordan-Strasse 82
A 1190 Wien, Austria
Email: erwin.heine@boku.ac.at
<http://homepage.boku.ac.at/eheine/>

Ao.Univ.Prof. DI Dr. Helmut Mader
Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau (IWHW)
Universität für Bodenkultur Wien
Muthgasse 18
A 1190 Wien, Austria
Email: helmut.mader@boku.ac.at
<http://www.wau.boku.ac.at/hmader/>

DI Dr. Peter Mayr & DI Stefan Sattler
Flussbau Mayr&Sattler
Anton Frank Gasse 13/1
A 1180 Wien, Austria
Email: office@flussbau.at
<http://www.flussbau.at/>

Anhang

Salzachvermessung: Sohlstufe und Bereich Oberndorf

