

TELEMATIK AN DER DONAU
UNTERSTÜTZUNG DER NAVIGATION UNTER BERÜKSICHTIGUNG
HYDROLOGISCHER EINFLÜSSE

Jürgen Kellermann, Andreas Schmidt und Dominik Kumer
Bundesanstalt für Wasserbau, Kußmaulstr. 17, D-76187 Karlsruhe, Deutschland
juergen.kellermann@baw.de, andreas.schmidt@baw.de, dominik.kumer@baw.de

Zusammenfassung: In diesem Vortrag wird das zur Unterstützung der Schifffahrt entwickelte System ARGO mit seinen wesentlichen Komponenten beschrieben. Insbesondere die dazu notwendige Modellaufbereitung der hydrodynamisch-numerischen Modelle zur Berechnung von Wasserspiegellagen am Beispiel der Donau im nautisch schwierigen Bereich Straubing – Vilshofen und der Einfluss der hydrologischen Randbedingungen auf die Genauigkeit der ermittelten Wasserstände soll hier im Mittelpunkt stehen.

Schlüsselworte: Navigation, Telematik, ARGO, RIS

TELEMATICS FOR THE DANUBE RIVER
NAVIGATION SUPPORT WITH REGARD TO HYDROLOGICAL EFFECTS

Abstract: This paper describes the main features of the ARGO system which was developed to support navigation. The focus is on the preprocessing of the hydrodynamic-numerical models for the calculation of water levels in the reach between Straubing and Vilshofen at the Danube River which is difficult to navigate. The influences of the hydrologic conditions on the accuracy of the water levels are illustrated.

Keywords: navigation, telematics, ARGO, river information services, RIS

1. Einführung

Zur Nutzungsoptimierung von Wasserstraßen werden in mehreren Ländern zunehmend Informationssysteme eingesetzt. Einen Überblick dieser Systeme wurde durch eine PIANC-Arbeitsgruppe zusammengestellt (PIANC, 2002). An Wasserstraßen der Bundesrepublik Deutschland wurde in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) ein neues Informationssystem für die Binnenschifffahrt konzipiert, das aus den Komponenten "Advanced River Navigation" (ARGO), „Elektronisches Wasserstraßeninformationssystem“ (ELWIS) und „Melde- und Informationssystem Binnenbereich / Moselverkehrserfassungssystem“ (MIB/MOVES) besteht (Oberheim et al., 2002). Im Folgenden wird über das Teilprojekt ARGO berichtet.

ARGO ist ein Informationssystem für den Schiffsführer an Bord zur Fahrtvorbereitung und zur Navigationsunterstützung während der Fahrt. Es umfasst folgende Komponenten:

- die Darstellung elektronischer Karten in einem erweiterten ECDIS-Standard (Electronic Chart Display and Information System) auf dem Steuerstand,
- die Einblendung von Gewässerbereichen, die einen gewählten Tiefenbedarf überschreiten. Dies ist abschnittsweise in Abhängigkeit zugehöriger Pegelstände realisiert,
- ein integriertes System zur Positionsermittlung mittels DGPS zur Zentrierung der ECDIS-Karte auf die aktuelle Schiffsposition und
- die Überlagerung der ECDIS-Karte mit dem Radarbild während der Fahrt zur Lokalisierung anderer Schiffe, deren Geschwindigkeiten durch Pfeile dargestellt werden.

Das Gerät an Bord des Schiffes sieht eine automatische Nachführung der Darstellung der elektronischen Karte an die aktuelle Position und Richtung des Schiffes vor. Ein Beispiel ist in Bild 1 dargestellt. Bild 1 zeigt ein Navigationsdisplay auf dem Steuerstand eines Schiffes am Rhein.

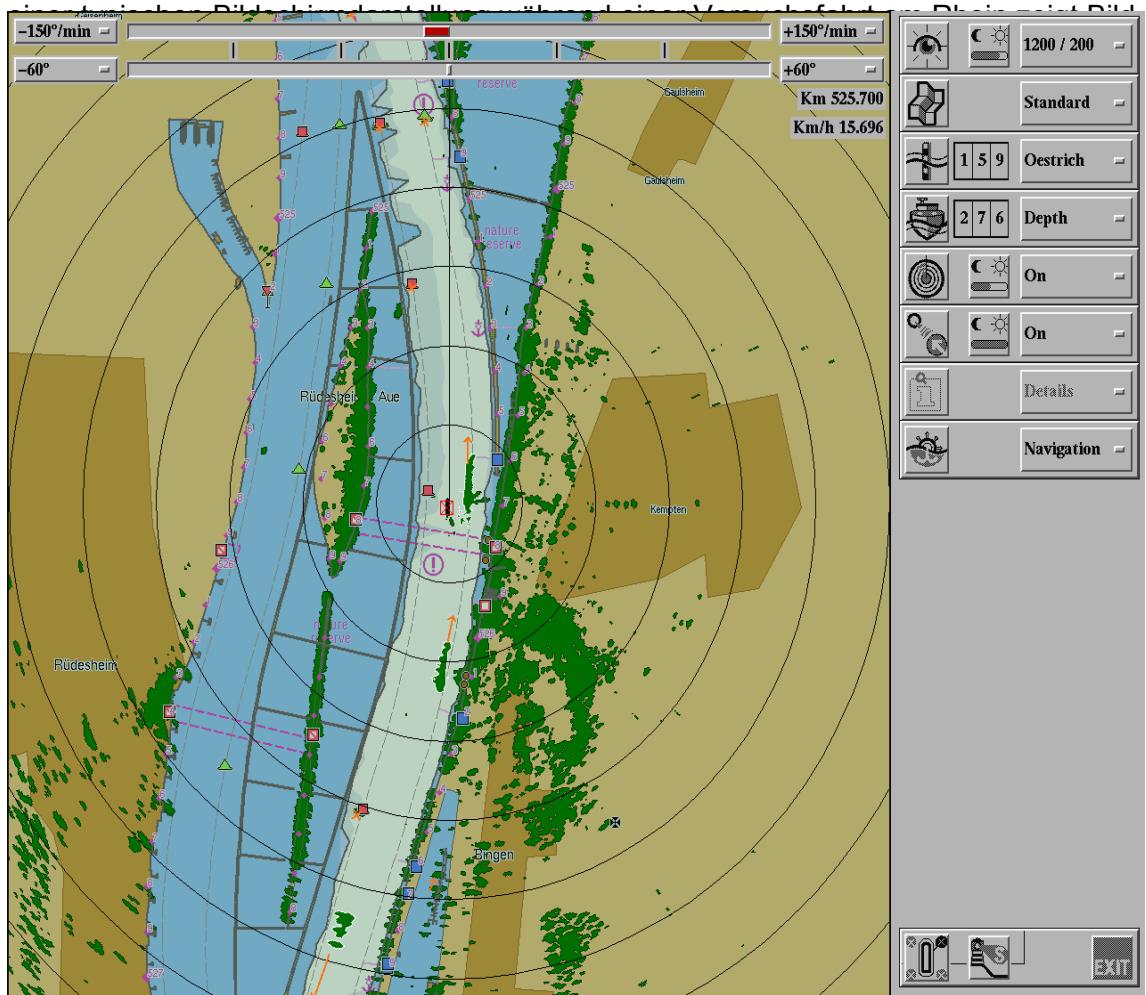


Bild 1. Navigationsdisplay auf dem Steuerstand (PIANC, 2002)

Zusätzliche Vorteile durch die Verwendung von ARGO ergeben sich für die Navigation bei Dunkelheit und Nebel, da der Schiffsführer nicht mehr ausschließlich auf die Unterstützung durch Radar angewiesen ist. Dadurch wird die Sicherheit und Leichtigkeit verbessert und das Havarierisiko gesenkt. Die nutzbaren Fahrzeiten, insbesondere im Winterhalbjahr, können verlängert und somit Transportkosten verringert werden.

Dieses System wird zur Zeit am Rhein in einer Testphase durch Fahrzeuge der WSV und der gewerblichen Schifffahrt erprobt. Um auch den schwierigen Schifffahrtsbedingungen an der deutschen Donau im Abschnitt Straubing – Vilshofen Rechnung zu tragen, wird derzeit ein erster Pilotbetrieb auf dem genannten Teilabschnitt vorbereitet. Diese Strecke ist gekennzeichnet durch enge Krümmungen und eingeschränkte Tiefen- und Breitenverhältnisse, so dass Begegnungen nur begrenzt möglich sind. Insbesondere in den Krümmungen wird durch den erhöhten Breitenbedarf die Navigation langer Schiffsverbände erschwert. Hier ist bei Niedrigwasser die nutzbare Breite des Flusses durch Kiesablagerungen am Innenufer des Flusses zusätzlich eingeschränkt und gleichzeitig der Breitenbedarf aus fahrdynamischen und geometrischen Gründen vergrößert (Bild 2). ARGO unterstützt die Streckenkenntnis des Schiffsführers und erlaubt ihm, die zur Verfügung stehende Breite besser auszunutzen.



Bild 2. Breitenbedarf eines längsgekoppelten 2er Schubverbandes auf dem Rhein bei St. Goar

2. Beschreibung wesentlicher Engstellen der Teilstrecke Straubing - Vilshofen

Die Strecke Straubing – Vilshofen (Bild 3) wurde mehrmals im Rahmen der IHP/OHP-Donaukonferenzen thematisiert (Kellermann und Söhngen, 1998; Kellermann und Söhngen, 2000), so dass an dieser Stelle auf eine detaillierte Beschreibung der Strecke verzichtet und nur auf die für ARGO wesentlichen Randbedingungen eingegangen wird. Der genannte Abschnitt hat derzeit eine, auf den Regulierungswasserstand (RNW) bezogene, zu unterhaltende Fahrrinnentiefe von 2,0 m und eine Fahrrinnenbreite von ca. 70 m.

Die Strecke ist durch mehrere schifffahrtliche Engstellen gekennzeichnet. Im Bereich von Reibersdorf und zwischen Mühlham und Hofkirchen liegen in den Krümmungen mit Radien z.T. unter 500 m bei kleinen Fahrrinnenbreiten nautisch schwierige Bereiche vor. Im Bereich Bogen, Pfelling und Mariaposching liegen mehrere Breiten- und Tiefenengstellen. Der Bereich zwischen der Isarmündung und Osterhofen stellt bei Niedrigwasser die wesentliche abladebestimmende Stelle dar. Eine ausgeprägte Morphodynamik führt zusammen mit dem hohen Gefälle von ca. 0,4 % zu örtlichen Tiefenengstellen (Bild 4). Durch teilweise schwache Motorisierungen sind seitlich gekoppelte Schiffsverbände teilweise nicht in der Lage, bei niedrigen Wasserständen und Bergfahrt die Isarmündung zu erreichen, da die Strömungsgeschwindigkeit die Größe der möglichen Schiffsgeschwindigkeit annehmen und somit die Schiffsgeschwindigkeit über Grund zu Null werden kann. Einen Havarieschwerpunkt bildet die Felsstrecke im Bürgerfeld, da hier bei mittleren Wasserständen die kleinsten Wassertiefen auftreten. Sohlberührungen führen durch die Felssohle zu z.T. erheblichen Schäden an den Schiffen. Eine genauere Kenntnis der

Gewässersohle durch die Schifffahrt kann somit die Sicherheit und die Leistungsfähigkeit der Wasserstraße erhöhen.



Bild 3. Skizze des Modellgebiets mit wesentlichen schifffahrtlichen Randbedingungen

3. Probefahrt mit HN-Modell des Donauausbaus

Für den im Jahr 2002 geplanten Probefahrt wurden Schiffe der WSV mit der erforderlichen Infrastruktur ausgerüstet. Um die vergleichsweise kurzfristige Zeitschiene des Probefahrts nicht zu gefährden, wurde vorläufig das 1D-HN-Modell, das bei den Untersuchungen zum Donauausbau Straubing – Vilshofen Verwendung fand, für die Nutzung in ARGO aufbereitet. Es handelt sich dabei im Fließquerschnitt um den Sohlzustand des Jahres 1998 mit Vorlanddaten, die sich im Wesentlichen auf die Befliegung von 1997 stützen.

Da dieses Modell für die politische Grundsatzentscheidung zum Donauausbau entwickelt wurde und somit speziell auf die Ermittlung von Veränderungen abiotischer Kenngrößen in Fluss und Vorländern optimiert wurde, weist es u.a. bezüglich räumlicher Auflösung und Aktualität der Eingangsdaten für absolute Aussagen zu Wasserspiegellagen im Bereich der Fahrrinne eine nur verminderte Aussagegenauigkeit auf. Für den Wirkbetrieb von ARGO sind jedoch bei schiffbaren Wasserständen möglichst genaue Angaben zu Fließtiefen erforderlich. Aus diesem Grund weisen künftige Modelle Querprofilabstände von ca. 100 m auf.

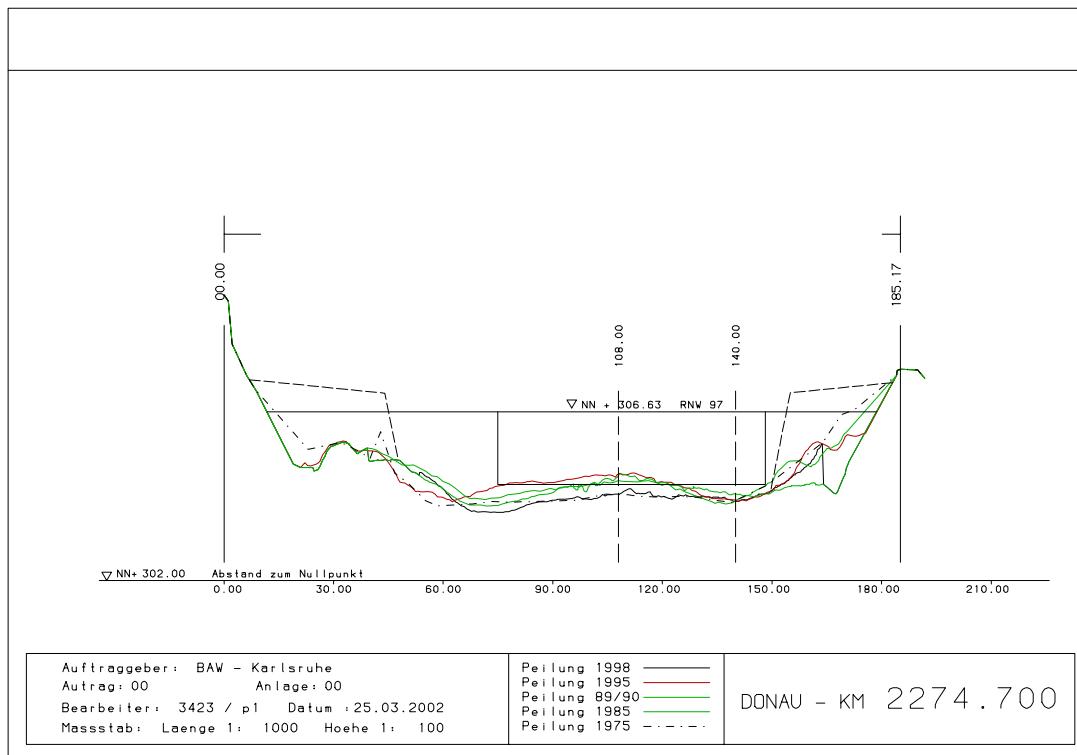


Bild 4. Querprofil der Donau in der Nähe von Niederalteich in verschiedenen Jahren

Da die Gewässersohle seit ca. 3 Jahren nicht mehr in Form von Querprofilpeilungen, sondern in Form von Flächenpeilungen erfasst wird, liegt es nahe, sich die Querprofile des Berechnungsmodells aus einem Geländemodell zu erzeugen. Durch die Darstellungsmöglichkeiten des Geländemodells wird die Effizienz und Qualität der Modellerstellung gesteigert.

Weitere Datenquellen, wie z.B. digitale Wasserstraßenkarten und Karten der Flächennutzungen (ATKIS, Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem), die seit einigen Jahren flächendeckend zur Verfügung stehen, werden für die Modellaufbereitung, Kalibrierung und Verifikation herangezogen.

Da die bisher an der BAW eingesetzten Werkzeuge den neuen Anforderungen nicht gerecht werden konnten, wurde eine Softwareentwicklung als Erweiterung für das GI-System ArcView beauftragt. Die daraus entstandene Software IGEL (Integrative Gis-Umgebung zur Erstellung von Modellen; Kellermann et al., 2002) erlaubt die getrennte Datenhaltung der unterschiedlichen Eingangsdaten der Modellierung. Dadurch kann ein Austausch einzelner Daten, wie z.B. des Geländemodells, effizient durchgeführt werden. Die Eingangsdaten werden automatisch interpretiert und in ein betriebsfähiges HN-Modell exportiert. Diese Vorgehensweise erlaubt eine schnelle Aktualisierung der numerischen Modelle bei notwendiger Aktualisierung der Geländegeometrie. Einen Überblick über das Modellierungssystem zeigt Bild 5.

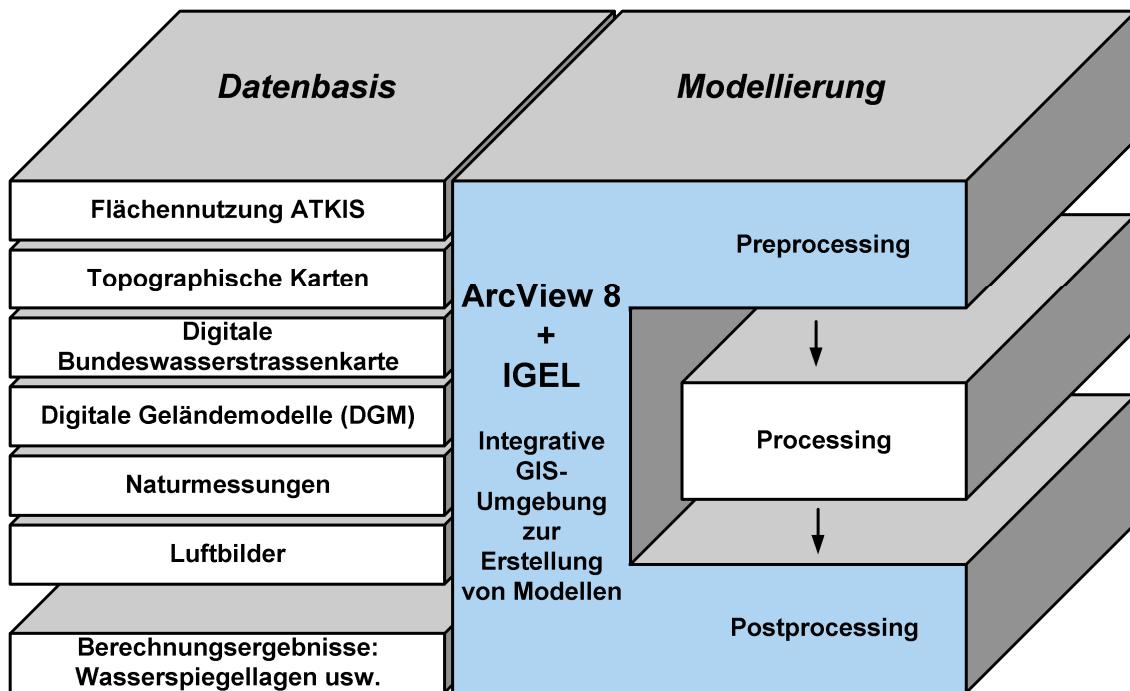


Bild 5. Funktionsdiagramm des Modellierungssystems IGEL zur Erstellung von HN-Modellen

Neben der Möglichkeit zur schnellen Aktualisierung der Eingangsdaten hat diese Vorgehensweise weitere Vorteile für die Modellerstellung:

- Es können alle Eingangsdaten in beliebigen Kombinationen auf dem Bildschirm dargestellt und Zusammenhänge, wie z.B. Fließwege, erkannt und in die Modellierung übernommen werden.
- Mögliche Fehler, die bei der Übertragung von Karten und Plänen in digitale Daten auftreten können, werden reduziert.
- Es können Rauheiten für mehrere Querprofile gleichzeitig bearbeitet werden.
- Eine Plausibilisierung von Modelldaten an Hand der Eingangsdaten kann sofort durchgeführt werden.
- Der Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Messergebnissen in GIS beschleunigt die Kalibrierung.

Zur Zeit werden auf Basis von GIS im Wesentlichen folgende Datenquellen zur Erstellung von Modellen genutzt:

- digitale Geländemodelle (DGM),
- amtliches topographisches Karteninformationssystem (ATKIS),
- topographische Karten in digitaler Form,
- Wasserstraßen-Geoinformationssystem (WAGIS) mit integrierter digitaler Bundeswasserstraßenkarte (DBWK),
- Naturmessungen (Wasserspiegellagen, Fließgeschwindigkeiten),
- Georeferenzierte, digitale Luftbilder und
- Karten des Electronic Chart and Display Information System, ECDIS.

Da auch die meisten verfügbaren Datenquellen heute georeferenziert vorliegen, ist eine Verwendung von GIS zunehmend von Bedeutung. Weitere Vorteile durch die Verwendung mit GIS ergeben sich durch die zentrale Verwaltung der Eingangs- und Ergebnisdaten.

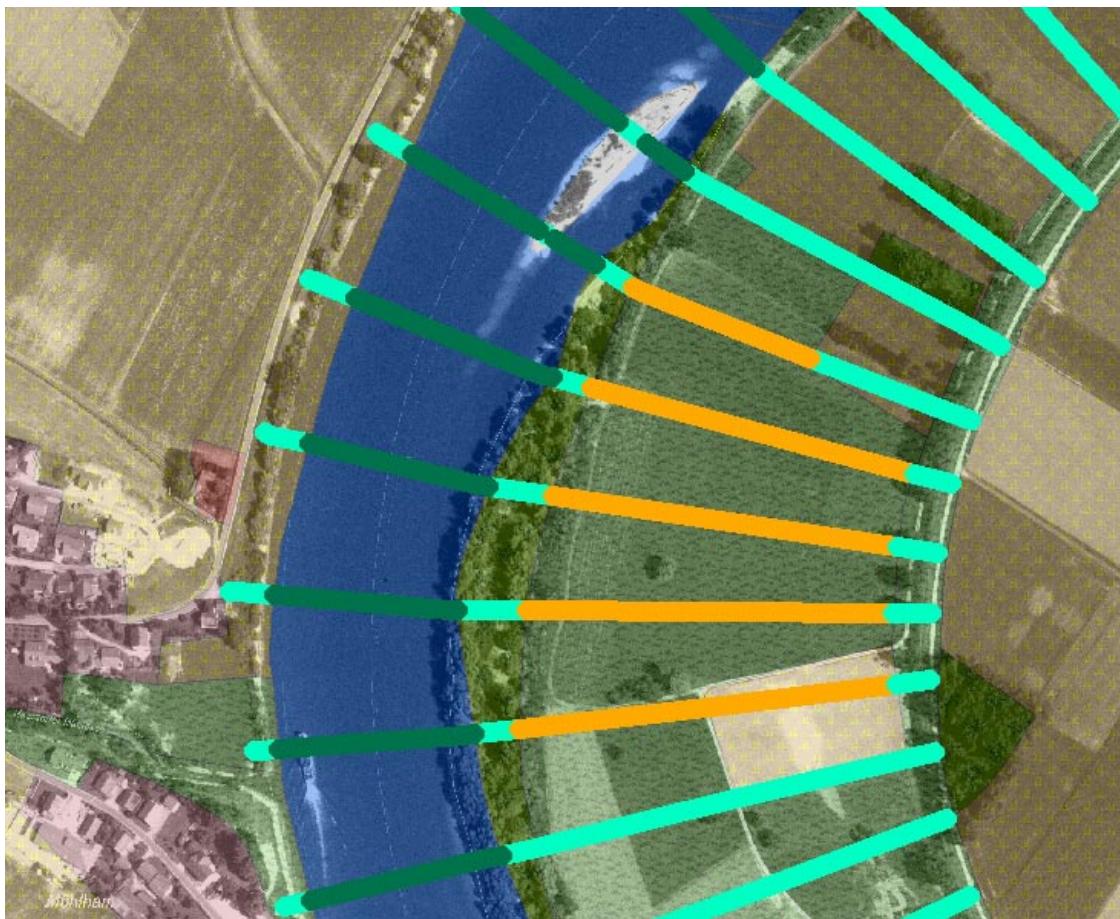


Bild 6. Modellerstellung mit GIS: Luftbild ATKIS-Karte und Lage der Querprofile mit farblich kodierten Rauheitsbereichen

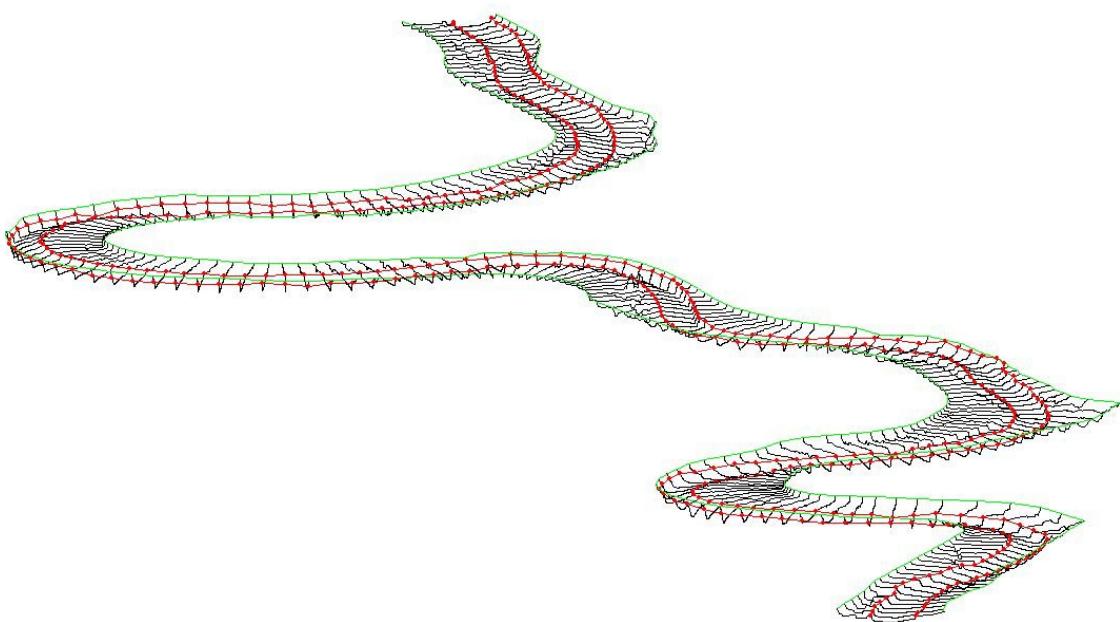


Bild 7. Modellerstellung mit GIS: aus dem DGM automatisch erstellte Querprofile bei Mühlham (km 2271)

Darüber hinaus werden in der BAW Naturmessungen zur Schiffs dynamik ebenfalls mit GIS-Werkzeugen visualisiert und ausgewertet. Damit ist eine leistungsfähige Schnittstelle zu vielen anderen numerischen Verfahren wie z.B. zur Berechnung fahrdynamischer Effekte gewährleistet. Bild 6 und Bild 7 zeigen zwei verschiedene Darstellungen aus der Modellerstellung mit IGEL. In Bild 6 ist eine Überlagerung eines Luftbildes mit der Lage verwendeter Querprofile und farblich kodierter Rauheitseinteilung zu erkennen. Die Einteilung in Rauheitsbereiche erfolgt automatisch auf Basis von ATKIS-Daten. In Bild 7 sind die aus dem digitalen Geländemodell ausgeschnittenen Querprofile in einer 3D-Ansicht zu sehen. Bild 8 zeigt beispielhaft eine Ergebnisdarstellung von Wassertiefen an der Donau. Dabei werden derzeit die im Querschnitt horizontalen Wasserspiegel durch das GI-System in Längsrichtung zu einer Fläche erweitert und mit dem digitalen Geländemodell verschnitten.

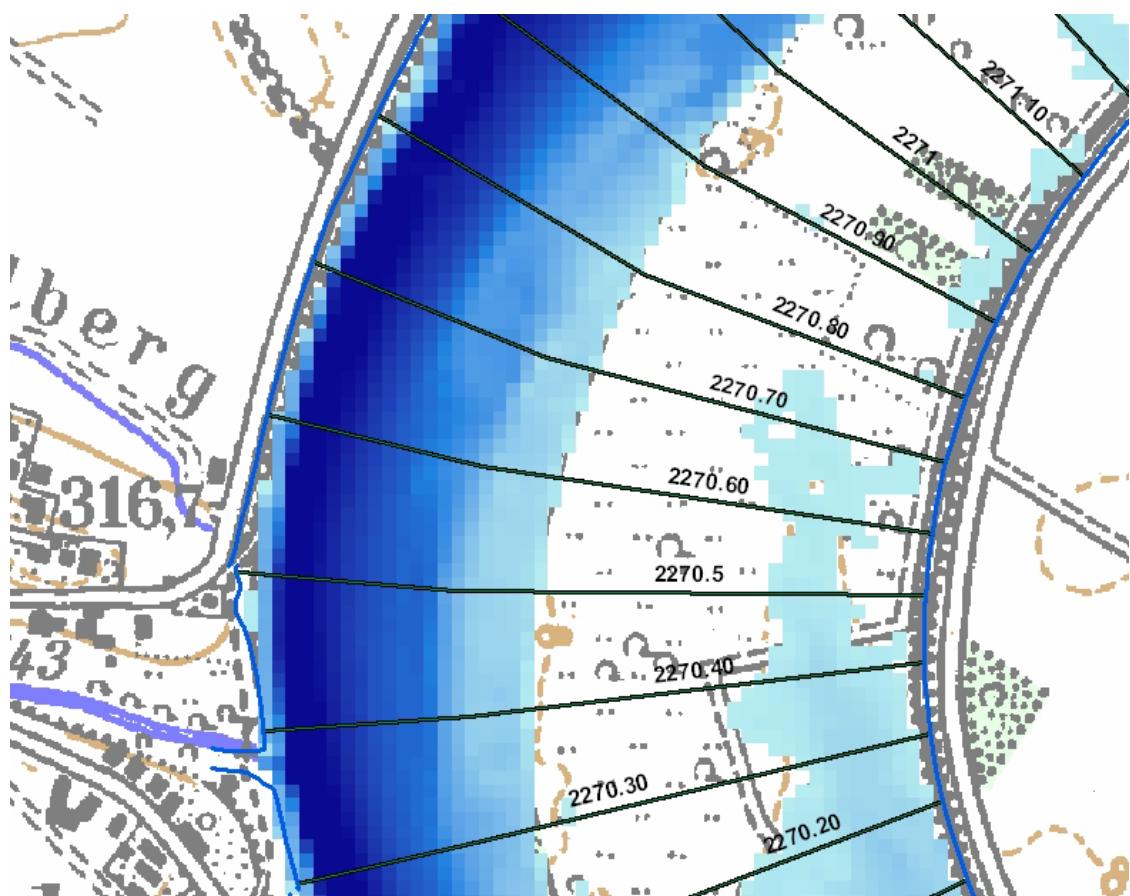


Bild 8. Darstellung von Wassertiefen an der Donau im Bereich von Mühlham

4. Einfluss des Isarabflusses auf die Donauwasserstände

Im Folgenden beziehen sich alle Abflussangaben der Donau auf den Bereich oberstrom der Isarmündung.

Das Untersuchungsgebiet wird durch den seitlichen Zufluss der Isar in zwei etwa gleich lange Abschnitte geteilt. Durch den vergleichsweise starken Geschiebetrieb in der Isar kommt es im Mündungsbereich in der Donau zur Bildung eines Schüttkegels, der einen Gefälleknick in der Donau erzeugt. In jeder dieser Teilstrecken liegt ein Hauptpegel, der von der Schifffahrt zur Orientierung über die herrschenden Wassertiefen genutzt wird. Im Bereich oberstrom der Isarmündung (Donau-km 2281,7) ist dies der Pegel Pfelling (Donau-km 2305,53), im Bereich unterstrom der Pegel Hofkirchen (km 2256,86). Die Isar ist im Mittel zu etwa einem Drittel am Abfluss am Pegel Hofkirchen beteiligt. Da in der Strecke zwischen

Pegel Pfelling und Isarmündung ein relativ niedriges Gefälle von ca. 0,09 ‰ vorliegt, ist eine Abhängigkeit des Pegel Pfelling vom Isarabfluss gegeben. Da die hydrologische Charakteristik der Einzugsgebiete von Donau und Isar weitgehend unabhängig voneinander sind, ist eine Korrelation der Abflüsse nicht gegeben (Plate, 1989). Die Isar ist im Wesentlichen alpin geprägt und somit durch lange Frostperioden und späte Schneeschmelze gekennzeichnet. Im Gegensatz dazu sind im Donaueinzugsgebiet weitgehend Mittelgebirgsseinflüsse vorherrschend. In Bild 9 sind die im Zeitraum von 1901 bis 1987 aufgetretenen Kombinationen der Tagesabflüsse von Donau und Isar dargestellt. Deutlich ist die große Streubreite der Abflusskombinationen zu erkennen.

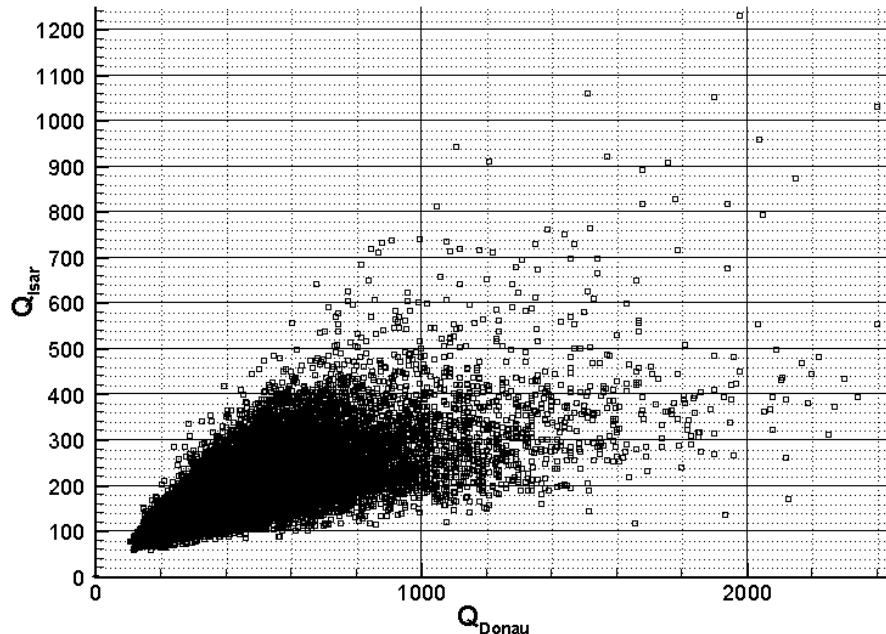


Bild 9. Abflüsse von Donau und Isar zwischen 1901 und 1987 (Tageswerte)

Somit kann der Isarabfluss bei Niedrigwasser in der Donau (ca. 200 m³/s), das für ARGO von besonderer Bedeutung ist, zwischen 25% und 120% des Donauabflusses schwanken. Bei Mittelwasser (ca. 460 m³/s) kann der Isarabfluss zwischen 15% und 90% des Donauabflusses betragen. Bei Hochwasserereignissen wird die Spannweite der prozentualen Verhältnisse kleiner, da hier Großwetterlagen stärker zum Tragen kommen.

Aus den unterschiedlichen Abflusskombinationen resultieren bezüglich der Wassertiefen in ARGO Unsicherheiten, da derzeit die Tiefenpläne der Teilstrecken nur in Abhängigkeit vom zugehörigen Hauptpegel erstellt werden und mögliche Rückstauseinflüsse aus dem stromab gelegenen Bereich noch nicht berücksichtigt werden können. Im Vergleich zum Rhein ist die Donau stärker von solchen Unsicherheiten betroffen.

Um die Größe der Unsicherheit abzuschätzen, wurden für die Tagesabflüsse zwischen 1901 und 1987 HN-Berechnungen durchgeführt und rechnerische Schlüsselkurven am Pegel Pfelling und oberstrom der Isarmündung erstellt (Bild 10).

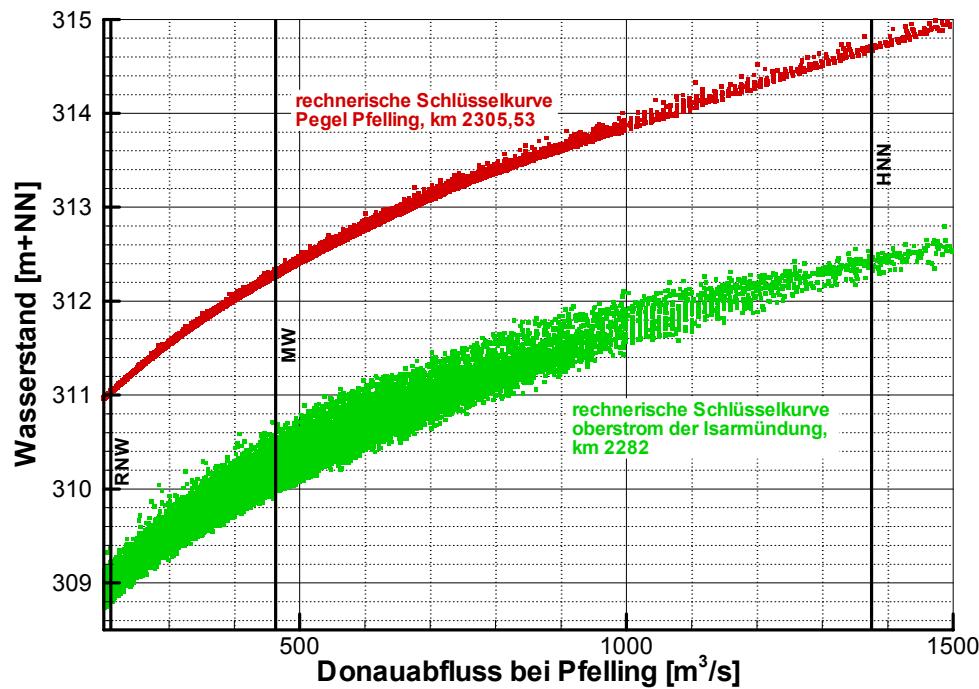


Bild 10. Rechnerische Abflussschlüssel am Pegel Pfelling und oberstrom der Isarmündung im schifffahrtsrelevanten Bereich auf der Basis der Tagesabflüsse zwischen 1901 und 1987

Die durchgeführten Berechnungen basieren auf einem Profilzustand, so dass geometrische oder sonstige Einflüsse ausgeschlossen sind. Sie stellen somit nur den rechnerischen Einfluss unterschiedlicher Abflusskombinationen dar.

Die Wasserstände an der Isarmündung können bei RNQ um ca. 4 dm und am Pegel Pfelling um ca. 1 dm variieren. Bei MQ betragen die rechnerisch nachweisbaren Wasserspiegeldifferenzen im Bereich der Isarmündung bis zu 7 dm und am Pegel Pfelling etwa einen Dezimeter. Bei höchsten schiffbaren Wasserständen (HNN, haut niveau navigable ($1375 \text{ m}^3/\text{s}$)) betragen die Differenzen am Pegel Pfelling ca. 2 dm und an der Isarmündung bis zu 4 dm. Diese sind vor dem Hintergrund des Einsatzgebietes für ARGO von geringerer Bedeutung, da hier ausreichend Wassertiefe für die Schifffahrt vorhanden ist.

Wie sich in den vorangegangenen Untersuchungen zeigen ließ, sind Abweichungen der Wassertiefen in der Größenordnung von mehreren Dezimetern möglich. Für einen Probebetrieb mit Fahrzeugen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung kann, um die Funktionalität des Systems zu überprüfen, von einem festen Abflussverhältnis ausgegangen werden. Für den Wirkbetrieb mit der gewerblichen Schifffahrt sollten Berechnungen von Wasserspiegellagen aktueller Abflussereignisse zur Verfügung gestellt werden. Derzeit wird eine automatisierte Berechnung in der BAW entwickelt.

5. Ausblick

Der erfolgreiche Probeflug mit ARGO am Rhein hat ein großes Interesse bei der Schifffahrt am Rhein geweckt (Oberheim et al., 2002). Für den Bereich der Donau steht der Pilotbetrieb mit Fahrzeugen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung unmittelbar bevor. Die notwendigen ECDIS-Karten sowie die zur Ermittlung vorhandener Fließtiefen erforderliche Berechnung von Wasserspiegellagen liegen in einer ersten Version vor und werden laufend verbessert. Insbesondere die Modellaufbereitung und schnelle Aktualisierung von Eingangsdaten (z.B. der Geländedaten) ist gewährleistet. Die Datenhaltung und die Modellerstellung wurden durch den Einsatz von IGEL deutlich verbessert. Da das System

derzeit noch nicht in allen Komponenten voll entwickelt ist, sind weitere Ausbaustufen geplant. Darüber hinaus ist die Integration künftiger Anforderungen wie z.B. der Fahrdynamik, des parallelen Betriebs mit mehrdimensionalen Modellen und von morphologischen Fragestellungen vorgesehen.

Für die Aussagegenauigkeit im Wirkbetrieb von ARGO ist die Berücksichtigung wesentlicher seitlicher Zuflüsse von großer Bedeutung. Die für den Probebetrieb von Teilstrecken verwendeten vorausberechneten Wasserspiegellagen sollten daher zu Gunsten der automatisierten Berechnung aktueller Wasserspiegellagen ersetzt werden. Dazu sind weitere Infrastrukturmaßnahmen geplant und in Arbeit.

Die Erweiterung der Ergebnisdarstellung von Fließtiefen soll durch eine vereinfachte flächenhafte Modellierung ergänzt werden. Dadurch können verbesserte Aussagen z.B. zu Stillwasserzonen erreicht werden.

6. Literatur

- Kellermann, J., Söhngen, B. (1998): *Hydraulische, sedimentologische und schifffahrtliche Aspekte einer Regelungsvariante für den Donauausbau Straubing – Isarmündung*. XIX. IHP-UNESCO Konferenz der Donauländer, Osijek, Kroatien, 15. bis 19.6.1998.
- Kellermann, J., Söhngen, B. (2000): *Donauausbau Straubing – Vilshofen, vertiefte Untersuchungen, 1D-Modellverfahren, Modelltechnik, flussmorphologische Änderungen*. XX. IHP-UNESCO Konferenz der Donauländer Bratislava; 4. bis 8.9.2000.
- Kellermann, J., Kumer, D., Schmidt, A. (2002): *Einsatz von GI-Systemen zur Erstellung, Pflege und Auswertung von HN-Modellen am Beispiel des Projektes ARGO Donau*. Münsteraner GI-Tage 2002, Institut für Geoinformatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, 20.-21.6.2002.
- Oberheim, C., Heinz, M., Steinhuber, L., Blesenkemper, J. (2002): *River Information Systems (RIS), Informationsmanagement für die Bundeswasserstraßen in Deutschland, Teil 1, Neue Informationssysteme für die Bundeswasserstraßen in Deutschland*. XXX. Internationaler Schifffahrtskongress, Sydney 2002, Deutsche Beiträge, Deutsche Sektion von PIANC, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn, Juni 2002.
- PIANC (2002): *Vessel Traffic and Transport Management in the Inland Waterways and Modern Information Systems*. Report of the working Group 24 of the Inland Navigation Commision, PIANC General Secretariat, Brussels, 2002.
- Plate, E., Ihringer, J., Kron, W. (1989): *Generierung von gleichzeitigen Abflussganglinien für Donau und Isar*. Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, unveröffentlicht.