ABTEILUNG I
BINNENWASSERSTRASSEN UND BINNENHÄFEN
(für Handels- und Freizeitschiffahrt)

zu Thema 3:

Thema des 2. Berichts:

Wasserstandsvorhersagen für die Schiffahrt an Rhein und Elbe

- Ein Beitrag zur intelligenten Wasserstraße

Berichterstatter:

Dipl.-Hydrologe Dr. Wolfgang **Fröhlich**, Bundesanstalt für Gewässerkunde Berlin

Dipl.-Math. Dr. Gerd **Steinebach**, Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz

Regierungsdirektor Dipl.- Geophys. Dr. Klaus **Wilke**, Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz

Baudirektor Dipl.-Ing. Michael **Heinz**, Bundesministerium für Verkehr, Bonn

Zusammenfassung

Mit der Anbindung der mittel- und osteuropäischen Staaten erhalten die Wasserstraßen in Deutschland vermehrt eine Transitfunktion. Prognosen für den Verkehr auf den Wasserstraßen lassen bis zum Jahr 2010 einen Zuwachs der transportierten Menge um rd. 60% erwarten, während wachsende Schiffsgrößen den Anteil kleinerer Schiffe an der fahrenden Flotte sinken lassen und weitere infrastrukturelle Verbesserungen des Wasserstraßennetzes zunehmend schwieriger zu realisieren sind. Daher gewinnt der Datenaustausch zwischen allen am Verkehr Beteiligten und ein schneller Informationsfluß immer mehr an Bedeutung. Zur Optimierung der Abladetiefen der Binnenschiffahrt ist die Vorhersage der verfügbaren Wasserstände zeitnah verfügbar. An der Elbe gibt es schon seit langem eine schiffahrtsbezogene Wasserstandsvorhersage, am Rhein erst seit April 1996. Sie erfolgt durch mathematische Modelle, die den Strömungsvorgang im Fluß abbilden. Zu ihrem Betrieb werden aktuelle und zurückliegende Wasserstände der Pegel an Rhein und Elbe sowie der wichtigsten Nebenflüsse benötigt. Da derzeit keine Informationen über gefallene oder vorhergesagte Niederschläge in die Berechnungen eingehen, ist die Vorhersagedauer beschränkt und liegt derzeit am Rhein bei maximal 48 Stunden sowie an der Elbe zwischen ein und fünf Tagen. In einer nächsten Modellgeneration sollen Niederschlag-Abfluß-Modelle, basierend auf den gemessenen und vorhergesagten Niederschlägen des Deutschen Wetterdienstes, für wichtige Teileinzugsgebiete an die bestehenden Modelle angekoppelt werden.

Mit der eingeführten Wasserstandsvorhersage an Rhein und Elbe ist ein wichtiger Beitrag zur „intelligenten Wasserstraße" mit aktualisierten Informationen über den Zustand der Wasserstraße geleistet. Vorgesehen sind weitere Informationsangebote, wie z.B. Informationen über nutzbare Übertiefen in der bestehenden Fahrrinne an abladebestimmenden Abschnitten. Ein Wasserstandsvorhersagemodell für die Donau befindet sich derzeit in der Entwicklungsphase.

1 Einleitung

Der Rhein als verkehrsreichste europäische Wasserstraße hat in weiten Teilen einen hohen Ausbaustand erreicht. Nach Realisierung der wasserbaulichen Verbesserung an der Elbe ist auch dort zukünftig eine durchgehende Nutzung mit gleichwertiger Abladetiefe möglich. Mit der verkehrlichen Anbindung der mittel- und osteuropäischen Staaten wächst den Wasserstraßen in Deutschland auch vermehrt eine Transitfunktion zu (siehe Abbildung 1). Die Prognosen für den zukünftigen Verkehr auf den Wasserstraßen lassen bis zum Jahr 2010 einen Zuwachs der transportierten Verkehrsmenge um rund 60% erwarten.

Weitere infrastrukturelle Verbesserungen des gesamten nationalen, aber auch des internationalen europäischen Wasserstraßennetzes sind eine große Herausforderung; sie sind angesichts der vorhandenen Ressourcen und der ökologischen Einschnitte zunehmend schwieriger zu realisieren. Der Verkehr wird bei allen Verkehrsträger weiter zunehmen. Gleichzeitig zeigen sich noch nicht ausgeschöpfte

Möglichkeiten für verkehrsträgerübergreifende logistische Konzepte. Deshalb gewinnt der Datenaustausch zwischen allen am Verkehr Beteiligten und ein schneller Informationsfluß immer mehr an Bedeutung.

Vor der Einleitung von leistungssteigernden Infrastrukturmaßnahmen werden zunehmend zeitnah verfügbare Möglichkeiten zu Optimierung des Ist-Zustandes gesucht. Gerade in freifließenden, nicht staugeregelten Flüssen gibt es einige Möglichkeiten, um der Binnenschiffahrt mit zusätzlichen abladerelevaten Informationen über die Wasserstraße eine höhere Produktivität zu ermöglichen. Damit die Schiffe auch bei niedrigen und mittleren Wasserständen möglichst viel abladen können, wird für die vorgesehene Fahrtroute der verfügbare Wasserstand für mehrere Tage im voraus vorhergesagt.

Ziel der Entwicklung des Vorhersagesystems war es, der Schiffahrt schon bei der Beladung in den Nordseehäfen Rotterdam, Antwerpen und Hamburg soviel Wasserstandsinformation für die Fahrt durch das Revier mitzugeben, daß der Schiffsführer - bezogen auf den abladebestimmenden Engpaß - den Schiffsraum maximal und mit der angemessenen Sicherheit beladen kann.

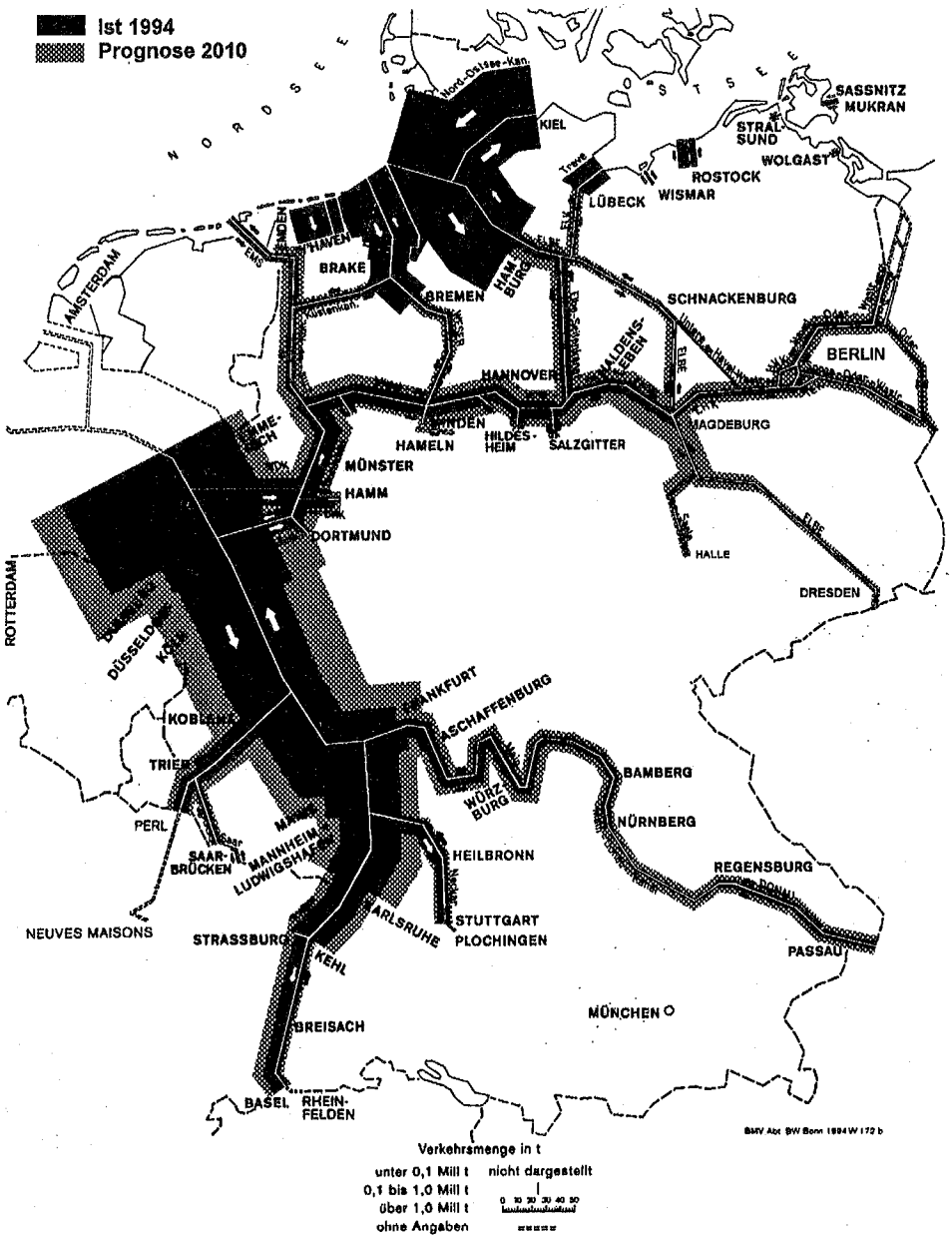


Abbildung 1: Übersicht: Verkehrsbelastung des deutschen Wasserstraßennetzes in 1994

2 Derzeit verfügbare Informationen

An der Elbe wurde schon seit langer Zeit eine schiffahrtsbezogene Vorhersage eingerichtet - am Rhein gab es bisher nur eine Vorhersage von Hochwasserständen. Während die Schiffahrt im Jahr an nur bis zu 20 Tagen vom Hochwasser betroffen ist, besteht an bis zu 250 Tagen eine wirtschaftlich relevante Abhängigkeit von niedrigen Wasserständen.

Obgleich die Schiffahrt aus langer Fahrenstradition über eine gute Kenntnis des Abflußverhaltens verfügt, fordern stetige Veränderungen des Abflußverhaltens und Umbildungen des Gewässerbettes von den Schiffern regelmäßige Neuorientierungen der „bewährten Abladeregeln"; auf der anderen Seite ist mit zunehmend überregionaler Ladungsakquisition und Ausweitung der Fahrtreviere in Richtung Donau und Oder sowie mit stärkerer Internationalisierung der Schiffahrt eine Abnahme der speziellen Revierkunde für die Fahrt auf Rhein und Elbe zu bemerken. Dieses entstehende Defizit kann die Wasserstraßenverwaltung durch schiffahrtsgerecht aufbereitete Informationen auffüllen und zu einem wertvollen Service über Wasserstandsvorhersagen zusammenfügen.

3 Bedarf und Ist-Analyse

Während Schiffe der früheren Größenklassen "Johann Welker" oder "Gustav Königs" noch die Wasserstände von 2,00 m oder 2,50 m unter Niedrigwasser ganzjährig nutzen konnten, sind für das größere Europaschiff oder Großmotorgüterschiff schon Abladeeinschränkungen - je nach Abschnitt - am Rhein an 100 bis 200 Tagen des Jahres und an der Elbe an bis zu 300 Tagen im Jahr die Regel.

Weiter wachsende Schiffsgrößen lassen den Anteil kleinerer Schiffe an der fahrenden Flotte zunehmend sinken. Am Niederrhein wird z.B. die Tragfähigkeit von derzeit durchschnittlich 1500 Tragfähigkeitstonnen (TT) auf 1850 TT im Jahr 2015 ansteigen. Während heute dort das Durchschnittsschiff noch einen mittleren Tiefgang von 2,66 m besitzt, werden im Jahr 2015 die Schiffe im Mittel 2,85 m tief gehen (PLANCO Consulting GmbH 1997). Mit zunehmendem Tiefgang wird also der Grad der Wasserstandsabhängigkeit weiter ansteigen. Dem weiteren Ausbau sind aus ökonomischen und ökologischen Gründen jedoch vielerorts Grenzen gesetzt. Vorher müssen die Möglichkeiten einer besseren Nutzbarkeit der Wasserstraßen durch eine bessere Information ausgeschöpft werden.

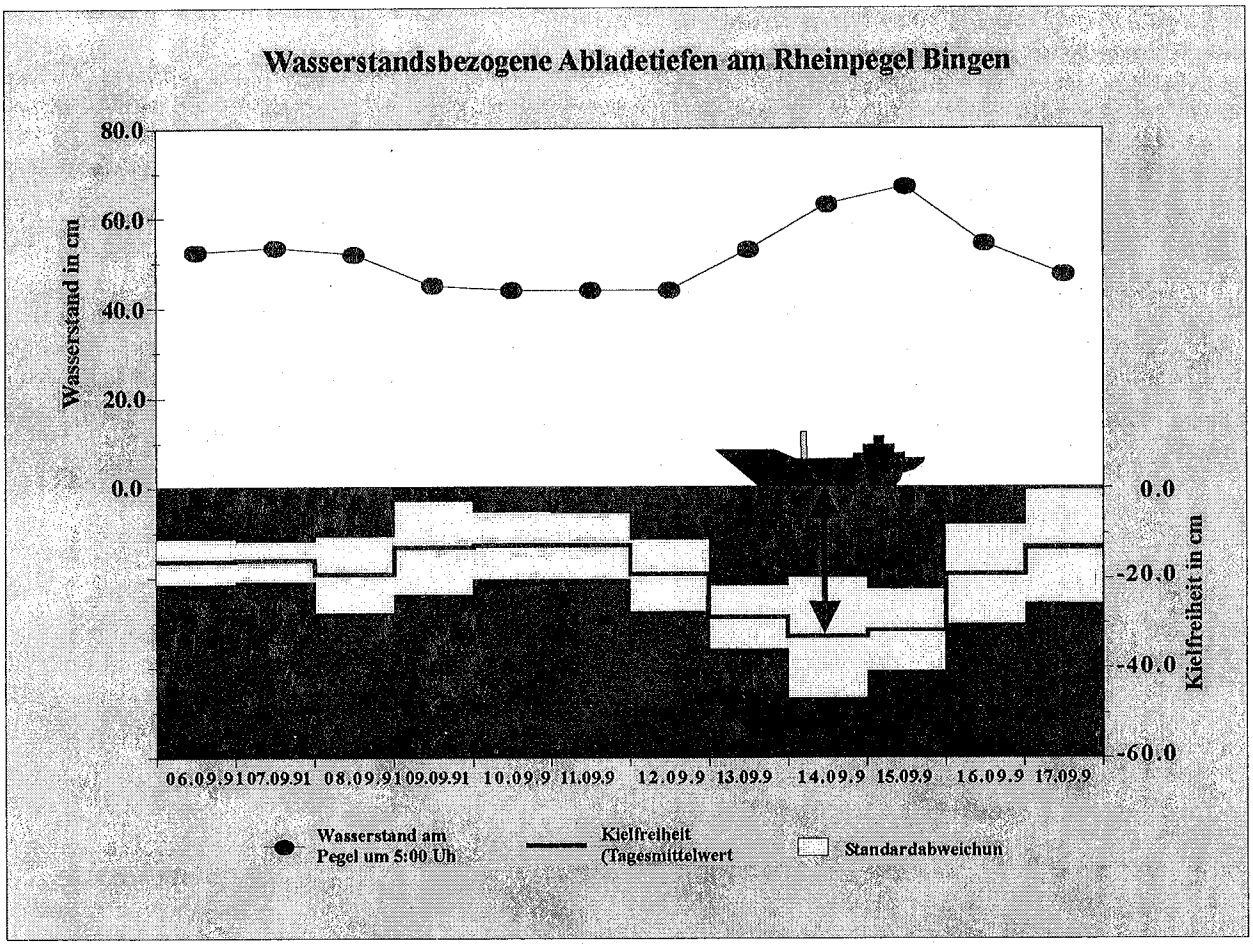


Abbildung 2: Genutzte Kielfreiheit im Bezug zum Wasserstand am Rheinpegel Bingen im September 1991

Zwei Sachverhalte zeigen den erwartbaren Nutzen auf:

- Bei Analyse des derzeitigen Abladeverhaltens der Schiffahrt an den abladerelevanten Engstellen des Rheins stellt man beim Vergleich aller voll abgeladenen Schiffe fest, daß die Schiffe trotz vergleichbarer Fahrtstrecke und Schiffstyp mit bis zu 40 cm Unterschied abgeladen sind. Diese große Differenz basiert wesentlich auf unterschiedlichen Kenntnissen der Gewässersituation und infolgedessen der Einschätzung der Befahrbarkeit.
- In abflußarmen Jahreszeiten erzeugen regionale und kurzfristige Niederschläge durchaus länger andauernde Abflußwellen, welche bisher für Mehrabladung seitens der Schiffahrt noch nicht nutzbar waren.

Im Abbau dieser großen Bandbreite bzw. in der Ausschöpfung bisher ungenutzter Wassertiefen wird der bedeutende Effekt des Dienstes gesehen.

Wenn es durch die Information gelingen wird, daß der Schiffer bei gleichbleibender Sicherheit 10 cm tiefer abladen kann, dann sind wesentliche Beiträge zur betriebswirtschaftlichen Verbesserung der Unternehmenseinnahmen und unter volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten zum optimalen öffentlichen Mitteleinsatz geleistet.

4 Mathematische Modelle

Der Strömungsvorgang in Kanälen oder Flüssen kann durch spezielle partielle Differentialgleichungen beschrieben werden. Diese im Jahre 1871 durch Saint-Venant hergeleiteten Gleichungen beschreiben Beziehungen zwischen Wasserstand und Durchfluß entlang eines Flußabschnittes. Die Gleichungen hängen u.a. von der Geometrie und Beschaffenheit des Flußbettes ab. Da sie nicht durch einfache analytische Berechnungsvorschriften gelöst werden können, muß ein geeignetes Computerprogramm implementiert werden.

Dieses Programm muß in der Lage sein, die Lösung innerhalb weniger Minuten für den gesamten Rhein bzw. die Elbe mit einer bestimmten Genauigkeit zu berechnen. Aufgrund vielfältiger vereinfachender Annahmen im Modellbildungsprozeß und Unsicherheiten in den Meßdaten ist diese Genauigkeit allerdings nicht mit der Genauigkeit der vorhergesagten Wasserstände gleichzusetzen.

Das mathematische Modell für den Rhein löst numerisch die Saint-Venant - Gleichungen (STEINEBACH 1996, RENTROP & STEINEBACH 1997). Das Elbemodell basiert auf einer sog. Konvektions-Diffusions - Gleichung, die durch zusätzliche Vereinfachungen aus den Saint-Venant - Gleichungen abgeleitet werden kann (BECKER & SOSNOWSKI 1969, GÜTHLEIN ET AL. 1980, FRÖHLICH & STEINEBACH 1997).

Für den Betrieb beider Modelle werden aktuelle und in der nahen Vergangenheit gemessene Wasserstände der Pegel entlang des Rheins und der Elbe sowie der wichtigsten Zubringer benötigt. Diese Daten werden automatisch via Datenfernübertragung von den Pegeln zum Vorherhersagerechner übertragen.

Derzeit nutzen die Modelle keine Informationen über gefallenen oder vorhergesagten Niederschlag aus. Daher ist die maximal mögliche Vorhersagedauer für die einzelnen Pegel beschränkt. Sie kann je nach Lage des Pegels von wenigen Stunden bis zu einigen Tagen reichen. In den nächsten Modellversionen soll daher der komplizierte Niederschlag-Abfluß - Prozeß für wichtige Teileinzugsgebiete berücksichtigt werden.

Eine qualitative Abschätzung der längerfristigen Trends der Wasserstandsentwicklung ist bereits möglich. Sie beruht auf den täglich zur Verfügung stehenden Online-Informationen des Deutschen Wetterdienstes über gefallene und für die nächsten 48 Stunden vorhergesagten Niederschläge. Ein Beispiel ist in der Abbildung 3 für das Einzugsgebiet der Sauer gezeigt.

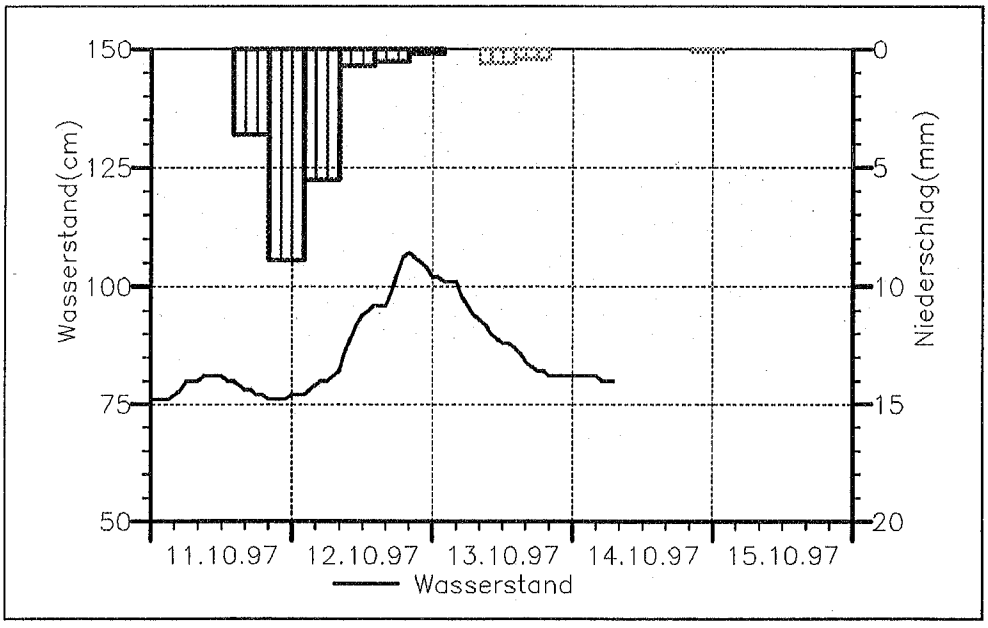


Abbildung 3: Gemessene (schwarz) und vorhergesagte (grau) Niederschlagshöhen im Einzugsgebiet der Sauer und beobachtete Wasserstände am Pegel Bollendorf

5 Modellbetrieb

5.1 Rheinmodell

Das Rheinmodell umfaßt die Rheinstrecke vom Pegel Maxau (km 362) bis nach Emmerich (km 852) sowie die Zuflüsse Main unterhalb von Trunstadt (km 378) und Mosel unterhalb des französischen Pegels Custines (km 343). Alle anderen wichtigen Nebenflüsse werden durch einen mündungsnahen Pegel berücksichtigt.

Im Niedrigwasserfall am Rhein (Wasserstand am Pegel Ruhrort kleiner 300 cm) wird täglich, d.h. auch an Wochenenden und Feiertagen, eine Vorhersage berechnet. Für diese Berechnung werden die bis 7:00 Uhr gemessenen Wasserstände an etwa 70 Pegeln abgerufen. Die Vorhersageberechnung ist um etwa 8:30 Uhr beendet.

Die Abbildung 4 zeigt das Resultat einer 48-Stunden - Vorhersage an einem der für die Schiffahrt am Niederrhein wichtigen Pegel Köln, Düsseldorf, Ruhrort, Emmerich. Die Werte der in Tabelle 1 aufgeführten 24- und 36-Stunden - Vorhersage werden durch die Wasser- und Schiffahrtsverwaltung im Nautischen Informationsfunk und auf der ARD/ZDF - Videotexttafel 559 bekanntgegeben sowie an die niederländische Dienststelle RIZA weitergeleitet.

	gemessener Wasserstand [cm]	24-h und 36-h Vorhersagen [cm]	
	14.10.97 7:00 Uhr	15.10.97 7:00 Uhr	15.10.97 19:00 Uhr
Köln	192	214	247
Düsseldorf	151	159	191
Ruhrort	269	280	301
Emmerich	114	130	134

Tabelle 1: Beispiel operationeller Vorhersagen an vier Rheinpegeln

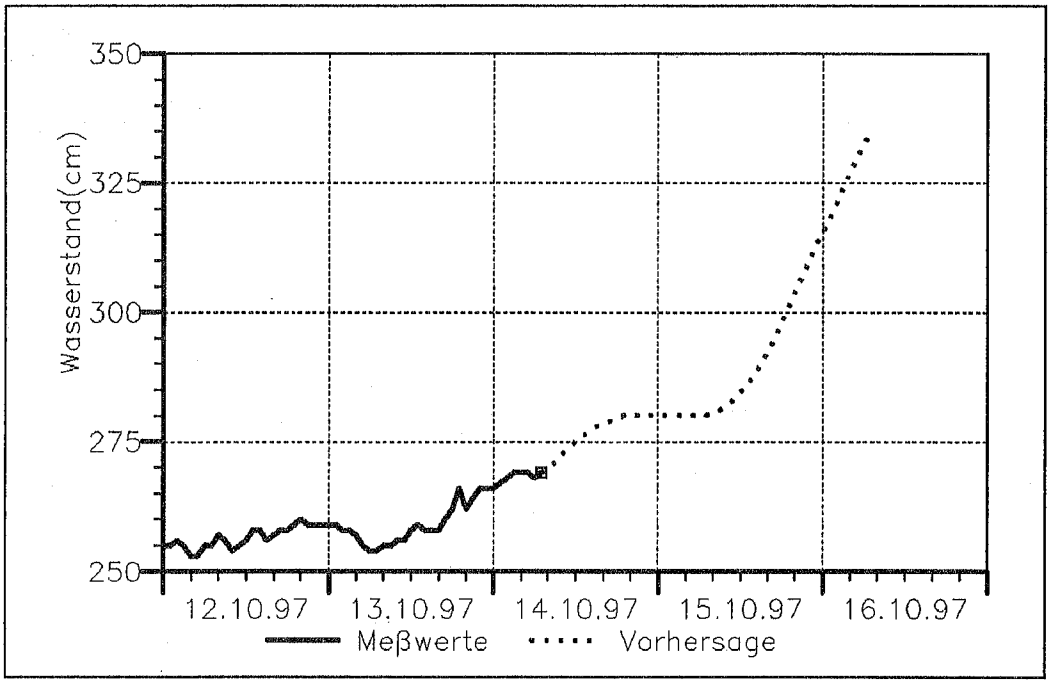


Abbildung 4: Stündliche Vorhersagen bis zu 48 Stunden am Pegel Ruhrort/Rhein

5.2 Elbemodell

Das Elbemodell umfaßt die Elbe vom Pegel Usti (km 39 oberhalb der deutsch-tschechischen Grenze) bis nach Boizenburg (km 559 unterhalb der Grenze) sowie die Zuflüsse Schwarze Elster, Mulde, Saale und Havel.

Im Normalfall wird das Modell einmal täglich von montags bis freitags angewendet. Im Hochwasserfall wird das Modell auch an Wochenenden mehrmals täglich betrieben.

Auf Basis der am aktuellen Tag bis 7:00 Uhr beobachteten Wasserstände werden Vorhersagen bis zu fünf Tagen berechnet. In diesen Berechnungen werden auch externe Vorhersagen der Länder Sachsen und Sachsen-Anhalt sowie der Tschechischen Republik berücksichtigt.

Aus den Berechnungsergebnissen wird ein Bericht extrahiert, der die Vorhersagen der wichtigsten Pegel entlang der Elbe und der Saale enthält (siehe Abbildung 5). Dieser Bericht wird an die entsprechenden Behörden weitergeleitet und auf der ARD/ZDF-Videotexttafel 559 bekanntgegeben.

Wasser- und Schiffahrtsamt Magdeburg (Dienstag, 2. 9.1997)

Wasserstandsvorhersage fuer die Elbe

	Messw.	Vorhersage der Wasserstaende							
	2. 9.97	3. 9.97	4. 9.97	5. 9.97	6. 9.97	7. 9.97	8. 9.97	9. 9.97	10. 9.97
ELBE									
Usti	200	200	-	-	-	-	-	-	-
Dresden	156	150	(150)	-	-	-	-	-	-
Torgau	180	170	160	(155)	-	-	-	-	-
Wittenberg	203	215	210	(200)	(195)	-	-	-	-
Dessau	153	165	175	(165)	(155)	-	-	-	-
Aken	139	150	160	(155)	(145)	-	-	-	-
Barby	151	155	165	160	(150)	(150)	-	-	-
Magdeburg S	129	135	140	140	(135)	(130)	-	-	-
Niegripp	295	300	305	315	(310)	(305)	-	-	-
Tangermuend	199	205	215	220	225	(220)	(210)	-	-
Wittenberge	164	170	180	185	190	(195)	(190)	(185)	-
Doemitz	109	110	115	120	130	(135)	(135)	(130)	-
Neu Darchau	168	165	170	175	180	185	(190)	(190)	(185)
Boizenburg	92	90	95	100	100	105	(110)	(110)	(110)
SAALE									
H-Trotha U	165	160	-	-	-	-	-	-	-
Bernburg UP	101	100	-	-	-	-	-	-	-
Calbe UP	370	365	(355)	-	-	-	-	-	-
UNTERE HAVEL									
Havelberg/S	163	165	165	165	165	(165)	(165)	-	-

SPALTE 1: MESSWERTE

Abbildung 5: Operationeller Bericht der Wasserstandsvorhersagen an der Elbe und ihren Nebenflüssen

6 Vorhersageergebnisse

Das Abflußgeschehen im oberen Teil eines Einzugsgebietes ist in der Regel wechselhafter als im unteren Teil. Dies führt zu kürzeren Vorhersagezeiten oder weniger genauen Vorhersagen an den Pegeln im Oberlauf.

Neben der Variabilität des Wetters beeinflussen viele andere Faktoren die Entwicklung der Wasserstände. Am Rhein sind dies insbesondere die Steuerungen der Wehre und Kraftwerke an Main und Mosel. Hierdurch können an den Pegeln Mainz und Koblenz im Niedrigwasserbereich Schwankungen von bis zu ± 10 cm innerhalb weniger Stunden auftreten. An der Elbe haben die durch den Kraftwerksbetrieb in der Tschechischen Republik verursachten Durchflußschwankungen ähnliche Einflüsse auf die flußabwärts gelegenen Pegel und damit auf die Vorhersagegüte.

In den Tabellen 2 und 3 sind die Vorhersagegenauigkeiten im Zeitraum 1. August bis 30. September 1997 zusammengefaßt. Beispielsweise ist der Fehler der 24-Stunden - Vorhersage in mehr als 97 Prozent aller Fälle kleiner oder gleich ± 10 cm am Rheinpegel Ruhrort oder in mehr als 95 Prozent aller Fälle kleiner oder gleich ± 10 cm am Elbepegel Neu-Darchau. Die Resultate der 36- oder 48-Stunden - Vorhersagen sind etwas weniger genau.

Tabelle 2: Vorhersagefehler des Rheinmodells (1. August - 30. September 1997)

Pegel	**Vorhersage [h]**	**|Fehler| (61 Vorhersagen)**		
		≤ ± 5 cm [%]	**≤ ± 10 cm [%]**	**≤ ± 20 cm [%]**
Köln	24	72	97	100
	36	50	88	100
Düsseldorf	24	84	100	100
	36	62	92	100
Ruhrort	24	93	97	98
	36	58	93	100
Emmerich	24	97	100	100
	36	87	93	100

Pegel	Vorhersage [h]	|Fehler| ≤ ± 5 cm [%]	≤ ± 10 cm [%]	≤ ± 20 cm [%]
Dresden	24	63	91	100
	48	54	82	96
Torgau	24	89	98	100
	48	61	91	98
	72	41	75	93
Barby	24	95	97	100
	48	70	91	100
	72	71	89	98
	96	59	80	98
	120	56	82	96
Magdeburg	24	91	100	100
	48	70	91	100
	72	68	86	98
	96	68	86	98
	120	67	86	98
Neu Darchau	24	93	95	100
	48	79	93	98
	72	71	85	94
	96	59	77	95
	120	49	68	98
	144	48	74	98
	168	44	73	92
	192	43	63	88

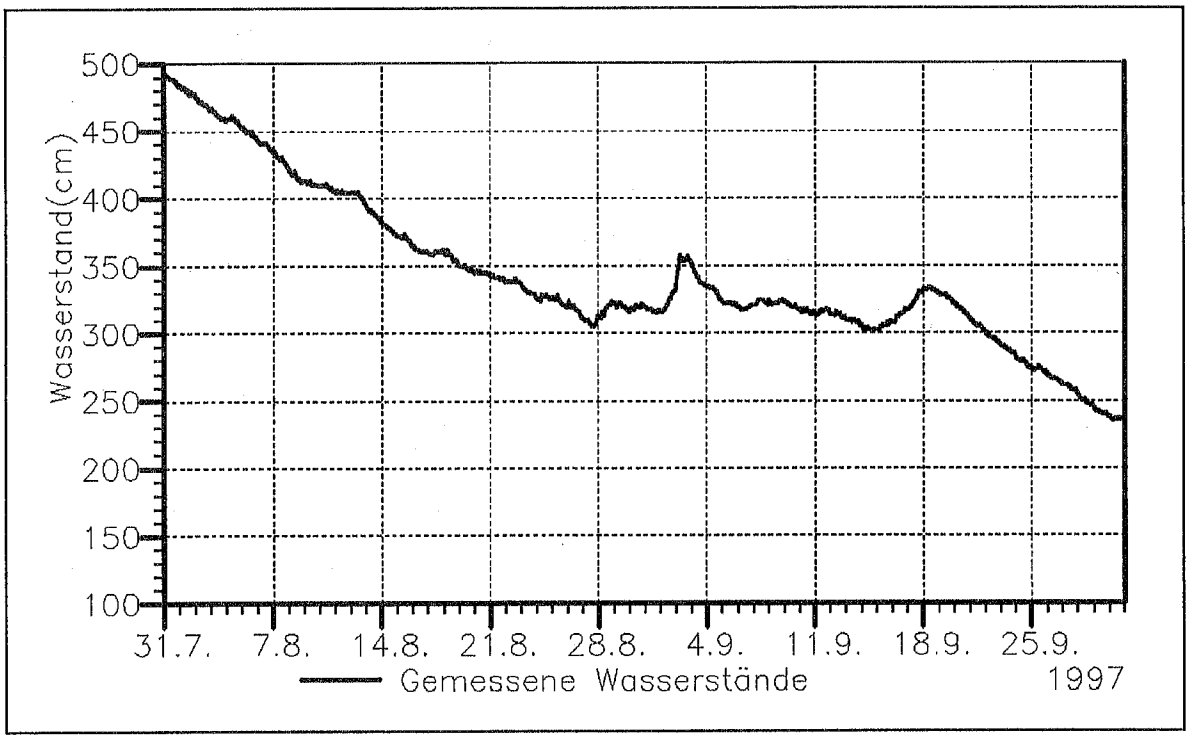
Tabelle 3: Vorhersagefehler des Elbemodells (1. August - 30. September 1997)

Diese Resultate sollen lediglich einen Eindruck der zu erwartenden Genauigkeit vermitteln. Es ist nicht möglich, scharfe Fehlergrenzen anzugeben. Diese hängen vom aktuellen Abfluß- und Wettergeschehen ab.

In der Abbildung 6 ist die Wasserstandsentwicklung am Pegel Ruhrort/Rhein während der Periode 1. August - 30. September 1997 dargestellt. Der Abfluß fällt etwa von Mittelwasser bis zu Niedrigwasser.

An der Elbe herrschten innerhalb dieses Zeitraumes ähnliche Bedingungen vor.

Abbildung 6: Wasserstandsentwicklung am Rheinpegel Ruhrort



7 Weiterentwicklung der Modelle

Am 1. Dezember 1997 wurden am Rhein die Vorhersagen auf 48 Stunden ausgedehnt. Zusätzlich wurden die beiden wichtigen Mittelrheinpegel Kaub und Koblenz in die Vorhersage aufgenommen. Diese Verbesserungen waren möglich durch die Kopplung des bestehenden Modells mit einem statistischen Modell. Das statistische Modell berechnet externe Vorhersagen an einigen wichtigen Eingangspegeln am Oberrhein, am Neckar und an der Mosel. Das Verhalten des statistischen Modells ist hinlänglich bekannt. Es wird seit einigen Jahren erfolgreich zur operationellen Hochwasservorhersage am Rhein eingesetzt (WILKE 1995).

In der nächsten Entwicklungsstufe sollen die Modelle für Rhein und Elbe mit Niederschlag-Abfluß-Modellen für wichtige Teileinzugsgebiete gekoppelt werden. Dadurch wird eine Verlängerung der Vorhersagedauer sowie die Einbeziehung weiterer Vorhersagepegel im Oberlauf der Flüsse ermöglicht. Diese Niederschlag-Abfluß-Modelle befinden sich derzeit in der Entwicklungsphase.

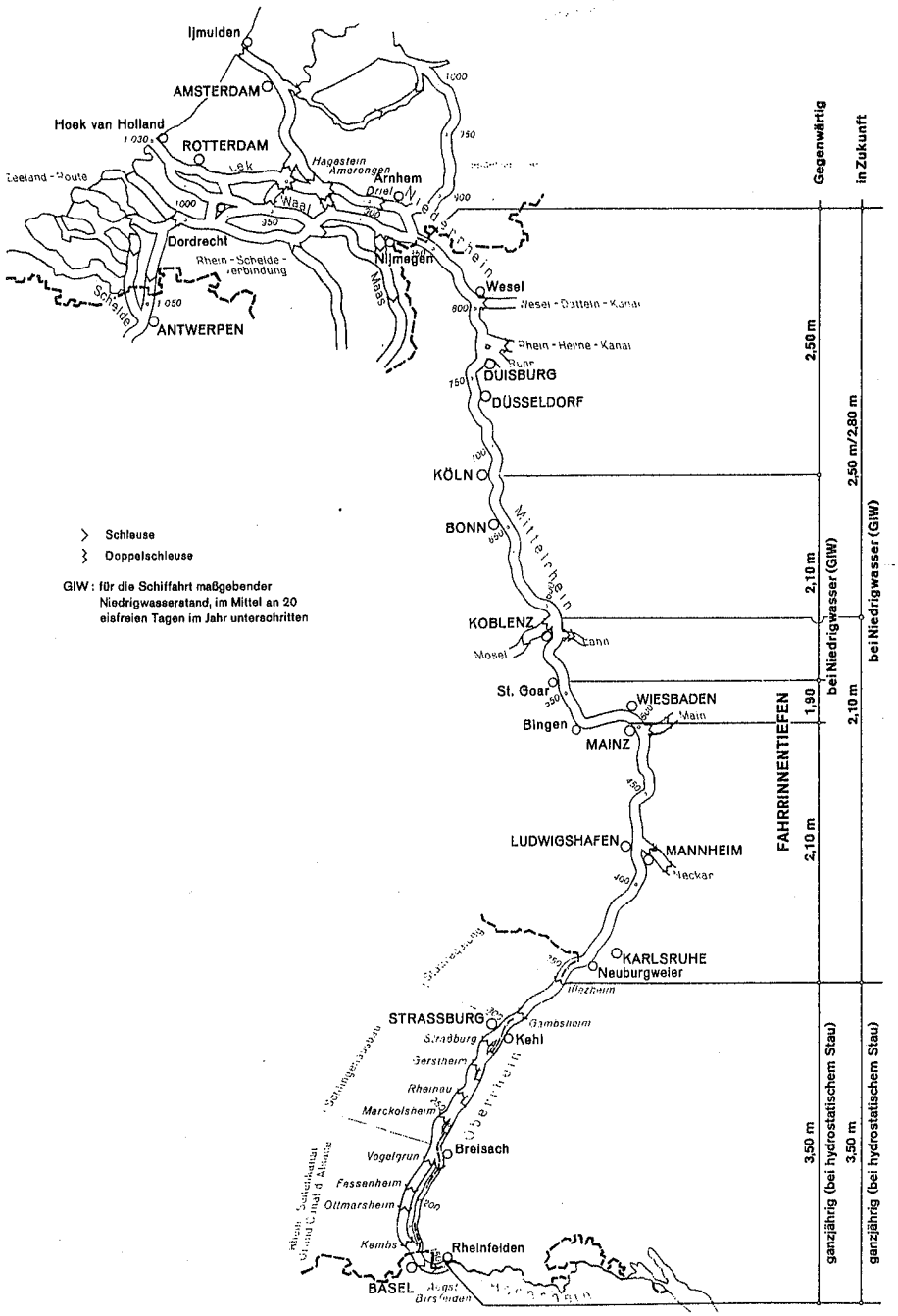
Für den freifließenden Abschnitt der Donau zwischen Straubing und Vilshofen ist ebenfalls eine Wasserstandsvorhersage geplant. Hierzu soll ein ähnlicher Ansatz wie am Rhein verfolgt werden.

Neben den Modellverbesserungen ist die Veröffentlichung der Vorhersageergebnisse im Internet vorgesehen. Derzeit (Stand Dezember 1997) werden die am Rhein und seinen wichtigsten Zuflüssen gemessenen Wasserstände der letzten sieben Tage sowie die mit dem Rheinmodell berechneten Niedrigwasservorhersagen unter der Internetadresse der BfG (URL: http://www.bafg.de) bekanntgegeben.

8 Ausblick

Da zunächst zuverlässige Informationen für Nieder- und Mittelrhein und Elbe angeboten werden, ist sicherlich die Bereitstellung einer Wasserstandsvorhersage für die gesamte Rheinfahrt sowie für Donau und Oder wünschenswert. Besonders für die Rheinstrecke durch das Gebirge zwischen Koblenz und Mainz mit der geringsten Fahrrinnentiefe (siehe Abbildung 7) würde die hier notwendige 3-Tage - Vorhersage die Kalkulierbarkeit von Wasserständen erhöhen und damit das Risiko einer Unter- oder Überbeladung deutlich mindern.

Abbildung 7: Längsschnitt der mittleren abladerelevanten Wassertiefe am Rhein



Die Grenzen einer schiffahrtsbezogenen Wasserstandsvorhersage werden immer dann erkennbar, wenn für den Mittel- und Oberlauf eines Flusses Vorhersagen erwartet werden. Der für die Schiffahrt erforderliche Vorhersagezeitraum wird länger; jedoch bewirken kürzere Fließzeiten und schnelles Reagieren des Wasserstands auf örtliche Niederschläge kurzfristige und damit kaum mehrtägig prognostizierbare Wasserstandsveränderungen. Insofern wird mit „genauen" 3 - 5 tägigen Vorhersagen für die Oberrheinpegel nicht zu rechnen sein; gleichwohl können auch zweitägige Prognosen und längerfristige Trendaussagen der Schiffahrt als Orientierung hilfreich werden.

Mit der eingeführten Wasserstandsvorhersage an Rhein und Elbe ist ein wichtiger Beitrag zu einer „intelligenten Wasserstraße" mit aktualisierten Informationen über den Zustand der Wasserstraße geleistet (HEINZ 1997). Vorgesehen sind weitere Informationsangebote, wie Informationen über die nutzbaren Übertiefen in der bestehenden Fahrrinne an abladebestimmenden Strecken des Rheins, bei denen aktuelle Tiefenangaben der Schiffahrt zur Verfügung gestellt werden.

Darüber hinaus gehende Telematikanwendungen mit schiffahrtsbezogenen Informationen über verkehrliche, betriebliche oder meteorologische Daten (u.a. Wassertemperaturverlauf, Eisbildungsprozesse) werden zukünftig vermehrt an Bedeutung gewinnen; sie werden einen deutlichen Beitrag zur verbesserten Kalkulierbarkeit des Wasserstraßentransportes liefern. Mit der Erhöhung des kommunikativen Angebotes an die Binnenschiffahrt sind gute Ansätze geschaffen, daß sie durch stärkere Einbindung in verkehrsträgerübergreifende Transportketten und Erhöhung ihrer Produktivität ihren Marktanteil am Verkehrsmarkt behaupten, ja sogar noch verstärken kann.

9 Danksagung

Die Autoren möchten sich bei F. Portmann und R. Mülders in der Bundesanstalt für Gewässerkunde für hilfreiche Kommentare bedanken.

10 Literatur

BECKER, A.; SOSNOWSKI, P. (1969): Eine Impulsantwort für Flußabschnitte zur Durchflußberechnung.- Wasserwirtschaft - Wassertechnik 12/1969, 410-418.

GÜTHLEIN, K.; BURKHARDT, P.; MELCHER, M.; POLTE, B. (1980): Das Zentralmodell Elbe - erstes kontinuierlich arbeitendes Wasserstands- und Durchflußvorhersagemodell in der DDR.- Wasserwirtschaft - Wassertechnik 10/1980, 329-325.

FRÖHLICH, W.; STEINEBACH, G. (1997): Wasserstandsvorhersage für die Schiffahrt an Elbe und Rhein.- Binnenschiffahrt - Zeitschrift für Binnenschiffahrt Nr. 10, 37-38.

HEINZ, M. (1997): Wasserstandsvorhersage am Niederrhein - Mit neuem Service ein weiterer Schritt zur intelligenten Wasserstraße.- Binnenschiffahrt - Zeitschrift für Binnenschiffahrt Nr. 10, 38-40.

PLANCO Consulting GmbH (1997): Prognose von Flächenstrukturdaten für die Beurteilung von Infastrukturmaßnahmen an Bundeswasserstraßen, Essen.

RENTROP, P.; STEINEBACH, G. (1997): Model and numerical techniques for the alarm system of River Rhine. Surveys Math. Industry 6, 245-265.

STEINEBACH, G. (1996): Ein mathematisches Modell zur schiffahrtsbezogenen Wasserstandsvorhersage am Beispiel des Rheins. (= Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Technical University Graz, XVIII Konferenz der Donauländer), Graz, Seiten B-37-42.

WILKE, K. (1995): Operational short-term flood forecasts in the River Rhine basin.- Paper vorgetragen bei der P.I.A.N.C.-Konferenz "Inland Waterways and Flood Control", Brüssel, 23. Oktober 1995, 14 Seiten.

Adressen der Autoren:

Dipl.-Ing. M. Heinz: Bundesministerium für Verkehr, Referat W 16, Postfach 200100, D-53170 Bonn, Bundesrepublik Deutschland.

Dr. W. Fröhlich: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Schnellerstraße 140, D-12439 Berlin, Bundesrepublik Deutschland.

Dr. K. Wilke, Dr. G. Steinebach: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Kaiserin-Augusta-Anlagen 15-17, D-56068 Koblenz, Bundesrepublik Deutschland.