

Grundlagen, Aufbau und Betrieb des Wasserstands vorhersagesystems WAVOS Elbe

Silke Rademacher, Peter Burek und Gerhard Schikowski

1 Einführung

Wasserstandsvorhersagen werden bei Hochwasser aber auch bei Niedrig- und Mittelwasser benötigt. Bei Niedrig- und Mittelwasser ist die maximale Abladetiefe in der Schifffahrt eingeschränkt. Um eine Planung der Abladetiefe und damit optimale Ausnutzung der Ladekapazität und rentable Fahrten zu ermöglichen, ist die verkehrsbezogene Wasserstandsvorhersage notwendig. Bei Hochwasser müssen die Bevölkerung und Behörden im Rahmen der Hochwasservorsorgemaßnahmen über die Hochwasservorhersage verlässlich und genau über die zu erwartenden Wasserstände informiert werden.

Vorgestellt wird das Wasserstandsvorhersagesystem WAVOS Elbe, das von der Bundesanstalt für Gewässerkunde für die Belange von Bund und Ländern für verschiedene Flusssysteme entwickelt und an die Gegebenheiten der Elbe individuell angepasst wurde.

2 Grundlagen zum Wasserstandsvorhersagesystem WAVOS

2.1 WAVOS Konzept

Für die Schifffahrt und den Betrieb der Bundeswasserstraßen werden verkehrsbezogene Vorhersagen erstellt. Von der BfG wurde daher für die operationelle Vorhersage der Wasserstände das Wasserstandsvorhersagesystem WAVOS entwickelt. Es ist so konzipiert, dass es über das gesamte Abflussspektrum von Niedrigwasser bis Hochwasser arbeitet.

Unter Hochwasser wird das kurzzeitige Ansteigen des Wasserstands über den Mittelwasserbereich oder einen Schwellenwert verstanden. Demgegenüber nehmen die Niedrig- und Mittelwasserperioden einen wesentlich längeren Zeitraum ein. Mit dem Einsatz von WAVOS zur Hochwasservorhersage wird gewährleistet, dass die Erfahrung und der Umgang mit dem Modellsystem bei der Niedrig- und Mittelwasservorhersage in den relativ kurzen Zeitraum der Hochwasservorhersage übertragen werden kann.

WAVOS besteht aus einem Vorhersagemodell, diversen Schnittstellen für In- und Outputdaten und einer grafischen Benutzeroberfläche. Das Vorhersagesystem wurde von der BfG an verschiedene Flusssysteme angepasst und befindet sich in unterschiedlichen Vorhersagezentralen im operationellen Einsatz (siehe Abbildung 1).

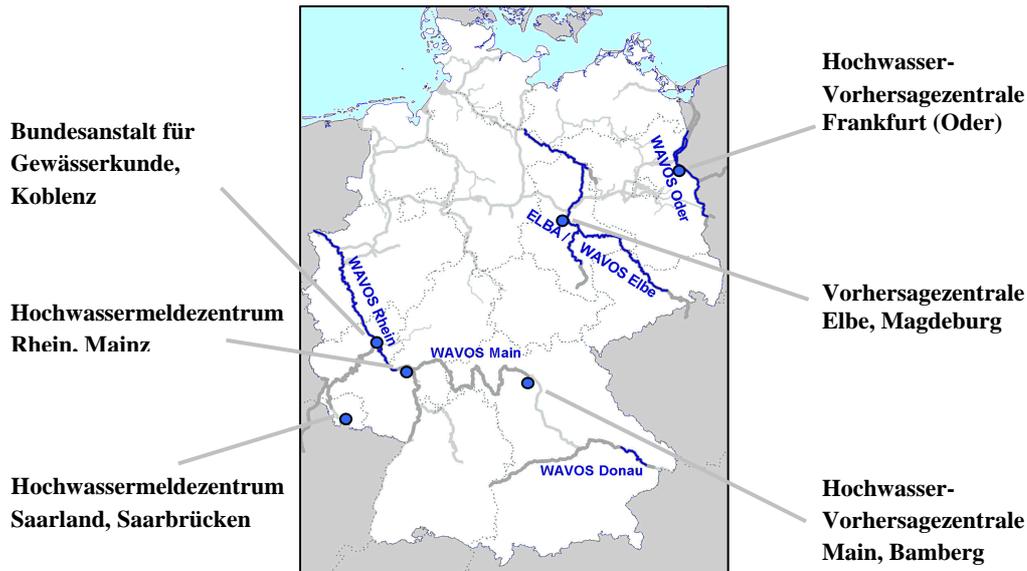


Abb. 1: Einsatzbereiche des Wasserstandsvorhersagesystems WAVOS (in blau jeweils die Vorhersagebereiche der Niedrigwasservorhersage)

Das Herzstück des modular aufgebauten Vorhersagemodells ist ein eindimensionales hydrodynamisches Modell zur Berechnung der Strömung im Fluss und in großen Nebenflüssen (STEINEBACH 1999). Zum Betrieb dieses Modells ist über die gesamte Berechnungszeit die Angabe von Randbedingungen notwendig, d.h. am oberen Modellrand muss der Zufluss und am unteren Modellrand der Wasserstand vorgegeben werden. Ebenso wird die zeitliche Entwicklung der seitlichen Zuflüsse ins Modellgebiet benötigt. Bei der Simulation der Vergangenheit kann hier jeweils auf Messwerte zurückgegriffen werden. Zur Berechnung der Vorhersage im Fluss müssen für die Zuflüsse und den Wasserstand am unteren Modellrand ebenso Vorhersagen vorliegen. Im einfachen Fall kann dieser Wasserstand aus der Wasserstands-Abfluss-Beziehung des am unteren Rand liegenden Pegels während der Berechnung bestimmt werden.

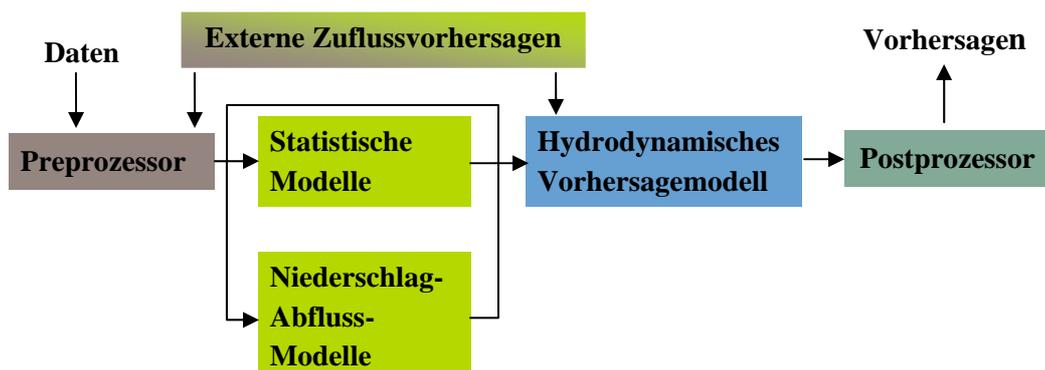


Abb. 2: Konzept des Wasserstandsvorhersagesystems WAVOS

In WAVOS sind zur Bestimmung der zukünftigen Randbedingungen unterschiedliche Wege vorgesehen. Zum einen können so genannte externe Vorhersagen anderer Vorhersagezentralen eingebunden werden und zum anderen mit Hilfe von statistischen Modellen oder Nieder-

schlag-Abfluss-(NA) -Modellen intern Vorhersagen berechnet werden. Stehen weder externe noch interne Vorhersagen zur Verfügung, müssen diese vom Anwender abgeschätzt werden. Ergänzt werden die Modelle von Pre- und Postprozessoren, die mit Hilfe diverser Schnittstellen den Datenfluss zum und vom Modell automatisieren.

2.2 Hydrodynamischer Modellansatz

Der hydrodynamische Modellansatz beruht auf der Lösung der vollständigen Saint-Venant-Gleichungen

$$\partial_t A = -\partial_x Q + q \quad (1)$$

$$\partial_t Q = -\partial_x (Q^2 / A) - gA(\partial_x h + S_f) \quad (2)$$

Diese Gleichungen für den durchflossenen Querschnitt $A(x,t)$ und den Durchfluss $Q(x,t)$ basieren auf der Erhaltung von Masse und Impuls. $q(x,t)$ beschreibt seitliche Zuflüsse und $h(x,t)$ die Wasserspiegellhöhe über einem Bezugsniveau. Der Einfluss der Reibung und Turbulenz wird im Term S_f berücksichtigt.

Beim Elbmodell wurde ebenso wie beim Odermodell (RADEMACHER 2004) die Reibung mittels des Ansatzes nach Darcy-Weisbach über die Fließgeschwindigkeit $v=Q/A$ parametrisiert:

$$S_f = v |v| \frac{\lambda}{8gr_{hy}} \quad (3)$$

Die Berechnung des Reibungsbeiwertes λ erfolgt nach Prandtl-Colebrook unter der Annahme hydraulisch rauher Verhältnisse:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2.03 \lg \frac{k/r_{hy}}{14.84} \quad (4)$$

Der Vorteil von Darcy-Weisbach liegt darin, dass Widerstands- und Scherkräfte durch einen physikalischen Ansatz ausgedrückt werden. Zudem hängt die äquivalente Sandrauheit k im Gegensatz zum Strickler-Wert nicht vom hydraulischen Radius r_{hy} ab. Vor allem bei der Überflutung der Vorländer mit geringen Wassertiefen und großen Rauheitselementen (Bäume, Sträucher) ist das ein entscheidender Vorteil.

Die Elbe verfügt in weiten Bereichen über große Vorlandflächen. Aufgrund dessen kann bei der Berechnung des Hochabwasserabflusses nicht mehr von einem kompakten Querschnitt mit einer einheitlichen Fließgeschwindigkeit ausgegangen werden. Vielmehr muss der Querschnitt in einzelne Fließzonen gegliedert werden, zwischen denen, infolge der unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten, Schubspannungen herrschen, die im Reibungsansatz und als Boussinesq-Beiwert β in der Bewegungsgleichung (6) berücksichtigt werden müssen.

Zur Berücksichtigung der Bühnenfelder wird eine weitere Gleichung (7) für die Bühnenfläche $A_B(x,t)$ benötigt. Die Gleichungen (8) und (9) erfassen den Retentionsraum $A_R(x,t)$ und die darin herrschende Wasserspiegellhöhe $h_R(x,t)$. Die Funktionen $\mathbf{A}_B(x,h)$ und $\mathbf{A}_R(x,h_R)$ werden aus Geometriedaten des Gewässerbettes und des Retentionsraumes hergeleitet.

Insgesamt wird folgendes Gleichungssystem gelöst:

$$\partial_t (A + A_B + A_R) = -\partial_x Q + q \quad (5)$$

$$\partial_t Q = -\partial_x (\beta Q^2 / A) - g A (\partial_x h + S_f) \quad (6)$$

$$0 = A_B - \mathbf{A}_B(x, h) \quad (7)$$

$$\partial_t h_R = c_R (h - h_R) \quad (8)$$

$$0 = A_R - \mathbf{A}_R(x, h_R) \quad (9)$$

Da bei Hochwasser sowohl Polderzu- als auch -ausflüsse $q(t)$ eine große Bedeutung für das Abflussgeschehen eines Flusses haben, können diese im Modell mit Hilfe einer modifizierten Überfallformel nach Poleni und dem Rückstaubeiwert $c(t)$ nach Schmidt berücksichtigt werden:

$$q(t) = \mu c b \sqrt{g} (w_{ii}(t))^{3/2} \quad (10)$$

$$c(t) = \sqrt{1 - \left(\frac{w_p(t)}{w_{ii}(t)} \right)^{16}} \quad (11)$$

Der Überfallbeiwert μ hängt von der Form des Einlaufbauwerkes der Breite b ab. Darüber hinaus bezeichnet w_{ii} die Überfallhöhe und w_p den Wasserstand im Polder über dem Wehrrücken. Auf dieselbe Weise ist es möglich eine Deichöffnung bzw. einen Deichbruch zu simulieren, um so die Auswirkungen auf den Ablauf der Hochwasserwelle untersuchen zu können.

3 Aufbau von WAVOS Elbe

3.1 Vorhersage mit dem Wasserstandsvorhersagesystem ELBA

In der Vorhersagezentrale Elbe in Magdeburg wird bereits seit Mitte der 80er Jahre das Zentralmodell Elbe (GÜTHLEIN ET AL. 1980) und ab 1995 das von der BfG entwickelte Nachfolgemodell ELBA (FRÖHLICH 1996) zur täglichen Wasserstandsvorhersage betrieben. Es beruht auf dem dreistufigen Translations-Diffusions Ansatz des Zentralmodells Elbe. Mittels Superposition der drei Stufen Flussbett, Ausuferung und Hochwasserbereich wird das nicht lineare Verhalten der Strömung vereinfacht nachgebildet. Die Lösung erfolgt abschnittsweise von Pegel zu Pegel. ELBA berechnet Wasserstandsvorhersagen für 13 Elbepegel zwischen Dresden und Boizenburg, drei Saalepegel unterhalb Halle-Trotha und den Havelpegel Havelberg.

Der Vorhersagezeitraum liegt entsprechend der Laufzeit zwischen einem und fünf Tagen. Darüber hinaus werden Abschätzungen von bis zu weiteren drei Tagen berechnet (siehe Abbildung 3).

| Gewässer | Vorhersagepegel | Vorhersage und Abschätzung in Tagen | | | | | | | |
|----------|--------------------------------|-------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Labe | Ústí nad Labem (von ČHMÚ Prag) | | | | | | | | |
| Elbe | Dresden | | | | | | | | |
| Elbe | Torgau | | | | | | | | |
| Elbe | Wittenberg | | | | | | | | |
| Elbe | Dessau | | | | | | | | |
| Elbe | Aken | | | | | | | | |
| Saale | Halle-Trotha UP | | | | | | | | |
| Saale | Bernburg UP | | | | | | | | |
| Saale | Calbe UP | | | | | | | | |
| Elbe | Barby | | | | | | | | |
| Elbe | Magdeburg Strombrücke | | | | | | | | |
| Elbe | Niegripp | | | | | | | | |
| Elbe | Tangermünde | | | | | | | | |
| Havel | Havelberg-Stadt | | | | | | | | |
| Elbe | Wittenberge | | | | | | | | |
| Elbe | Dömitz | | | | | | | | |
| Elbe | Neu Darchau | | | | | | | | |
| Elbe | Boitzenburg | | | | | | | | |

Abb. 3: Vorhersagezeitraum der Wasserstandsvorhersagen an der Elbe

Im Verlauf des bisherigen Betriebs hat sich das ELBA Modell weitgehend bewährt. Modellbedingte Schwierigkeiten gibt es aber besonders bei der genauen Vorhersage für jene Pegel, die nahe dem Mündungsbereich bedeutender Nebenflüsse liegen oder deren Wasserstände durch die Steuerung der Regelbauwerke im Fluss (z.B. Pretziener Wehr und die Havelwehre) beeinflusst werden.

3.2 Weiterentwicklung des Wasserstandsvorhersagemodells Elbe

Aus den oben genannten Gründen liefen bereits vor dem Elbe-Hochwasser vom August 2002 die ersten Planungen zur Erstellung eines hydrodynamischen Modells und des Vorhersagesystems WAVOS für die Elbe. Mit diesem Ansatz wird die Flussgeometrie genauer erfasst und der Einfluss von Rückstauwirkungen, Poldern und Deichbrüchen kann berücksichtigt werden. Weiterhin sind Aussagen über Wasserstände zwischen den Pegeln sowie die genauere Erfassung der Hochwasserscheitel möglich. Durch den modularen Aufbau von WAVOS können die Modellgrundlagen auch zukünftig kontinuierlich angepasst und aktualisiert werden.

Am 28.11.2002 wurde zur Begleitung des Aufbaus des neuen Systems die Arbeitsgruppe „Wasserstands- / Hochwasservorhersage für die Elbe – Weiterentwicklung des Wasserstandsvorhersagemodells für die Bundeswasserstraßen Elbe und Saale“ ins Leben gerufen, die sich aus Vertretern der sieben Bundesländer (Sachsen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein und Hamburg), der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes und der BfG zusammensetzt.

Aufgabe dieser Arbeitsgruppe ist neben der Abstimmung der Modellentwicklung und der Beteiligung an der Erstellung eines Digitalen Geländemodells (DGM) für die Elbe vor allem die Erarbeitung einer Verwaltungsvereinbarung zwischen den Elbeanliegerländern, der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) zur Wasserstands- und Hochwasservorhersage an Elbe und Saale und die Regelung der Zusammenarbeit im Vorhersagebetrieb (Normalfall und Hochwasser).

3.3 Modellbereich, Vorhersagepegel, Diskretisierung und Randbedingungen

Das Wasserstandvorhersagesystem WAVOS Elbe setzt sich aus folgenden Teilen zusammen:

- Hydrodynamisches Modell für die Elbe von Ústí nad Labem bis Zollenspieker mit Dresdener Flutrinnen, Elbe Umflutkanal bei Magdeburg (655 km Fließstrecke).
- Hydrodynamisches Modell für die Saale von Naumburg bis zur Mündung (164 km Fließstrecke).
- Hydrodynamisches Modell für die Havel von Rathenow bis zur Mündung (63 km Fließstrecke).

Statt der bisher 17 Vorhersagepegel im Modell ELBA wird die Anzahl der Vorhersagepegel auf 25 erhöht. Zusätzlich werden Vorhersagen für die Pegel Schöna, Riesa, Vockerode, Sandau, Schnackenburg, Lenzen, Hohnsdorf und Geesthacht erstellt (siehe Abbildung 4).

Der Vorhersage- und Abschätzungszeitraum für die Elbe beträgt weiterhin wie beim Modell ELBA zwei Tage am Oberlauf (Pegel Schöna) bzw. bis zu 8 Tagen am Unterlauf (Pegel Geesthacht) (siehe Abbildung 3).



Abb. 4: Modellbereich und Vorhersagepegel WAVOS Elbe

Das hydrodynamische Modell ist als Netzwerk aufgebaut, das sich aus 21 verschiedenen Flussabschnitten zusammensetzt. Beim Translations-Diffusions Modell ELBA erfolgt die Berechnung abschnittsweise von Pegel zu Pegel für den gesamten betrachteten Zeitraum. Im Unterschied hierzu erfolgt beim hydrodynamischen Modell die Berechnung für jeden Zeitschritt für das gesamte System.

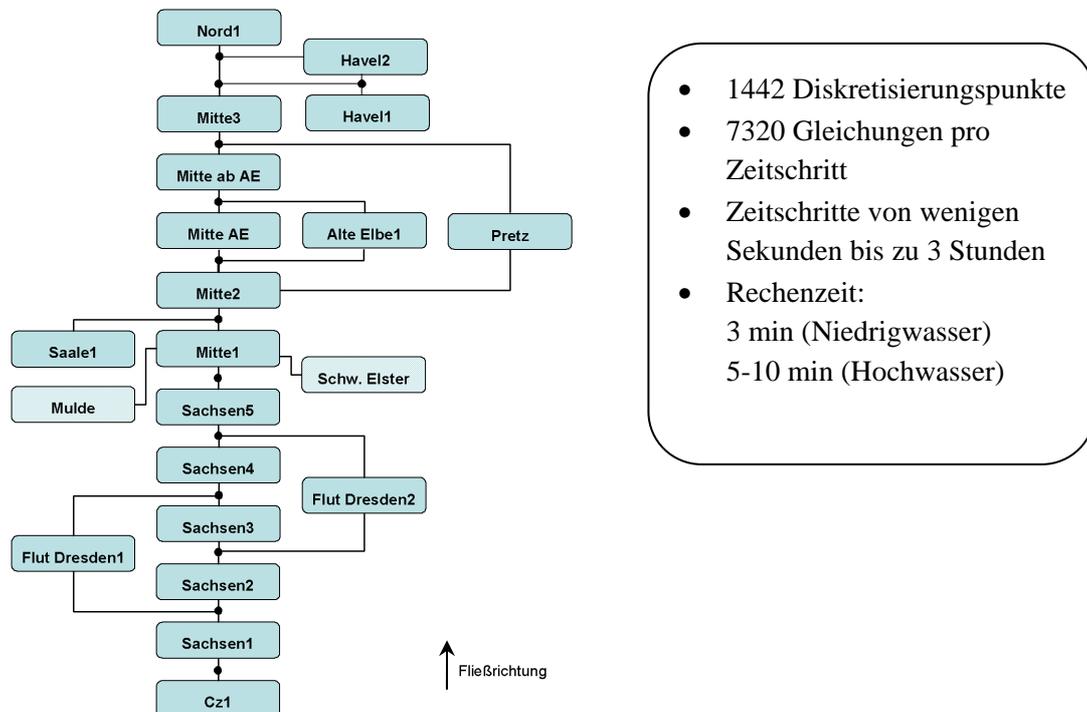


Abb. 5: Netzaufbau WAVOS Elbe

Die zeitliche Diskretisierung ist variabel und verändert sich je nach Dynamik im System von Zeitschritten im Sekundenabstand bis zu maximalen Abständen von drei Stunden.

Die räumliche Diskretisierung, das heißt der räumliche Abstand der Berechnungsknoten, variiert sowohl innerhalb eines Flussabschnittes als auch zwischen den Flussabschnitten. So liegt der Abstand bis zum Pegel Barby bei 200 m, ab dem Pegel Barby zwischen 200 m und 1 km. Insgesamt liegen dem System 1442 Diskretisierungspunkte zugrunde.

Für den Rechenablauf bedeutet dies 7320 Gleichungen pro Zeitschritt. Damit beläuft sich die Rechenzeit für eine Vorhersage von acht Tagen mit zusätzlichen vier Tagen Simulationsvorauslauf auf ca. 3 min bei Niedrigwasser und 5-10 min bei Hochwasser auf einem herkömmlichen PC (2 GHz Rechner).

Für die Lösung des instationären hydrodynamischen Gleichungssystems (siehe Abschnitt 2.2) werden Anfangsbedingungen im gesamten Modellgebiet für jeden Berechnungsknoten sowie Randbedingungen an den Modellrändern über den gesamten Berechnungszeitraum benötigt. Als Anfangsbedingungen für Wasserstand und Durchfluss können bei WAVOS Elbe sowohl Werte aus einer vorangegangenen instationären Berechnung als auch eine vorangestellte stationäre Berechnung verwendet werden.

Als Randbedingungen werden an den oberstromigen Rändern (Pegel Ústí n. L. , Naumburg, Rathenow) Durchflüsse und an den unterstromigen Rändern Wasserstände vorgegeben. Während des Simulationszeitraums werden die Randbedingungen aus den Messwerten bestimmt. Für den Vorhersagezeitraum müssen hierzu Werte abgeschätzt oder externe Vorhersagen verwendet werden. Für die Elbe werden für Ústí n. L. Vorhersagen des Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) Prag, für Naumburg Vorhersagen des Landeshochwasserzentrums (LHZ) Sachsen-Anhalt und für Rathenow Abschätzungen des Wasser- und Schifffahrtsamtes (WSA) Brandenburg verwendet. Die jeweilige Randbedingung an der Mündung von Saale und Havel stellt sich aufgrund der hydrodynamischen Berechnung ein. Der Wasserstand am Pegel Zollenspieker wird stark von der Tide der Nordsee beeinflusst. Die Dynamik der Tideschwankungen auf ca. 30 km Fließstrecke würde die Anzahl der Rechenschritte für das gesamte System (882 km Fließstrecke) erhöhen. Die Einbeziehung der Tide würde demzufolge die Rechenzeit für eine Vorhersageberechnung unverhältnismäßig stark erhöhen. Für die untere Elbe wird eine Vorhersage mit Abschätzung von acht Tagen herausgegeben, daher wird auch für die untere Randbedingung eine ebenso lange Abschätzung benötigt. Da eine acht Tage Vorhersage für den Pegel Zollenspieker nicht vorliegt, wird die untere Randbedingung aus einem mittleren Wasserstand und einer konstruierten, fiktiven Wasserstand-Abfluss Beziehung am Pegel Zollenspieker gebildet.

3.4 Im Modell integrierte Besonderheiten der Elbe

Bei der Modellierung der Elbe sind mehrere Besonderheiten zu beachten:

Dresdener Flutmulden:

Im Stadtgebiet von Dresden befinden sich zwei Flutrinnen, die bei Hochwasser durchströmt werden. Die Aufteilung der Durchflüsse zwischen Elbestrom und den Flutrinnen Großes Ostragehege und Kaditz erfolgt in WAVOS Elbe entsprechend der Aufteilung wie sie in der Arbeit von MARTIN UND CARSTENSEN (1994) beschrieben wird.

Mulde:

Um die Zuflussvorhersagen des Landeshochwasserzentrums Sachsen für den Pegel Golzern nutzen zu können und den Wellenablauf bis zur Muldemündung nachzubilden, wurde ein Translations-Diffusions Modell für die Mulde auf der Strecke Golzern-Mündung eingebaut. Der Wellenablauf in der Mulde kann so vereinfacht berechnet werden, aber der Rückstau im Mündungsbereich der Mulde wird so in keiner Weise erfasst. Zukünftig soll der Rückstaubereich der Mulde hydraulisch in WAVOS Elbe berechnet werden.

Elbe Umflutkanal mit Pretziener Wehr

Die Modellierung des Elbe Umflutkanals (EUK) mit dem Pretziener Wehr im Magdeburger Raum stellt eine weitere Besonderheit dar. In WAVOS Elbe ist die Stromaufspaltung bei Hochwasser zwischen Elbe, Alter Elbe und EUK integriert. Der Zeitpunkt der Öffnung bzw. Schließung des Pretziener Wehrs kann über die Benutzeroberfläche eingegeben werden und wird bei der hydrodynamischen Berechnung berücksichtigt.

Havel:

An der Havel sind die Havelpolder entlang der Fließstrecke Untere Havel, sowie die Steuerung der Wehrgruppe Neuwerben/Quitzebel zu integrieren.

Wehr Geesthaacht

Bei Elbe km 585 ist das Wehr Geesthaacht zu integrieren. Bei Hochwasser wird dieses Wehr gezogen.

3.5 Erstellung von Querprofilen aus digitalen Geländemodellen

Analog dem bewährten Vorgehen beim Modellaufbau Grenzoder wurde zunächst ein digitales Geländemodell des Wasserlaufs der Elbe (DGM-W Elbe) auf der Grundlage von Laserscan-Befliegungen des trockenen und von Peilungen des nassen Bereichs erstellt. Für die Bearbeitung wurde die Elbe in 3 Bereiche eingeteilt (siehe Abbildung 6). Für den Bereich Elbe Süd wurde auf vorhandene Befliegungsdaten des Landesvermessungsamtes und des Landestalsperrenverbandes des Freistaates Sachsen zurückgegriffen. Die Befliegung des Bereichs Elbe Mitte und die Erstellung des digitalen Geländemodells wurden abgeschlossen. Die Befliegung des Bereichs Elbe Nord wird – sofern Wasserstände und Witterung es zulassen – im Winter 2005/06 stattfinden. Bis zur Erstellung des DGM-W Elbe-Nord wird auf vorhandene Höhendaten zurückgegriffen.

Für die tschechische Teilstrecke vom Pegel Ústí n. L. bis zur tschechisch-deutschen Grenze wurde freundlicherweise ein digitales Geländemodell vom Povodí Labe státní podnik zur Verfügung gestellt.

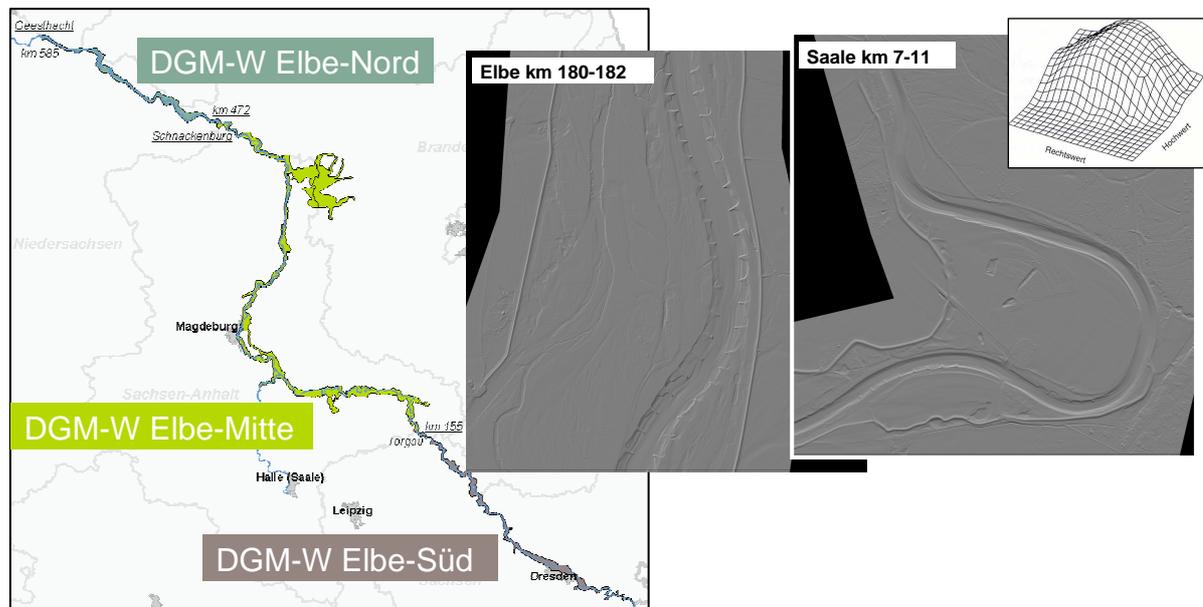


Abb. 6: Digitales Geländemodell des Wasserlaufs (DGM-W) Elbe

Die Beschreibung der Geometrie des Fließquerschnitts erfolgt bei eindimensionalen Ansätzen mit Hilfe von Querprofilen. Für den Elbe-, Saale- und Havelverlauf wurden diese Querprofile aus dem digitalen Geländemodell des Wasserlaufs abgeleitet (siehe Abbildung 7).

Für den Bereich Elbe-Nord (unterhalb Elbe-km 474) wurden die Querprofile aus WSV-Profilen für den Flusslauf und vorhandenen digitalen Geländemodellen für das Vorland zusammengestellt. Nach Fertigstellung des DGM-W Elbe-Nord werden diese Querprofile ersetzt.

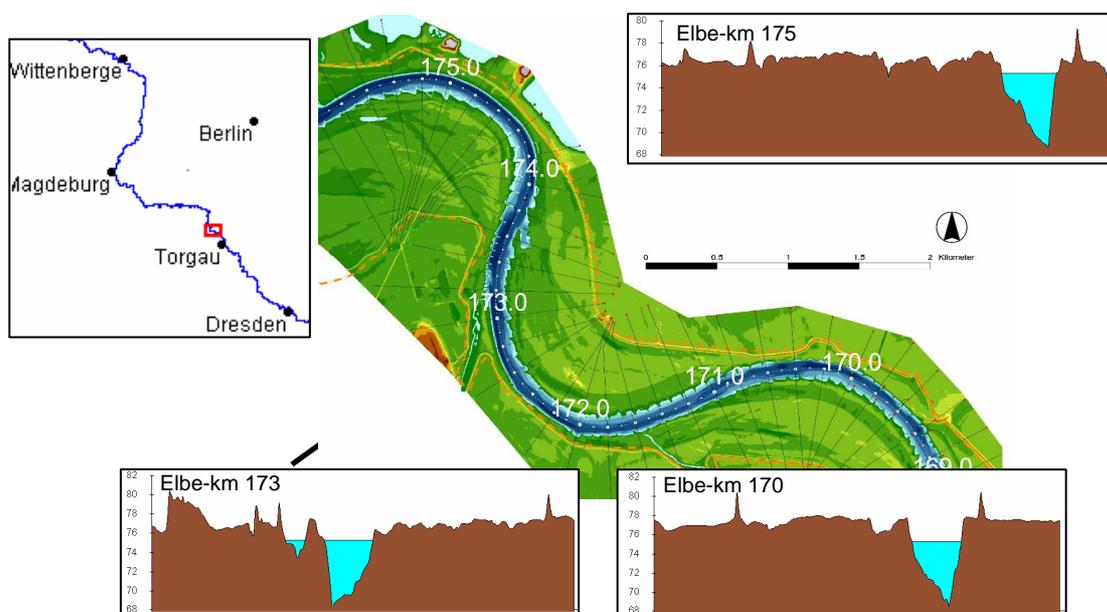


Abb.7: Ableitung von Querprofilen aus dem digitalen Geländemodell der Elbe

3.6 Kalibrierung des Modells

Ein Vorhersagemodell für die Elbe muss gewährleisten, dass bei allen Abflusszuständen, also sowohl bei Hochwasser mit den Besonderheiten der Elbe (Flutmulden, Alte Elbe, Elbe Umflutkanal, Steuerung der Wehrgruppe Neuwerben/Quitzebel, Wehr Geesthacht) als auch bei Niedrigwasser das Modell robust, schnell und genau rechnet. Es ist nicht wie bei Simulationsmodellen möglich, den Modellaufbau der jeweiligen Situation anzupassen.

Die Kalibrierung und Validierung des Modells erfolgte anhand von verschiedenen Niedrigwasser-, Mittelwasser- und Hochwasserzeiträumen. Während dieser Zeiträume sind sowohl die Wasserstandszeitreihen an den Pegeln als auch abschnittsweise Wasserspiegelfixierungen gegeben (siehe Abbildung 8).

Tab. 1: Kalibrierungs- und Validierungszeiträume WAVOS Elbe

| Zeitraum | Abfluss[m³/s] | Bezugspegel | |
|----------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------------------|
| Niedrigwasser | | | |
| Sept. 99 | Q=117 | Dresden | |
| Okt. 99 | Q=292 | Wittenberge | Unterscheidung: |
| Jan. 01 | Q=264 | Dresden | - Kalibrierung |
| Juni 03 | Q=106 | Dresden | - Validierung |
| Juli 03 | Q=247 | Neu Darchau | |
| Aug. 03 | Q=121 | Wittenberg | Alle Zeiträume: |
| Sept. 04 | Q=145 | Dresden | - mit Ganglinien |
| | | | - mit Wasserspiegelfixierungen |
| | | | zumindest über Teilstrecken |
| Mittelwasser | | | |
| Dez. 01 | Q=589 | Aken | |
| März 03 | Q=781 | Torgau | |
| Mai 04 | Q=499 | Aken | |
| Hochwasser | | | |
| Nov. 98 | Q=1580 | Dresden | |
| März 99 | Q=1670 | Dresden | |
| Jan. 02 | Q=1610 | Dresden | |
| Aug. 02 | Q=4410 | Wittenberg | |
| Jan. 03 | Q=1990 | Dresden | |
| März 05 | Q=1600 | Dresden | |

Als Beispiel für die Güte der Kalibrierung werden in Abbildung 9 für die Pegel Dresden, Magdeburg Strombrücke und Wittenberge die Ergebnisse der instationären Simulationen durchläufe für den Kalibrierungszeitraum 1.1.2003 bis 15.1.2003 und den Validierungszeitraum 15.3.2005 bis 30.3.2005 gezeigt. Während beider Simulationszeiträume wurde das Pretziener Wehr geöffnet, was sich sowohl in den Messwerten, aber auch in der Simulation widerspiegelt (Abbildung 9 Mitte: Magdeburg Strombrücke).

Über die in Tabelle 1 angegebenen Zeiträume beläuft sich der Standardfehler zwischen Messwerten und Simulationsergebnissen auf 5 cm.

Neben dem Vergleich von Wasserstandsreihen werden zur Kalibrierung auch die Abflusszeitreihen und die Wasserspiegelfixierungen verwendet.

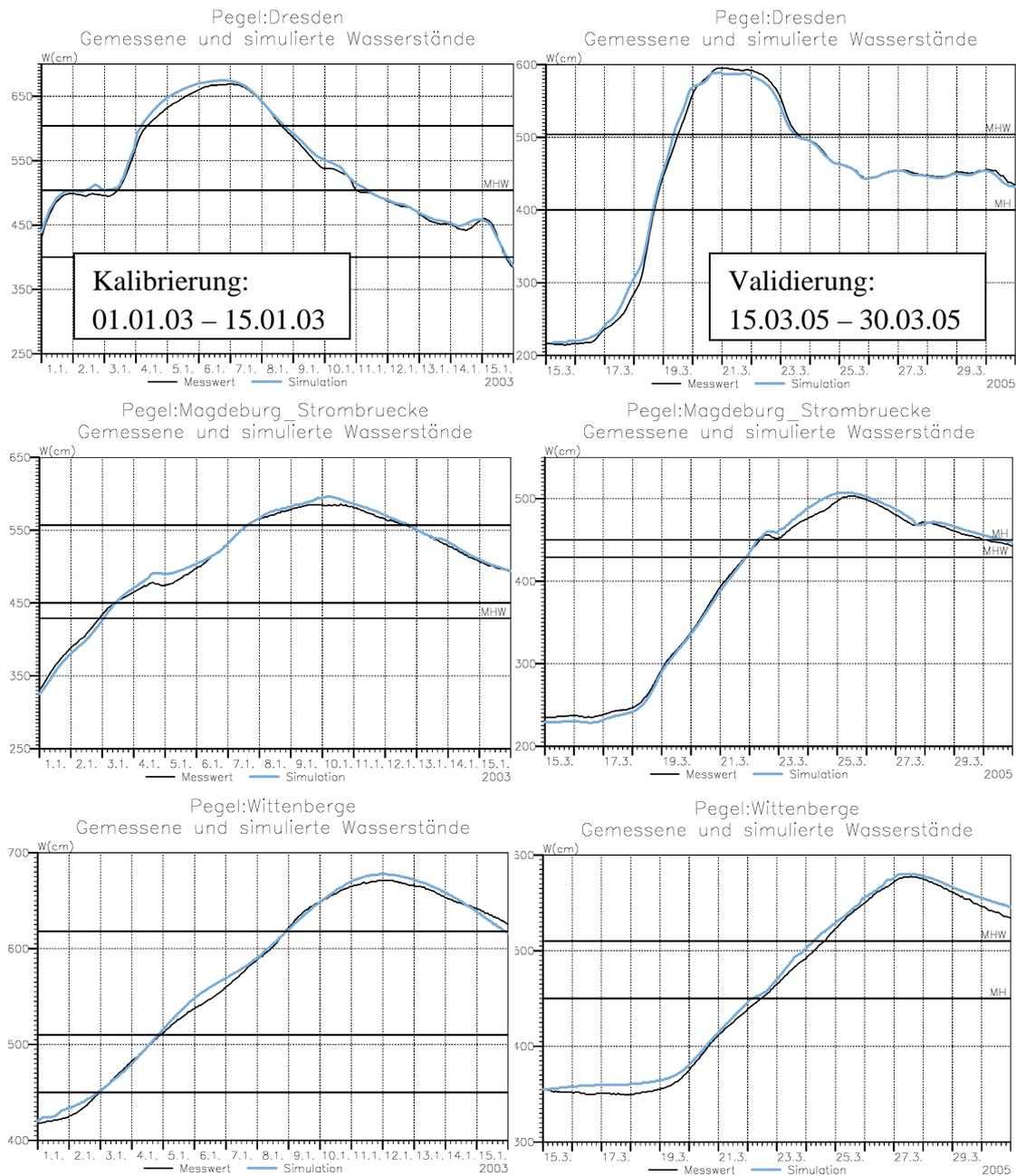


Abb. 8: Beispiele für Kalibrierungs- und Validierungsläufe – Modellausgabe WAVOS Elbe

4 Betrieb von WAVOS Elbe

Das Vorhersagesystem WAVOS Elbe soll für die Elbe Ende 2005 fertig gestellt werden.

Ab 2006 soll der Testbetrieb im WSA Magdeburg aufgenommen werden.

Wie bisher wird die Niedrig- und Mittelwasservorhersage im werktäglichen Betrieb im WSA Magdeburg erstellt. Veröffentlicht werden die Niedrig- und Mittelwasservorhersagen über die Medien Fax, Videotext, Email und Internet (siehe Beitrag von GABRIEL, WSD OST).

Nach der Festschreibung der Verwaltungsvereinbarung zwischen den Elbeanliegerländern, der Bundesanstalt für Gewässerkunde und der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung zur Was-

serstands- und Hochwasservorhersage an Elbe und Saale sollen im Hochwasserfall die Hochwasservorhersagen für die Elbe, Saale und Havel in der gemeinsamen Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) Elbe durch den Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft (LHW) des Landes Sachsen-Anhalt erstellt werden. Das LHW wird weiterhin durch die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes unterstützt.

Das Landeshochwasserzentrum (LHWZ) des Freistaates Sachsen erstellt bei Hochwasser im sächsischen Bereich der Elbe Vorhersagen für die Pegel Schöna, Dresden, Riesa und Torgau. Die HVZ Elbe übernimmt nach erfolgter Abstimmung diese Vorhersagen des LHWZ für die gemeinsame Hochwasservorhersage der Elbe.

5 Zusammenfassung

Die Anrainerländer der Elbe (Sachsen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein und Hamburg), die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes und die Bundesanstalt für Gewässerkunde haben im Jahr 2002 beschlossen, die Wasserstandsvorhersage für die Bundeswasserstraßen Elbe und Saale weiterzuentwickeln. Die BfG passt das eindimensionale, hydrodynamische Wasserstandsvorhersagemodell WAVOS an die Gegebenheiten der Elbe für die Niedrig- und Hochwasservorhersage an.

Das Vorhersagesystem WAVOS Elbe soll für die Elbe Ende 2005 fertig gestellt sein und ab 2006 im Testbetrieb im WSA Magdeburg laufen.

Im Laufe des Jahres 2006 soll dann die Vorhersage für alle Abflusszustände mit dem Modell WAVOS Elbe erfolgen.

6 Literatur

- Fröhlich, W. (1996): ELBA ein Programmsystem für die Wasserstandsvorhersage. Aus: Gewässer-Informationssysteme: Datenmanagement und Modellierung von Stromlandschaften ; Tagungsband zum Vorseminar vor dem 7. Magdeburger Gewässerschutzseminar, 20. Oktober bis 22. Oktober 1996 in Budweis. - 1996. - S. 150-153.
- Güthlein, K.; Burkhardt, P.; Melcher, M.; Polte, B. (1980): Das Zentralmodell Elbe - erstes kontinuierlich arbeitendes Wasserstands- und Durchflußvorhersagemodell in der DDR. Wasserwirtschaft-Wassertechnik, Berlin, 30 (1980)10, S. 329-335.
- Martin, H.; Carstensen, D. (1994): Ergebnisse der Untersuchung zur hydraulischen Wirksamkeit der Dresdner Flutrinnen. In: Lattermann, E. (Hrsg.) Wasserbauliche Mitteilungen: Die Elbe - Wasserstraße und Auenlandschaft. Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik. Technische Universität Dresden. Dresden. S.145-160.
- Rademacher, S. (2004): Das Wasserstandsvorhersagesystem WAVOS im Oder- und Elbegebiet. BfG-Kolloquium „Wasserstands- und Abflussvorhersage in grenzüberschreitenden Flussgebieten“. BfG Mitteilung 6/2004. Koblenz.
- Steinebach, G. (1999): Using hydrodynamic models in forecast systems for large rivers. Proc. Advances in Hydro-Science and -Engineering, Vol.3 incl. CD-ROM, Holz, K.P., Bechteler, W., Wang, S.S.Y., Kawahara, M. (ed.), Cottbus.

Anschrift der Autoren:

Silke Rademacher

Dr. Peter Burek

Gerhard Schikowski

Am Mainzer Tor 1

56068 Koblenz

rademacher@bafg.de, burek@bafg.de, schikowski@bafg.de