

INTERNATIONALES HOCHWASSERPROGNOSEMODELL MUR

1. Einleitung

Im Rahmen des Interreg IIIB - Projektes „Flussraumagenda Alpenraum“ wurde ein internationales Hochwasserprognosemodell für das Einzugsgebiet der Mur entwickelt. Zum momentanen Zeitpunkt sind Österreich (Steiermark) und Slowenien am System beteiligt, das von vornherein so gestaltet wurde, dass auch Ungarn und Kroatien jederzeit in die Struktur eingebaut werden können. Das System wurde von der Bietergemeinschaft „JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH“ aus Graz und „DHI Water and Environment“ aus Dänemark entwickelt und läuft seit Beginn des Jahres 2006 sowohl in der Steiermark als auch in Slowenien im operationellen Betrieb.

Im folgenden Bericht werden die Struktur des Modellsystems, die verwendeten Eingangsdaten, die Erstellung des Systems sowie kurz auch die bisherigen Erfahrungen mit den Prognosen dargestellt, zuvor wird auf grundlegende Daten des Einzugsgebietes eingegangen. Nähere Informationen können dem Endbericht zur Flussraumagenda Alpenraum (Ruch & Jörgensen, 2006) entnommen werden.

2. Einzugsgebiet der Mur

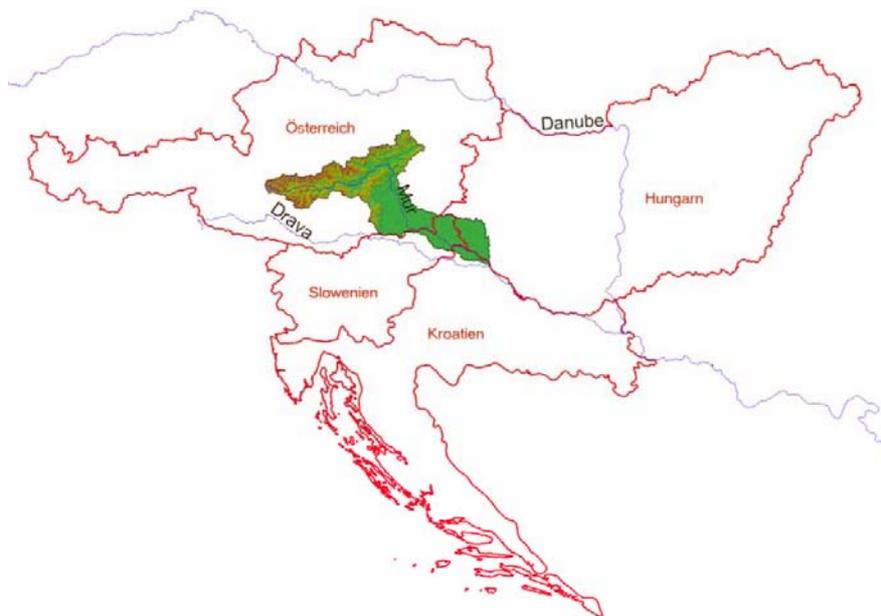


Abbildung 1: Einzugsgebiet der Mur mit Staatsgrenzen

Abbildung 1 zeigt das Einzugsgebiet der Mur samt den Staatsgrenzen der am Einzugsgebiet beteiligten Länder Österreich, Slowenien, Kroatien und Ungarn. Die Mur entspringt in Salzburg (Lungau) auf einer Seehöhe von ca. 1900 m.ü.A., durchfließt in Österreich die Bundesländer Salzburg und Steiermark auf einer Gesamtlänge von ca. 350 km, durchquert Slowenien und bildet schließlich die Grenze zwischen Kroatien und Ungarn, wo sie letztendlich in die Drau mündet. Bei einem Gesamteinzugsgebiet von ca. 13800 km² liegt der

weitaus größte Teil des Einzugsgebiets in Österreich (ca. 10000 km²), der Rest verteilt sich auf Slowenien (ca. 1400 km²), Kroatien (ca. 500 km²) und Ungarn (ca. 1900 km²).

3. Struktur des Prognosesystems

Aufgrund der geographischen Charakteristika ist die Wahrscheinlichkeit der Entstehung einer Hochwasserwelle in Österreich wesentlich höher, die damit verbundenen Risiken sind aber im gesamten Einzugsgebiet der Mur verteilt. Weiters ist offensichtlich, dass die Qualität der Hochwasserprognose in Österreich nicht von den Informationen der anderen Länder abhängig ist, wohl aber z.B. die Qualität der Hochwasserprognose in Slowenien oder Kroatien die Informationen aus Österreich benötigt. Aus diesem Grund war die Erarbeitung einer gemeinsamen Lösung die besondere Herausforderung in diesem Projekt.

Bei der Erarbeitung einer gemeinsamen Lösung wurden von Anfang an auch die ungarischen und kroatischen Repräsentanten miteinbezogen, wobei letztendlich, wie bereits erwähnt, momentan Österreich und Slowenien am System beteiligt sind. In mehreren Arbeitssitzungen im Rahmen der Ständigen österreichisch-slowenischen Kommission für die Mur ist ein globales Konzept entstanden, das auch für andere internationale Einzugsgebiete anwendbar wäre. Neben einer internationalen Hochwasserzentrale, die in Graz (Österreich) eingerichtet wurde, wurden zusätzlich zwei nationale Zentralen in Graz und in Laibach (Slowenien) installiert. In der internationalen Zentrale werden die Hochwasserprognosen kontinuierlich und automatisch berechnet, d.h. es ist grundsätzlich kein menschlicher Eingriff in das System notwendig. Dabei wurde vereinbart, für das System generell eine Vorhersagezeit von 48 Stunden zu wählen.

Die automatischen Simulationen der Abflüsse und Wasserstände der Hochwasserzentrale stützen sich einerseits auf Echtzeitmessungen der Niederschläge, Lufttemperaturen und Wasserstände, andererseits auf meteorologische Prognosen der Niederschläge und Lufttemperaturen, die von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG Wien) und von der nationalen slowenischen Agentur für Umwelt (ARSO) zur Verfügung gestellt werden. Zusätzlich zu diesem globalen System betreibt jedes Land ein eigenes lokales System, mit welchem Szenarien ergänzend zu den automatischen Prognosen berechnet werden können. Diese kombinierte „globale und lokale“ Lösung entspricht eindeutig den von der Europäischen Union definierten Zielen eines national übergreifenden Einzugsgebietsmanagements. Die Struktur des Systems ist in Abbildung 2 dargestellt.

3.1 Eingangsdaten

Als Eingangsdaten in das System werden im Moment folgende Daten verwendet:

- Online-Daten des hydrographischen Dienstes Steiermark sowie der slowenischen Agentur für Umwelt:
 - Niederschlag (in Österreich derzeit 43 Niederschlagsstationen)
 - Lufttemperatur (Ö: 11 Stationen)
 - Wasserstand (Ö: 26 Pegel)
- Niederschlags- und Lufttemperaturprognosen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) sowie von der nationalen slowenischen Agentur für Umwelt (ARSO):

- Modell ALADIN: Niederschlags- und Lufttemperaturprognosen für die nächsten 48 Stunden mit einer zeitlichen Auflösung von 1 Stunde, Neuberechnung alle 12 Stunden
- Geplant: Einbeziehung von Nowcasting-Daten (max. nächste 6 Stunden): INCA-Modell

Die vorhandenen Daten werden jede Stunde automatisch via ftp in das System eingelesen und die Prognosen berechnet. Die errechneten automatischen Prognosen werden nun einerseits an die nationalen Systeme weitergeleitet, wo bei Bedarf eigene Szenarien berechnet werden können, andererseits werden die Prognosen auf einer Internet-Seite, deren Zugang momentan noch verschlüsselt ist, dargestellt.

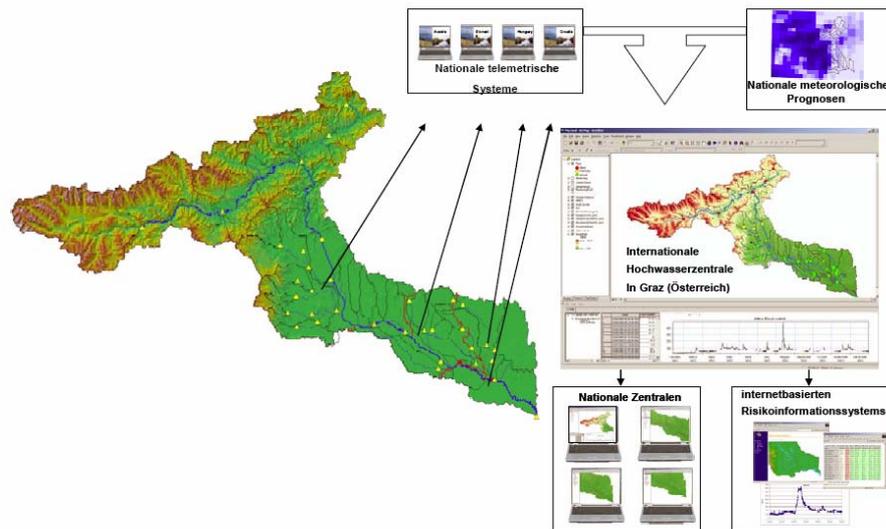


Abbildung 2: Struktur des Hochwasserprognosesystems

3.2 Softwarestruktur

Das Hochwasserprognosemodell Mur basiert auf dem von DHI entwickelten Softwarepaket „MIKE FLOOD WATCH“. Diese Software besteht aus drei Elementen:

- hydrologisches Modell „NAM“: dieses Modell ermöglicht die Simulation der wichtigsten hydrologischen Prozesse und liefert gleichzeitig die Inputdaten für das hydrodynamische Modell.
- hydrodynamisches Modell „MIKE11“: ein eindimensionales physikalisches Modell für die Simulation der Hochwasserdynamik entlang der Mur und ihrer Hauptzubringer.
- Hochwassermanagementsystem (decision support system) „MIKE FLOOD WATCH“: Software für die Aufbereitung von Echtzeitdaten zu Niederschlags- und Hochwasservorhersagen und die Darstellung von Informationen und Ergebnissen.

3.2.1 Hydrologisches Modell (NAM)

Das Niederschlags-Durchflussmodell (NAM) ist ein konzeptionelles Modell für ländliche Einzugsgebiete (DHI – Water and Environment, 2005), allgemein geeignet für generelle hydrologische Analysen und Hochwasservorhersagen.

Das Niederschlags-Durchfluss Modell ist vollständig und automatisch an das hydrodynamische Modell gekoppelt und simuliert den Wasserhaushalt kontinuierlich in vier miteinander verbundenen Speicherzonen (Abbildung 3):

- Schneespeicher: verteilt nach Geländehöhe
- Oberflächenspeicher: Vegetation, kleine Gerinne und Seen
- Bodenzonenspeicher: bis zur Wurzelzone
- Grundwasserspeicher

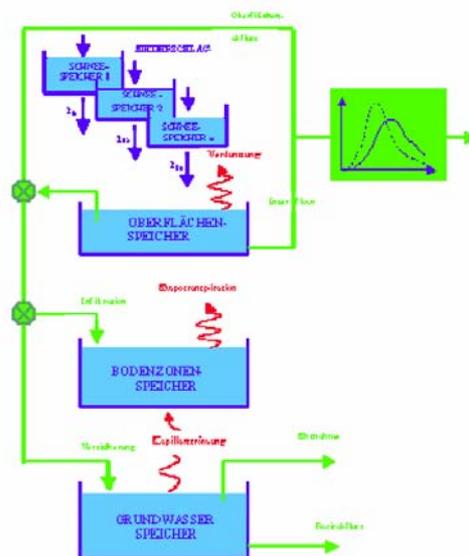


Abbildung 3: Konzept zur Durchflusssimulation im Niederschlags-Durchfluss Modell (NAM)

Für jedes Teileinzugsgebiet benötigt „NAM“ Zeitreihen des Niederschlags und der potenziellen Verdunstung. Das Modell schreibt alle Kenngrößen des Wasserhaushaltes kontinuierlich fort, darunter auch die Sättigung der Speicherzonen. Das an „NAM“ gekoppelte hydrodynamische Modell benutzt diese Werte als Anfangsbedingungen, wobei die berechneten Abflüsse die laterale Zuströmung zum Flusssystem darstellen.

3.2.2 Hydrodynamisches Modell MIKE 11

Das hydrodynamische Modell „MIKE 11“ ist das Kernstück des Hochwassermanagementsystems. Es besitzt eine integrierte modulare Struktur mit Datenbanken für topographische Daten und Zeitreihen. Das hydrodynamische Modell wird auf Grundlage des digitalen Gewässernetzes generiert. Zusätzlich können auch operationelle Regeln von Kontrollbauwerken (Kraftwerke, etc.) im Modell integriert werden.

Die von „MIKE 11“ simulierten Abflüsse werden in diesem Projekt in Echtzeit an gemessene Werte angepasst, wobei automatisch Abweichungen zwischen beobachteten und simulierten

Abflüssen und Wasserständen beurteilt und gegebenenfalls angepasst werden. Auf Grundlage der Wasserstandmessungen an den Pegeln werden Modellphasen- und amplitudenfehler durch das Verfahren identifiziert. Durch diesen iterativen Prozess wird das Modell automatisch an gemessene Werte angepasst (Abbildung 4), wobei die Aktualisierung innerhalb von vorher eingestellten Intervallen stattfindet.

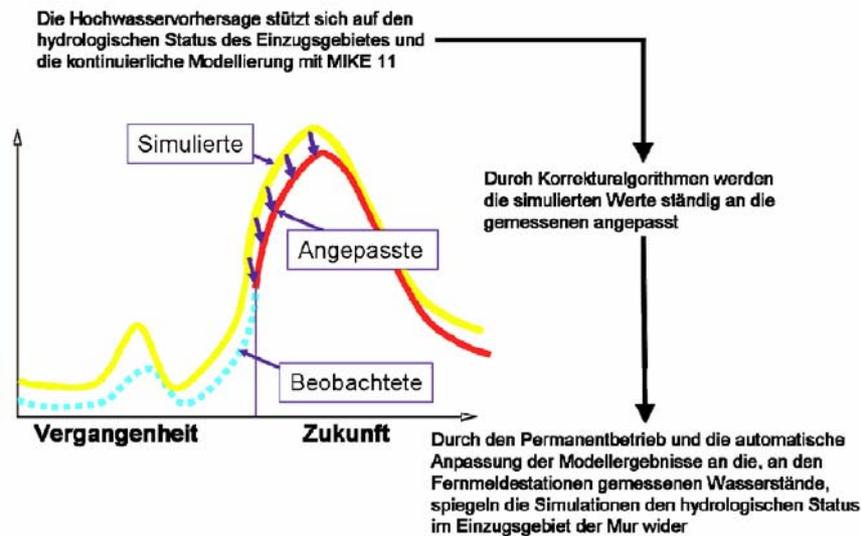


Abbildung 4: Schematische Darstellung der automatischen Anpassung der simulierten an die gemessenen Werte und ihre Auswirkung auf die Prognosen.

3.2.3 Hochwassermanagementsystem „MIKE FLOOD WATCH“

„MIKE FLOOD WATCH“ ist ein Hochwassermanagementsystem (decision support system), mit dem Echtzeitdaten sowie Niederschlags- und Durchflussprognosen aufbereitet sowie und Informationen und Ergebnisse dargestellt werden können. Das System besitzt eine ARCVIEW und eine ARCGIS Benutzerschnittstelle (Abbildung 5).

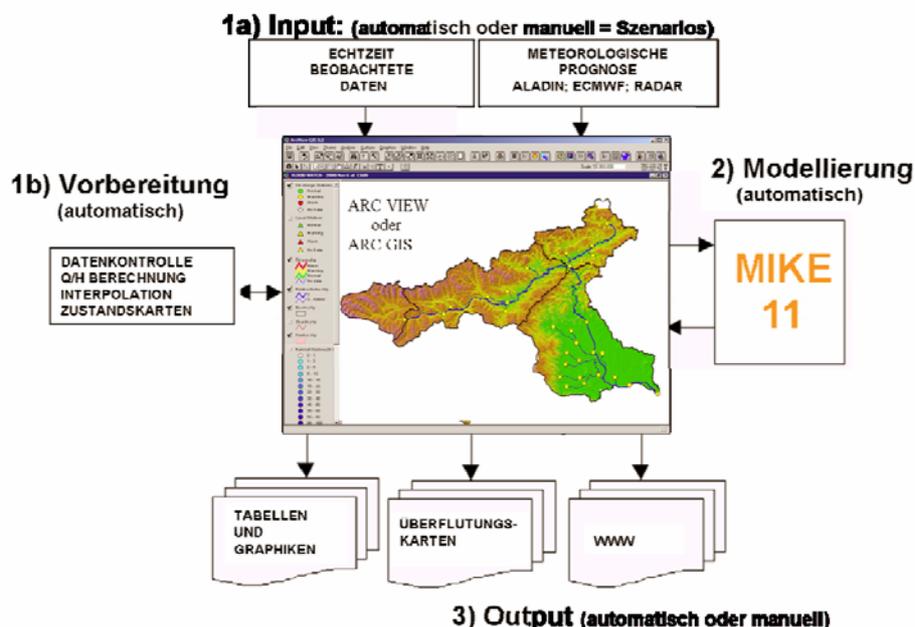


Abbildung 5: ARCVIEW - Benutzerschnittstelle von MIKE FLOOD WATCH

Die wesentlichen Schritte in der Bedienung sind automatisiert (internationale Zentrale) oder können mit wenigen Mausklicks in den nationalen Zentralen abgerufen werden:

- Echtzeitdatenmanagement mit Bearbeitung und Qualitätskontrolle
- Automatischer Zugriff auf die Echtzeit Niederschlags- und Wasserstandsdaten
- Automatischer Zugriff auf die Niederschlagsprognosemodelle
- Betrieb des Hochwasservorhersagesystems
- Graphische und tabellarische Darstellung der aktuellen Niederschlags- und Wasserstandsdaten sowie der Niederschlags-, Wasserstands- und Durchflussprognosen
- Erstellung von Hochwasserwarnungen in textlicher, tabellarischer, graphischer und kartographischer Form

4. Erstellung des Prognosesystems

4.1 Preprocessing

Das Pre-processing umfasste die Erhebung und Kontrolle aller für die Erstellung des Systems benötigten Daten. Folgende Datengrundlagen standen zur Verfügung:

- Digitales Höhenmodell: Das digitale Höhenmodell lag mit einer Auflösung von 25x25 Metern vor. Wie aus Abbildung 6 ersichtlich, erstreckt sich das Einzugsgebiet der Mur über die Bundesländer Steiermark, Salzburg und Niederösterreich und umfasst ungefähr 10000 km², wobei das Höhenmodell als Basis für die Abgrenzungen der Teileinzugsgebiete und für die Berechnungen der Höhenverteilung in 100 m Intervallen für jedes dieser Teileinzugsgebiete diente.

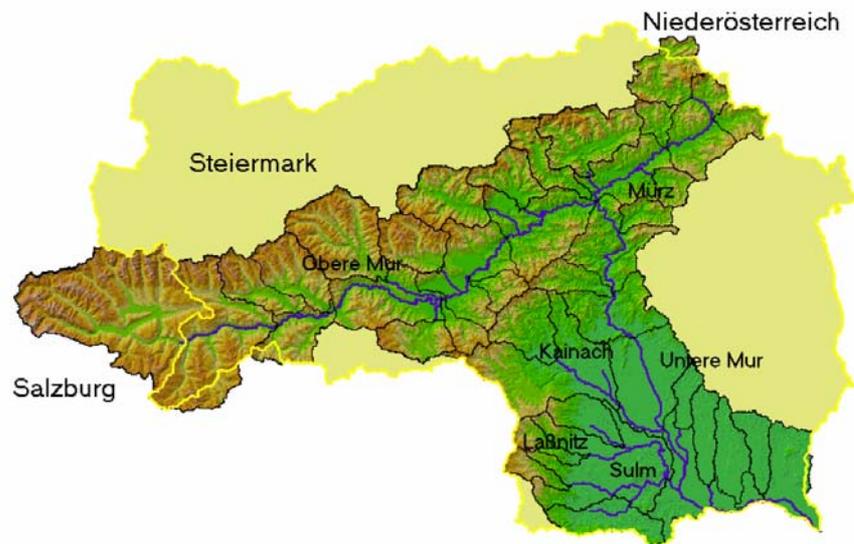


Abb. 6: Digitales Höhenmodell: Abgrenzungen der Teileinzugsgebiete: schwarze Linien; digitales Gewässernetz blaue Linien; Landesgrenzen der Steiermark: gelbe Linien

- Landnutzung: Für die Landnutzung standen so genannte CORINNE – Daten zur Verfügung. Aufgrund der mangelnden Information über die potentielle Verdunstung

im Gesamteinzugsgebiet war eine Vereinfachung der Landnutzung notwendig. Diese wurde auf vier Klassen reduziert:

- Wald,
 - Wiese,
 - Acker und
 - versiegelte Flächen.
- **Digitales Gewässernetz:** Das digitale Gewässernetz diente als Grundlage für die hydrodynamische Modellierung mit Mike 11. Um die Fließzeiten möglichst gut zu simulieren, wurden neben der Mur auch die größten Zubringer in das System integriert, wobei die Mürz, Kainach, Laßnitz und Sulm berücksichtigt wurden (Abbildung 8).
 - **Gewässerquerprofile:** eine weiter wichtige Grundlage für die hydrodynamische Modellierung mit Mike 11 bildeten die Querprofile des Flussschlauches (in jedem Querprofil findet eine Simulation des Wasserstandes statt). Das Hauptproblem bei der Erhebung der vorhandenen Querprofile bestand darin, dass diese aus verschiedenen Studien von unterschiedlichen Bearbeitern stammten und daher deren Qualität teilweise nicht zufrieden stellend war. So waren vom Oberlauf der Mur sowie der Kainach, Laßnitz und Sulm nur relativ alte, analoge Profile vorhanden, die digitalisiert werden mussten. Schlussendlich wurden insgesamt ca. 2000 Querprofile in der Mike 11 - Datenbank inkludiert, wobei die Distanz zwischen den Querprofilen von der Qualität der vorliegenden Untersuchungen abhängig war und sich wie folgt darstellte:
 - ca. 100 m für die untere Mur,
 - ca. 500 m für die obere Mur und Mürz und
 - ca. 1000 m für alle anderen Zubringer (Abbildung 7).

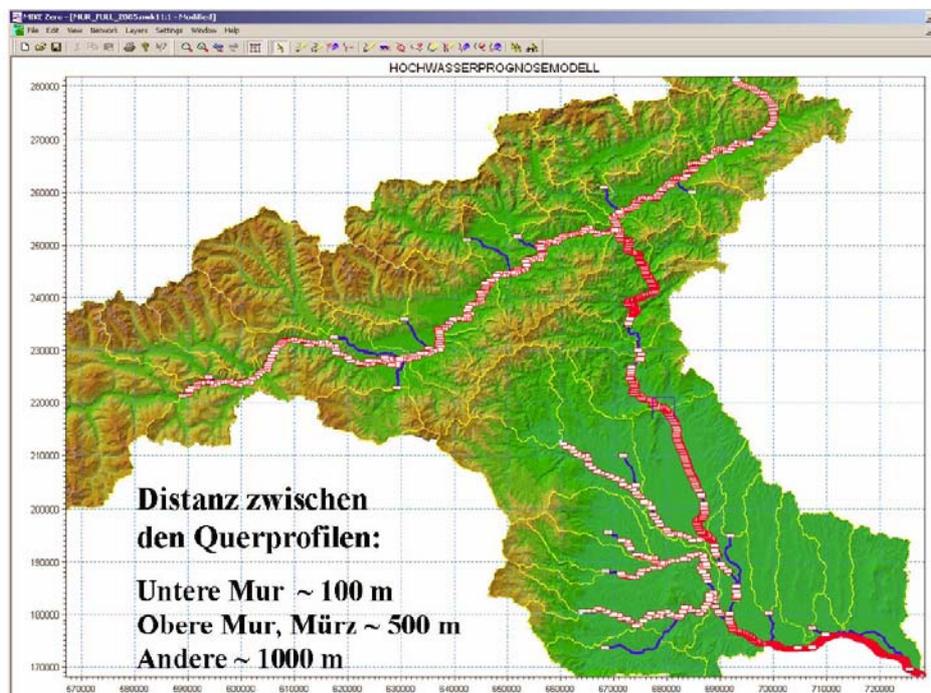


Abbildung 7: Geographische Lage der Querprofile (rote Vierecke) implementiert in Mike11 für die Simulation der Wasserstände.

- Kraftwerke: Die Mur und ihre Nebenflüsse sind stark von anthropogenen Einflüssen geprägt. Neben Regulierungsmaßnahmen findet man sehr viele Kraftwerke, die den Hochwasserablauf beeinflussen. Die Regelungen dieser Kraftwerke sind zwar in Mike11 implementierbar, wirken aber als Instabilitätsfaktor auf die Berechnungen. Bei den Stabilitätstests wurde eine Simulation mit bis zu fünfzehn Kraftwerken durchgeführt, wobei aber, um einen „Sicherheitspolster“ zu schaffen, nur neun Kraftwerke implementiert wurden. Diese sind in Abbildung 8 dargestellt.

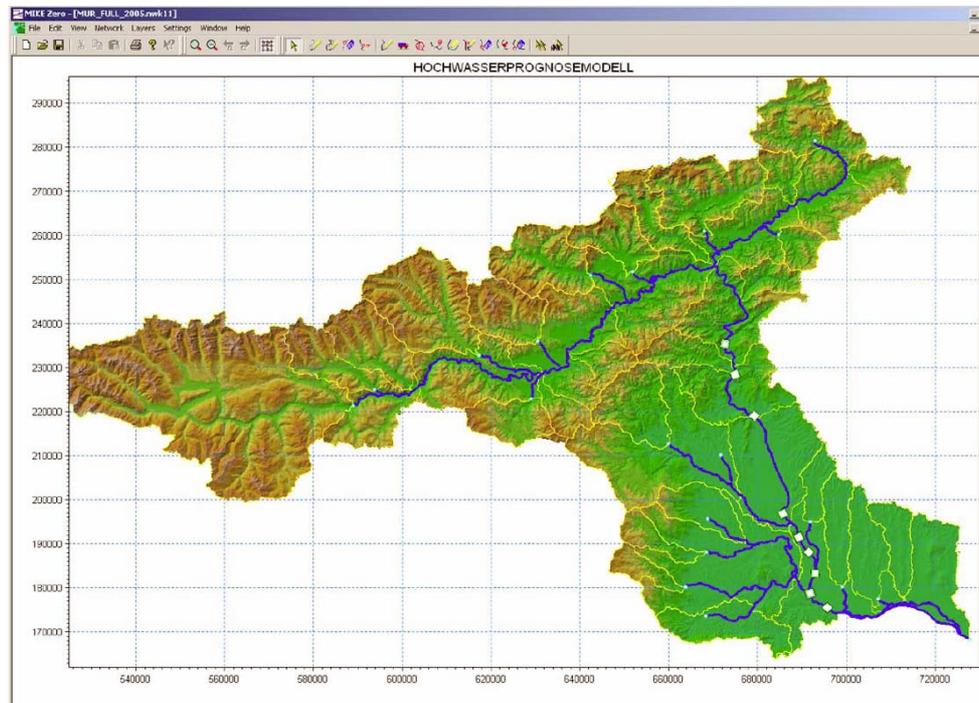


Abbildung 8: Geographische Lage der neun Kraftwerke

- Definition der Teileinzugsgebiete: Die Festlegung der Einzugsgebietsgrenzen aller größeren beobachteten und unbeobachteten Teileinzugsgebiete ($> 50 \text{ km}^2$) und ihrer Höhenverteilung in 100 m Intervallen wurde auf Basis des digitalen Höhenmodells durchgeführt. Das hydrologische Modell wurde basierend auf den Teileinzugsgebieten kalibriert, wobei dafür 12 beobachtete Teileinzugsgebiete verwendet wurden (Abbildung 9).

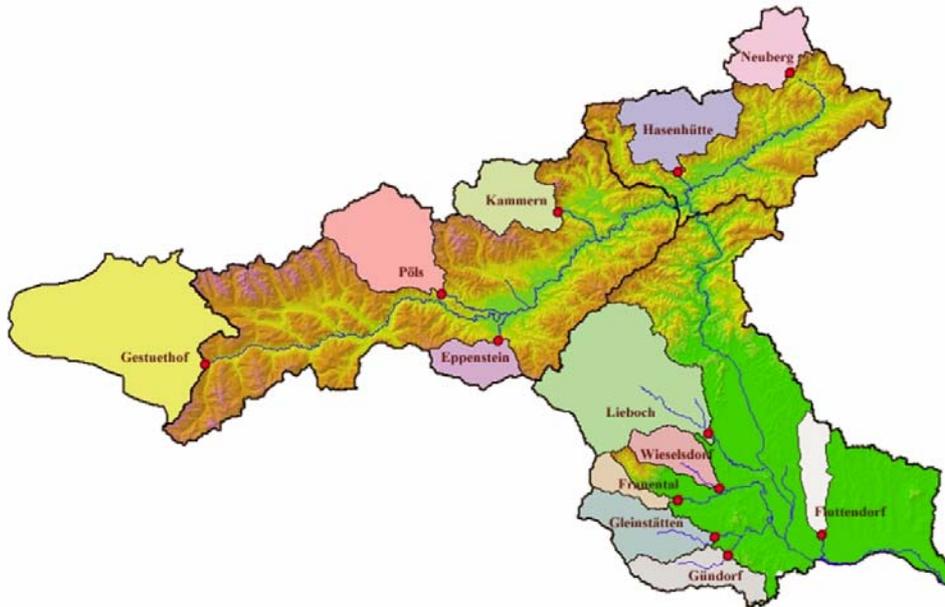


Abbildung 9: Geographische Lage der Teileinzugsgebiete, die für die Kalibrierung des hydrologischen Modells verwendet wurden

- Zeitreihen: Folgende Zeitreihen standen zur Verfügung: Wasserstände (15 - Minutenwerte), Durchflüsse (15 - Minutenwerte), Niederschlag (Tageswerte für Stationen mit Beobachter, Stundenwerte für Stationen mit Datensammler) und Lufttemperatur (Tageswerte für Stationen mit Beobachter, Stundenwerte für Stationen mit Datensammler), wobei die Zeitreihen der potentiellen Verdunstung berechnet wurden. Als Kalibrierungsperiode wurden die Daten von Oktober 1998 bis Dezember 2002 verwendet. Folgende Zeitreihen wurden bearbeitet:
 - Wasserstände und Durchflüsse: der 12 beobachteten Teileinzugsgebiete sowie der Stationen an der Mur und an den Hauptzubringern.
 - Niederschläge und Lufttemperaturen: bei den Niederschlägen ist sowohl die räumliche als auch die zeitliche Verteilung für die Modellierung von Hochwasserwellen von Bedeutung. Deshalb wurde für jedes Teileinzugsgebiet mindestens eine Niederschlagsstation mit hochaufgelösten Aufzeichnungen in den Kalibrierungsprozess einbezogen, sodass die zeitliche Komponente eines Hochwasserereignisses bestmöglich simuliert werden konnte.
 - Potentielle Verdunstung: Die Zeitreihen der potentiellen Verdunstung sind mittels der für die Steiermark (Wasserversorgungsplan Steiermark, 2002) entwickelten Formel berechnet worden. Diese Formel beschreibt die Beziehung zwischen potentieller Verdunstung und Seehöhe für Jahresmittelwerte. Diese Werte wurden für jede Landnutzungsart mittels eines Koeffizienten (FAO, 1998) auf Monatswerte (DWK, 1996) umgerechnet. Somit konnten für jede Landnutzungsart und für jeden Monat mittlere Verdunstungswerte abgeleitet werden, die für die Niederschlags-Abfluss Modellierung verwendet wurden.

4.2 Kalibrierung des hydrologischen und hydrodynamischen Modells

Die Kalibrierungsperiode sollte so ausgewählt werden, dass einerseits mehrere Hochwasserereignisse erfasst sind und andererseits sollen sich die Eigenschaften des Einzugsgebietes in diesem Zeitraum kaum geändert haben. Obwohl es in den letzten Jahren nicht viele ausgeprägte Hochwasserereignisse gegeben hat, wurde die Periode von Oktober 1998 bis Dezember 2002 als Kalibrierungsperiode definiert. Diese Periode enthält nur das Hochwasserereignis vom August 2002, dafür sind aber keine großen Veränderungen im Einzugsgebiet der Mur aufgetreten. Obwohl es in der Projektplanung nicht vorgesehen war, wurde für die Ereignisse von August und Oktober 2005 eine zusätzliche Kalibrierung durchgeführt. Diese zusätzliche Kalibrierung war für das gesamte Projekt sehr wichtig, da:

- die Ereignisse im Jahr 2005 ausgeprägter waren als das Ereignis 2002
- sie nur mit Online-Stationen realisiert werden konnte und daher auf dasselbe Messstellennetz zugreift wie der operationelle Betrieb

Die Kalibrierung des Niederschlags-Abfluss Modells (NAM) wurde, wie bereits erwähnt, in 12 Teileinzugsgebieten der Mur durchgeführt, wobei die Auswahl nach folgenden Kriterien erfolgte:

- gute Gesamtverteilung der 12 Teileinzugsgebiete im Einzugsgebiet der Mur, um unterschiedliche Klimazonen und geologische Eigenschaften bestmöglich zu erfassen.
- entsprechende Qualität der Durchflussdaten

Die 12 Teileinzugsgebiete sind in Abbildung 11 dargestellt, als Beispiel ist in Abbildung 10 die Kalibrierung für das größte Teileinzugsgebiet (Gestüthof) dargestellt, wobei die Kalibrierung nicht nur auf Hochwasserspitzen durchgeführt wurde (Graphik oben), sondern auch die gesamte Wasserbilanz (Graphik unten) berücksichtigte.

Nach der Kalibrierung des NAM - Modells wurden die Parameter unter Berücksichtigung der Topographie, Fläche und Landnutzung auf unbeobachtete Einzugsgebiete übertragen. Damit war das gesamte Einzugsgebiet der Mur parametrisiert und die Verknüpfungen zwischen dem hydrologischen und dem hydrodynamischen Modell konnten implementiert werden.

Die für die Simulationen des Wasserstände notwendigen Rauigkeitsbeiwerte wurden aus den bestehenden Abflussuntersuchungen übernommen, womit auch das hydrodynamische Modell parametrisiert war.

Als nächster Schritt wurden die Simulationen an den an der Mur und den Zubringern liegenden Pegelstationen kontrolliert. Bei schlechter Anpassung der simulierten an die gemessenen Werte wurden die transferierten Parameter entsprechend justiert.

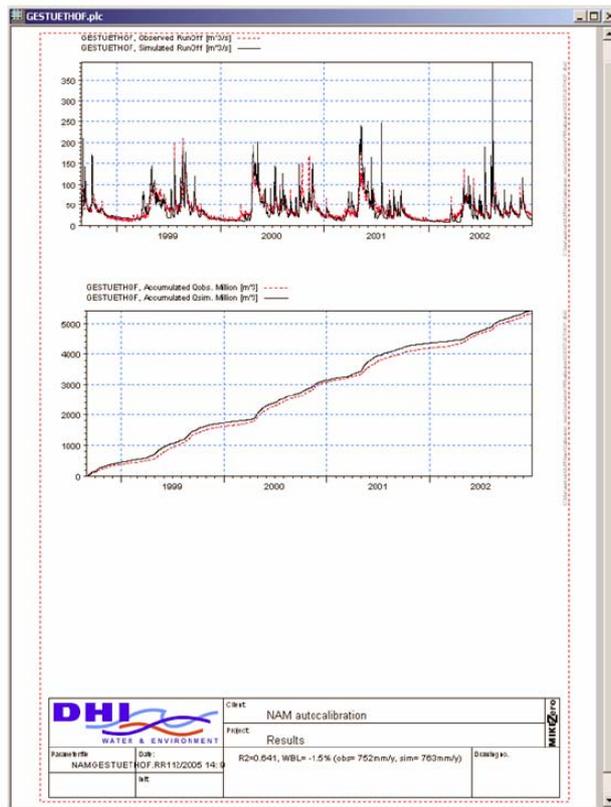


Abbildung 10: Kalibrierung des hydrologischen Modells NAM (gemessene Werte - rot, simulierte Werte- schwarz). Oben: 15-minütige Durchflusszeitreihe, unten: kumulierte Durchflusszeitreihe.

Die gesamte Kalibrierung wurde nur zum Teil mit Online-Niederschlagsstationen durchgeführt, wohingegen im operationellen Betrieb ausschließlich mit Daten der Online-Stationen simuliert werden kann. Diese Tatsache schwächt zwar die Kalibrierung in geringem Maße, allerdings wurden für die beiden Hochwasserereignisse im August und Oktober 2005 die Parameter ebenfalls nur mit Daten der Online-Stationen nachkalibriert.

Bei der hydrodynamischen Modellierung wurden Wasserstände und Durchflüsse gleichzeitig simuliert. Um theoretisch eine gute Anpassung der simulierten an die gemessenen Wasserstände zu erreichen, müssen die Querprofile der Pegelstationen genau sein. Da aber, wie bereits erwähnt, die Querprofile einiger verwendeter Abflussuntersuchungen diese Genauigkeitsanforderungen nicht oder nur in geringem Maße erfüllten, war diese Anpassung nur sehr unzureichend oder gar nicht möglich.

5. Betrieb des Prognosesystems

5.1 Internationale Hochwasserzentrale

Nach der Kalibrierung des Modells und Aktivierung des automatischen Anpassungstools (siehe Kap. 3.2.2) begannen die operationellen Tests, wobei besonders die folgenden Punkte zu implementieren und überprüfen waren:

- Verbindung zur hydro-meteorologischen Datenbank des hydrographischen Dienstes Steiermark (Oracle-Datenbank)
- Import der meteorologischen Prognosen für Österreich (ZAMG)
- Import der gesamten slowenischen Daten
- Automatisierung der Simulationen
- Export des internationalen Modellsetups zur österreichischen und slowenischen lokalen Hochwasserzentrale

Zusätzlich wurden diese Schritte derart in die Software MIKE FLOOD WATCH implementiert, dass sie jede Stunde automatisch durchgeführt werden. Des Weiteren können die Hauptergebnisse auf einer Homepage mit derzeit noch geschütztem Zugang eingesehen werden.

Die Software MIKE FLOOD WATCH kann als eine ARC GIS "Extension" betrachtet werden, sodass alle Arbeitsschritte sowie pre- und postprocessing-Bearbeitung über die ARC GIS Oberfläche durchzuführen sind. Abbildung 11 zeigt die Einstiegsseite des Systems mit den unterschiedlichen Menüs, die zur Verfügung stehen.

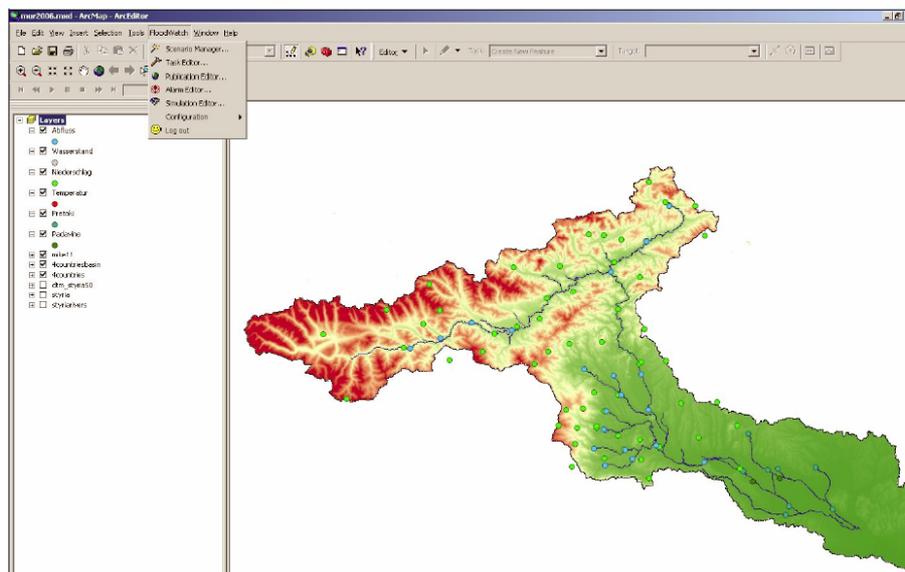


Abbildung 11: Einstiegsseite von MIKE FLOOD WATCH.

Der Ablauf der automatischen Berechnungen in der internationalen Zentrale besteht aus insgesamt 14 Arbeitsschritten, wobei jeder Schritt nur nach Beendigung des vorherigen Schrittes starten kann. Die wichtigsten Arbeitsschritte sind im folgenden angeführt:

- Import der slowenischen Daten (Hydrometeorologie, Niederschlagsprognosen)
- Import der Niederschlagsprognosen (Österreich)
- Import der hydrometeorologischen Daten (Österreich), wobei sämtliche Online-Daten vom lokalen System importiert und über Intranet an die internationale Zentrale geschickt werden.
- Durchführung der Simulationen
- Darstellung der Ergebnisse im Internet (Zugang momentan noch verschlüsselt)

5.2 Darstellung der Ergebnisse im Internet

Die Hauptergebnisse der Prognosesimulationen werden jede Stunde auf einer momentan noch mit Passwort geschützten Homepage publiziert bzw. aktualisiert. Dabei werden die gesamten Informationen in Deutsch, Slowenisch und Englisch veröffentlicht. Folgende Informationen werden auf der Homepage dargestellt:

- Prognostizierte Wasserstände und Durchflüsse für die nächsten 48 Stunden für die Pegel an Mur und an den Hauptzubringern in Österreich und Slowenien in grafischer und tabellarischer Form inklusive Warnmarken
- Anschlagslinien (momentan noch im Versuchsstadium)
- Visualisierung der Niederschlagsprognosen für Österreich und Slowenien

Die Einstiegsseite der Homepage ist in Abbildung 12 zu erkennen.

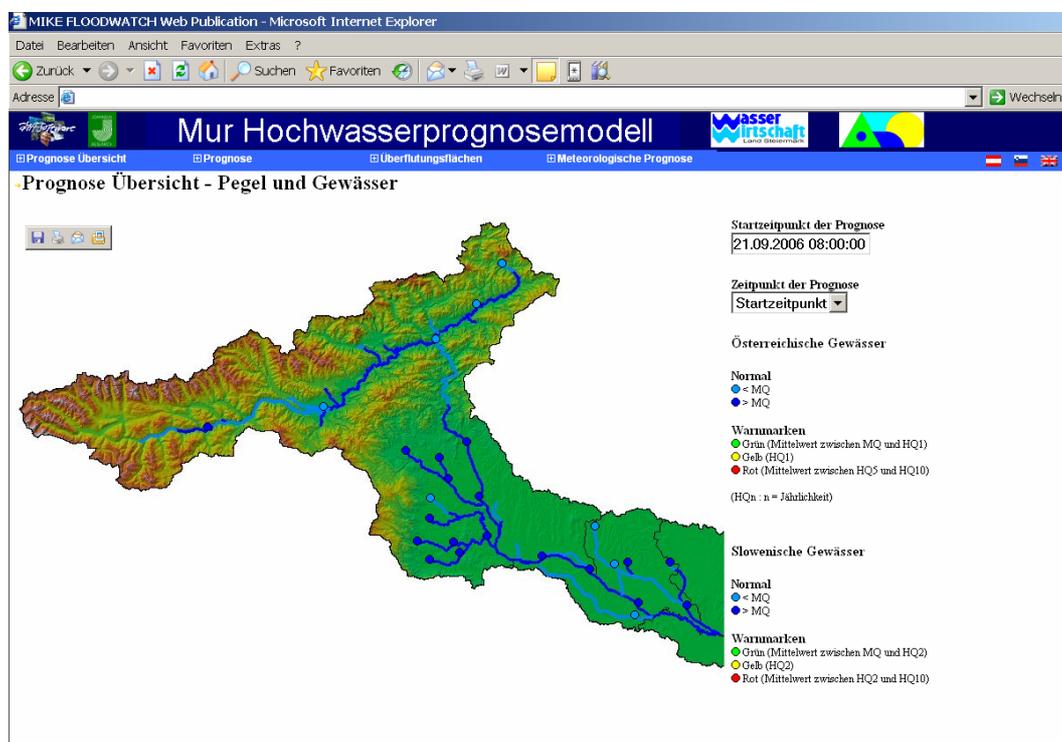


Abbildung 12: Einstiegsseite der Homepage

6. Bisherige Erfahrungen mit den Ergebnissen des Prognosemodells

Seit Beginn des Jahres 2006 läuft das Hochwasserprognosemodell für die Mur sowohl in Österreich als auch in Slowenien im operationellen Betrieb. Folgende Erfahrungen wurden bisher gemacht, wobei zu beachten ist, dass an der Mur selbst die bisher höchsten Ereignisse im Bereich eines HQ_1 lagen, an den Zubringern (im speziellen an der Mürz) Ereignisse bis zu etwa HQ_{50} auftraten.

6.1 Prognosen für Mur:

Es ist nochmals darauf hinzuweisen, dass das System zum momentanen Zeitpunkt ein Prognosessystem für die Mur darstellt und (noch) nicht für die Zubringer. Hinsichtlich der Prognosegüte für die Mur ist zu bemerken, dass für die Pegeln im unteren Bereich des Einzugsgebietes (Graz, Mellach und speziell Mureck) die Prognosen zumindest bis zu 24 Stunden im voraus gute Ergebnisse zeigten (Abweichungen in der Hochwasserspitze bzw. im Zeitpunkt des Auftretens von max. $\pm 10\%$). Für Prognosen bis 48 Stunden nimmt die Prognosegüte ab, da hier der Einfluss der Niederschlagsprognosen höher wird.

Für die Pegeln im oberen Einzugsgebiet nimmt der Einfluss der Niederschlagsprognosen auf die Prognosegüte der Abflüsse zu, wobei sich bei den bisher beobachteten Ereignissen doch zum Teil beträchtliche Probleme in den Niederschlagsprognosedaten zeigten.

6.2 Prognosen für die Zubringer (Mürz und Weststeiermark)

Wie bereits erwähnt ist das bisher implementierte System ein Prognosessystem für die Mur, dennoch wurde versucht, auch die Hauptzubringer (Mürz bzw. weststeirische Einzugsgebiete) in das System zu integrieren. An der Mürz konnten im Juni (etwa HQ₁₀) bzw. auch im August (etwa HQ₅₀) bedeutende Hochwasserereignisse beobachtet werden. Die tatsächlich auftretenden Hochwasserdurchflüsse wurden vom Modell erheblich unterschätzt, was aber zum größten Teil auf die zumindest für diesen Bereich nicht zuverlässigen Niederschlagsprognosen zurückzuführen war.

6.3 Kritische Bemerkungen

Nach den bisherigen Erfahrungen zeigte sich, dass, obwohl das Hochwasserprognosemodell Mur ein zum größten Teil automatisiertes System darstellt, ein nicht unbeträchtlicher Aufwand zur Routinekontrolle (täglich) notwendig ist. Darüber hinaus bietet das System auch die Möglichkeit, eigene Szenarien zu berechnen bzw. wäre es auch notwendig und sinnvoll, in weitergehenden Untersuchungen zu analysieren, inwieweit „Fehler“ in der Prognose auf Niederschlagsprognosen, das hydrologische oder das hydraulische Modell zurückzuführen waren. All diese Analysen wären notwendig, um das System besser verstehen zu lernen, konnten aber aufgrund Zeit- (oder Personal)mangels noch nicht durchgeführt werden.

7. Schlussfolgerungen

Das Projekt “Hochwasserprognosemodell Mur” stellt ein konkretes Beispiel einer internationalen Zusammenarbeit im Bereich Hochwasser dar, aber ist momentan leider auf Österreich und Slowenien begrenzt. Die gute und lange Kooperation der vier Länder, die sich im Rahmen der ständigen österreichisch-slowenischen Kommission für die Mur ergab, sowie die finanzielle Unterstützung der Europäischen Kommission waren die notwendige Voraussetzung für die Entstehung dieses Projektes. Die aufgebaute Struktur ermöglicht einerseits die Implementierung künftiger komplementärer Studien, wie z. B. die Modellierung der Wasserqualität, der Fracht- und Geschiebetransporte sowie des Niedrigwassers, andererseits aber auch die Erweiterung des Modellgebiets auf Ungarn und Kroatien oder sogar auf das Einzugsgebiet der Drau.

Die in diesem Projekt ausgearbeitete Struktur besteht aus einer internationalen und zwei nationalen Hochwasserzentralen. Als Hauptelement dieser Struktur dient die in Graz installierte internationale Hochwasserzentrale, wo alle notwendigen Online-Daten und meteorologischen Prognosen automatisch gesammelt und für die Modellierung formatiert werden. Weiters startet jede Stunde eine Simulation mit einer Prognosezeit von 48 Stunden, wobei die Hauptergebnisse auf einer Internetseite publiziert werden und die pre- und postprocessing Datei zu den zwei nationalen Zentralen transferiert wird. Somit ist es den zwei nationalen Zentralen möglich, alle Detailergebnisse abzurufen und alternative Simulationen zu starten, wie z.B. mit anderen bzw. modifizierten meteorologischen Prognosen oder mit anderen Anfangsbedingungen.

Die Entwicklung dieser technischen Lösung ermöglicht eine Synchronisation der Online-Daten, pre- und postprocessing Dateien, Modellierungsinformationen sowie der Hauptmodellergebnisse zwischen den drei eingerichteten Hochwasserzentralen und trägt somit zu einer deutlichen Verbesserung des Informationsstandes zwischen Österreich und Slowenien bei und kann als neue Vorhersage- und Risikomanagementmethode betrachtet werden.

8. Literatur

DHI – Water and Environment (2005). MIKE 11 – NAM and HD – Reference and User Guide. September 2005.

DWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. – Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. ISBN 3-89554-034-X, Heft 238/1996.

FAO (1998): Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italia.

Ruch, C & G. Jörgensen (2006) : Endbericht zur Flussraumagenda Alpenraum – Internationales Hochwasserprognosemodell Mur. Graz, Österreich.

Wasserversorgungsplan Steiermark, (2002): Wasserversorgungsplan Steiermark. Fachabteilung 19A, Wasserwirtschaftliche Planung u. Hydrographie. Graz, Österreich.