

## HYDROLOGISCHE PROGNOSEN IN NIEDERÖSTERREICH

Erich David-Labor und Maximilian Heilig

### 1. Allgemeines

Den Schwerpunkt der hydrologischen Vorhersagetätigkeit in Niederösterreich bildet die Donau. Für die Pegel Ybbs/Donau, Kienstock/Donau, Korneuburg/Donau sowie Willdungsmauer/Donau werden im Hochwasserfall Kurzfristvorhersagen bis zu 12 Stunden erstellt. Zusätzlich erfolgt eine tägliche Wasserstandsvorhersage für die Pegel Kienstock, Korneuburg und Willdungsmauer. Für die großen niederösterreichischen Donauzubringer werden gegenwärtig nur Zwischenvorhersagen berechnet, die als Grundlage für die Vorhersage der Donaupegel dienen. Abb. 1 bietet eine Übersicht über die hydrologische Situation entlang der österreichischen Donaufließstrecke.

Für die Vorhersagen im Hochwasserfall kommt ein aus Niederschlagabflussmodellen und Wellenablaufvorhersagemodellen kombiniertes Modell zum Einsatz. Der ursprüngliche Kern dieses Modells bildet ein auf statistischen Verfahren beruhendes lineares Mehrkaskadenmodell, welches von der TU Wien unter Leitung von Prof. Kresser und Prof. Gutknecht entwickelt wurde. Ende der achtziger Jahre erwies sich infolge von Änderung der Durchflussverhältnisse entlang der Donau infolge des Ausbaues der Kraftwerkskette sowie aufgrund einer deutlich verbesserten Datenverfügbarkeit (automatische Fernübertragung zusätzlicher Pegel und insbesondere Niederschlagsstationen) und der steigenden Rechnerkapazität eine Überarbeitung und Erweiterung des Modells für notwendig. Im Auftrag der niederösterreichischen Landesregierung erfolgte daher von Dr. Heilig eine Überarbeitung, Ergänzung und Neukalibrierung des bestehenden Wellenablaufmodells sowie die Entwicklung von Niederschlagabflussmodellen für die niederösterreichischen Hauptzubringer Enns, Ybbs, Erlauf und Traisen. Die Erfahrungen bei den großen Hochwässern in den neunziger Jahren, deren Schwergewicht wiederholt im niederösterreichischen Donau-einzugsgebiet lag, erforderte weitere Ergänzungen des Vorhersagemodells um zusätzliche Pegel (Opponitz und Erlaufboden sowie weitere Niederschlagsstationen). Für die Erstellung von abgesicherten Vorhersagen über 6 Stunden hinaus (z.B. Anfordernis für mobile Hochwasserschutzanlagen Krems) zeigte sich, dass für Aschach/Donau, Wels/Traun und Steyr/Enns die bestehenden Vorhersagemodelle des HD Oberösterreich zu adaptieren und in die operationelle Vorhersage einzubauen waren. Insbesondere war dies erforderlich, da im niederösterreichischen Raum im Gegensatz zu Oberösterreich Vorhersagen bei wesentlich geringeren Durchflüssen der Donau erstellt werden. Diese Adaptionen sind für die Zwischenvorhersage von Aschach bereits ab 1998 im Einsatz, die Modellerweiterungen für die Traun und die Enns werden ab 2001 im operationellen Betrieb eingesetzt.

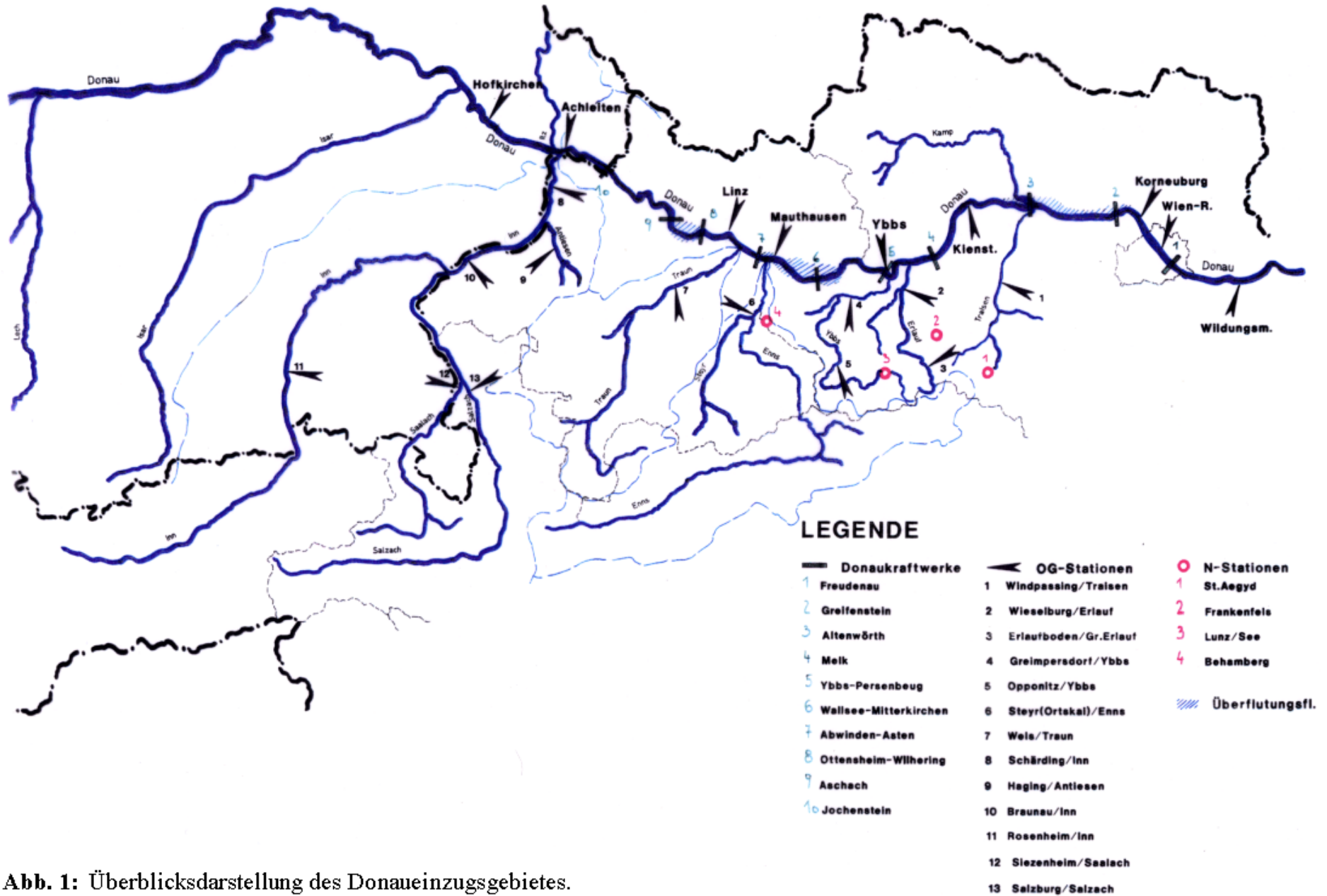


Abb. 1: Überblicksdarstellung des Donaueinzugsgebietes.

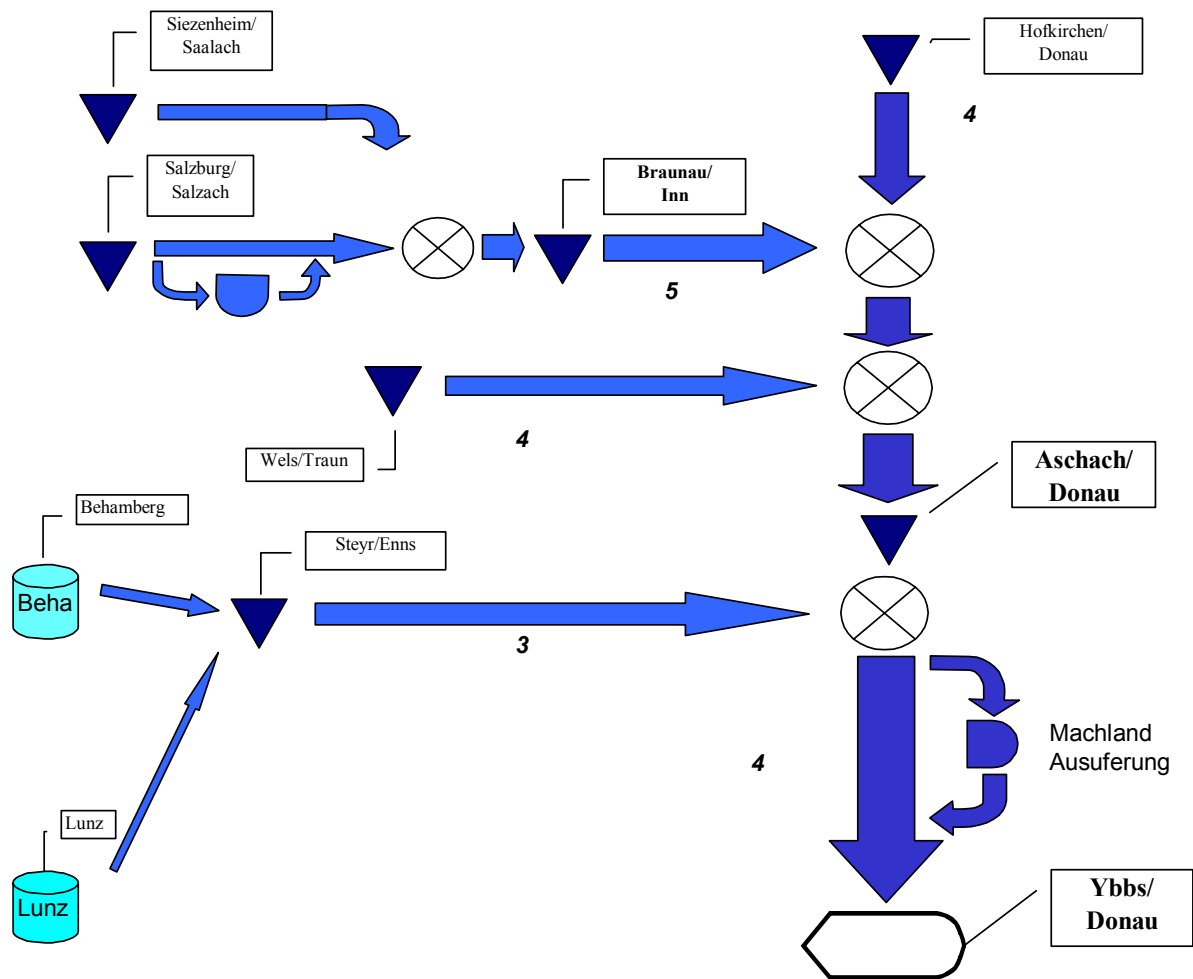


Abb. 2: Flussgebietsmodell Donauhochwasservorhersage (Stand 1998).

Das Modell besteht aus Submodellen für die Einzugsgebiete der Donau die aus einer Kombination von Niederschlagsmodellen und Wellenablaufmodellen bestehen sowie einem Vorhersagemodell für die Donaupegel Ybbs, Kienstock, Korneuburg und Wildungsmauer. Diese Modelle beruhen auf Wellenablaufmodellen bzw. einem Wasserstandsrelationenmodell für den Pegel Wildungsmauer.

## 2. Niederschlagabflussvorhersage

Die Ergebnisse der Niederschlagabflussvorhersagen dienen als Zwischen- bzw. Eingangsvorhersagen für die Wellenablaufmodelle. Es werden Niederschlagabflussvorhersagen für die Einzugsgebiete laut Tab. 1 berechnet.

Bei den Zwischeneinzugsgebieten kommen WANA Modelle, das sind kombinierte Niederschlagabfluss- und Wellenablaufmodelle zum Einsatz. Bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt erfolgte die Vorhersage für Steyr/Enns mit einem NA Modell, dessen Ergebnisse mit den Vorhersagen des HD Oberösterreich und der Ennskraftwerke abgeglichen werden.

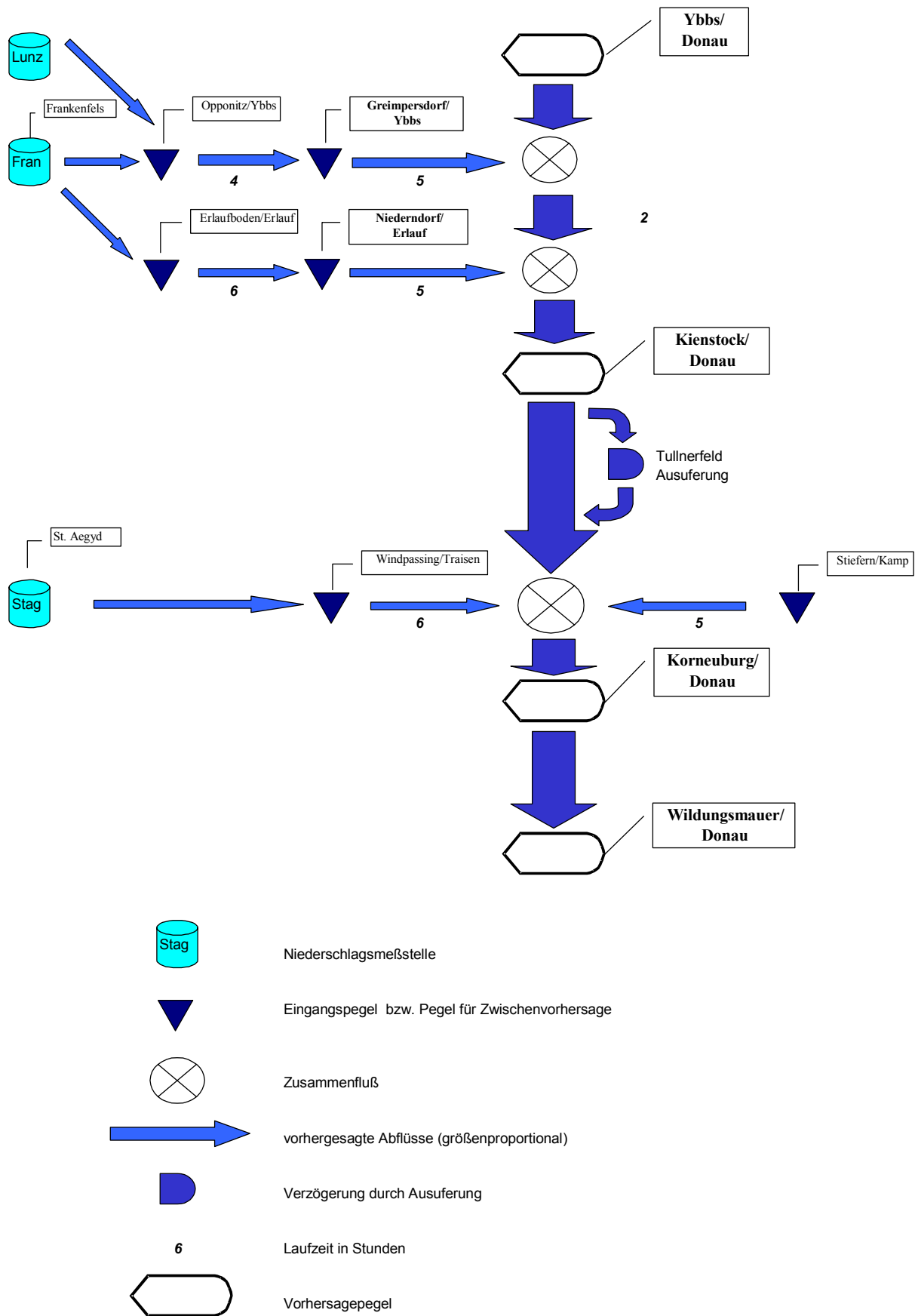


Abb. 3: Flussgebietsmodell Ybbs – Wildungsmauer.

**Tab. 1:** Einzugsgebiete mit NA-Vorhersagen.

	Fläche (km <sup>2</sup> )	
Enns/Steyr	5915,4	(nur bis Jahr 2000)
Ybbs/Greimpersdorf	1116,6	
Erlauf/ Wieselburg	577,5	
Traisen Windpassing	733,3	
Ybbs Opponitz	506,9	
ZEB Ybbs	609,7	
Erlauf Erlaufboden	135,7	
ZEB Erlauf	441,8	

### 3. Niederschlagsvorhersagemodell

Das Niederschlagsmodell berechnet den Gebietsregen auf der Basis von gegenwärtig 11 Niederschlagsstationen im südlichen Donaeinzugsgebiet mittels Thiessen Polygonen und bietet eine 4 Stunden Vorhersage oder die manuelle Eingabe einer 6 stündigen Vorhersage mit anschließender zeitlicher Aufteilung nach den Niederschlagsverteilungen des DVWK an.

### 4. Niederschlagabflussmodell

Die Niederschlagabflussmodelle stellen optional die folgenden Verfahren für die Berechnung der Abflussbildung zur Verfügung.

- Horton
- konstanter Abflussbeiwert
- Phi-Index
- dynamischer Abflussbeiwert

Der Startwert der Abflussbeiwertberechnung kann entweder gemäß der Jahreszeit vorgegeben werden (s.u.) oder mittels einer Regressionsfunktion aus den Basisabflüssen abgeschätzt werden. Für die Abflusskonzentration steht das Einheitsganglinienverfahren mit verschiedene, an historischen Hochwässern angepasste Unit Hydrographs, zur Verfügung. Will der Benutzer hier keine eigene Auswahl treffen, so erfolgt eine automatische Vorgabe nach der Jahreszeit oder dem bis zur Vorhersageberechnung gefallenen Niederschlag. Die Abbildungen stellen einen Vergleich der mittleren Vorhersagefehler in % mit und ohne Niederschlag bei zwei Hochwässern dar, deren Ablauf in entlang der niederösterreichischen Donau sehr stark durch die Hochwasserwellen der niederösterreichischen Zubringer geprägt wurde. Die Ergebnisse der Zubringervorhersagen fließen in das Vorhersagemodell für die Donau ein.

### 5. Die Abflussvorhersage für 12 Zubringer und Donaupegel mittels Wellenablaufmodellen

Die Abflussvorhersage wird für die 12 in Tab. 2 aufgelisteten Pegel an der Donau und ihren Zubringern durchgeführt.

Tab. 2: Vorhersagepegel.

Pegel	Gewässer	Anmerkung
Braunau	Inn	
Aschach	Donau	
Wels	Traun	
Steyr	Enns	(optional NA)
Ybbs	Donau	
Opponitz	Greimpersdorf	(optional NA)
Greimpersdorf	Ybbs	
Wieselburg	Erlauf	
Kienstock	Donau	
Windpassing	Traisen	(optional NA)
Korneuburg	Donau	
Wildungsmauer	Donau	

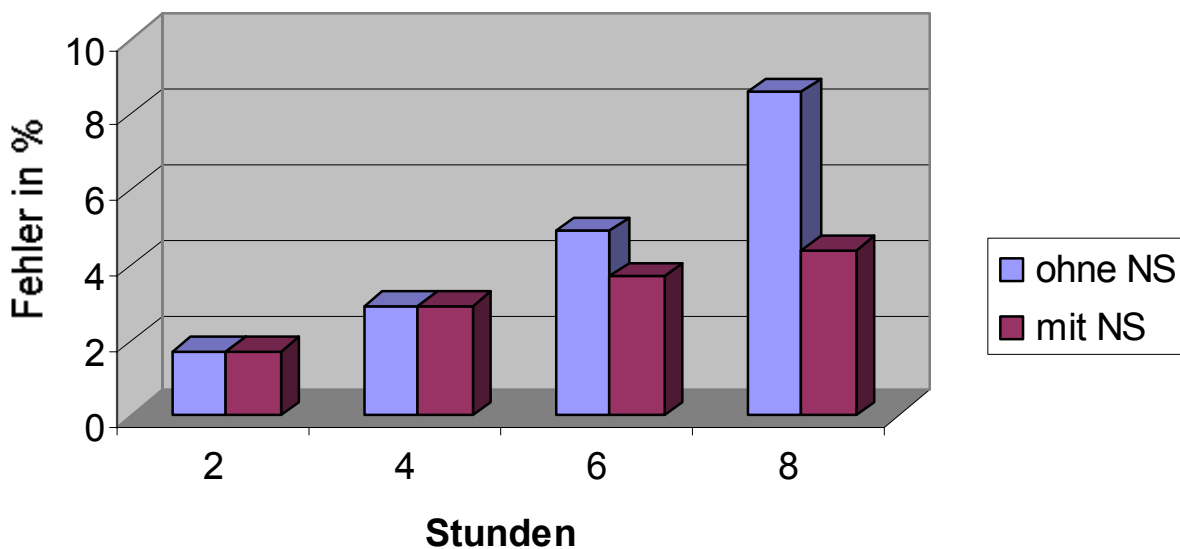
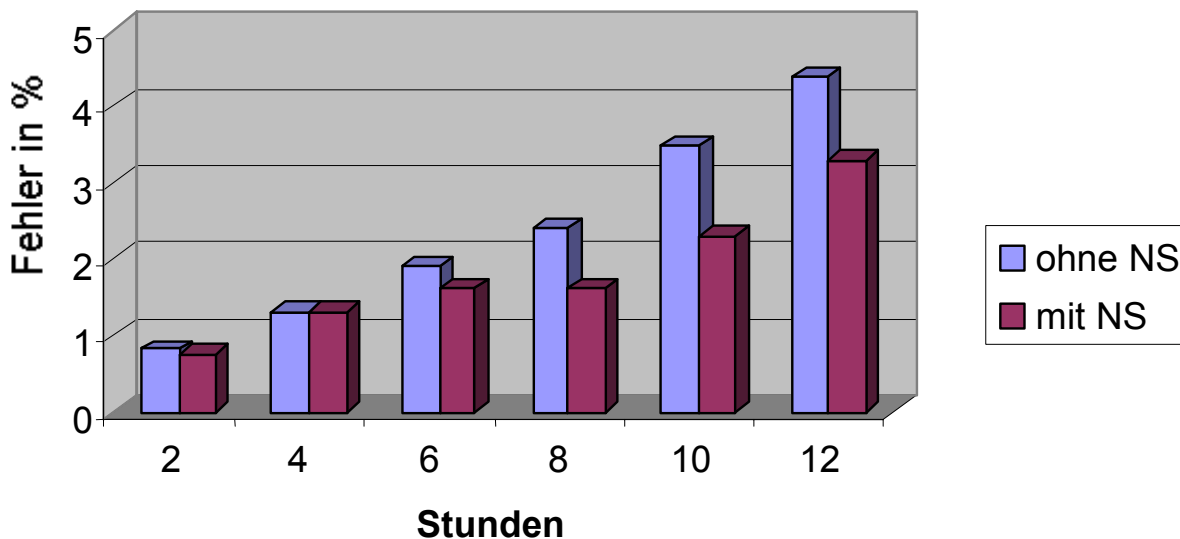


Abb. 4: Vergleich der mittleren Vorhersagefehler in Prozent ohne/mit Niederschlag. oben: Vorhersagevergleich Korneuburg 27.-29.7.1991 unten: Vorhersagevergleich Kienstock 17.-19.5.1991.

Entlang der Fließstrecke der Donau befinden sich einige große Ausuferungsgebiete (Machland, Tullner Au, Klosterneuburger Au) welche die Durchflussverhältnisse in den oberen Bereichen entscheidend beeinflussen. Es kommen daher in Anlehnung an das von der TU Wien entwickelte Modell Mehrkaskadenmodelle zum Einsatz, welche die unterschiedliche Retention bei der Überflutung immer größerer Ausuferungszonen mit unterschiedlichen Parametern berücksichtigen.

Die Laufzeitanalysen erfolgten standardmäßig mit den Kreuzkorrelationsfunktionen. Zur Parameterisierung der Übertragungsfunktionen erwies sich das Verfahren der Ridge Regression der klassischen multiplen Regression bezüglich der Parameterkonsistenz als überlegen.

Für den Pegel Ybbs beträgt der sichere Vorhersagezeitraum etwa 6 Stunden, nach Flutung des Machlandes erhöht er sich auf 10 bis 12 Stunden. Für die Pegel Kienstock und Korneuburg lassen sich bis zu 10 Stunden zuverlässige Vorhersagen erstellen, bei großen Hochwässern mit starken Ausuferungen steigt die hydrologisch abgesicherte Vorhersagefrist auf bis zu 15 Stunden. In ungünstigen Fällen (starker Anstieg, plötzliche Starkregen im nahen Einzugsbereich) können jedoch auch in Kienstock und Korneuburg schon bei den 6 stündigen Vorhersagen unabhängig unwägbarer Kraftwerkseinflüsse Fehler von über 20 cm auftreten.

Generell ist die Vorhersagegenauigkeit am Pegel Kienstock am größten, was mit dem stabilen Pegelprofil und der Entfernung der Kraftwerke zusammenhängt. Die Einbeziehung der Niederschläge und die Erweiterung des Modells um zusätzliche Pegel und Niederschlagsstationen verbesserte insbesondere die über 6 stündigen Vorhersagen.

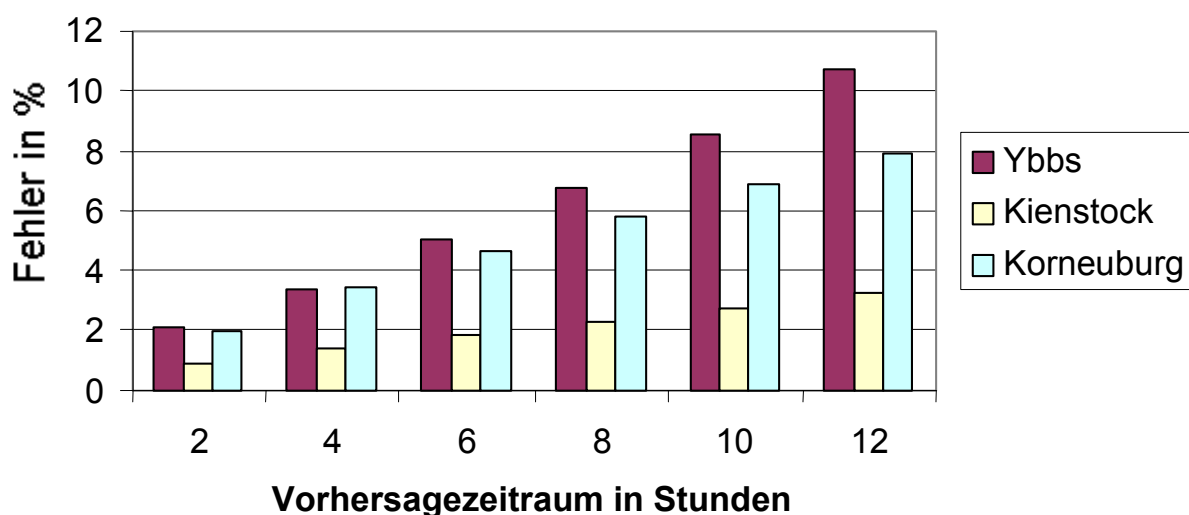


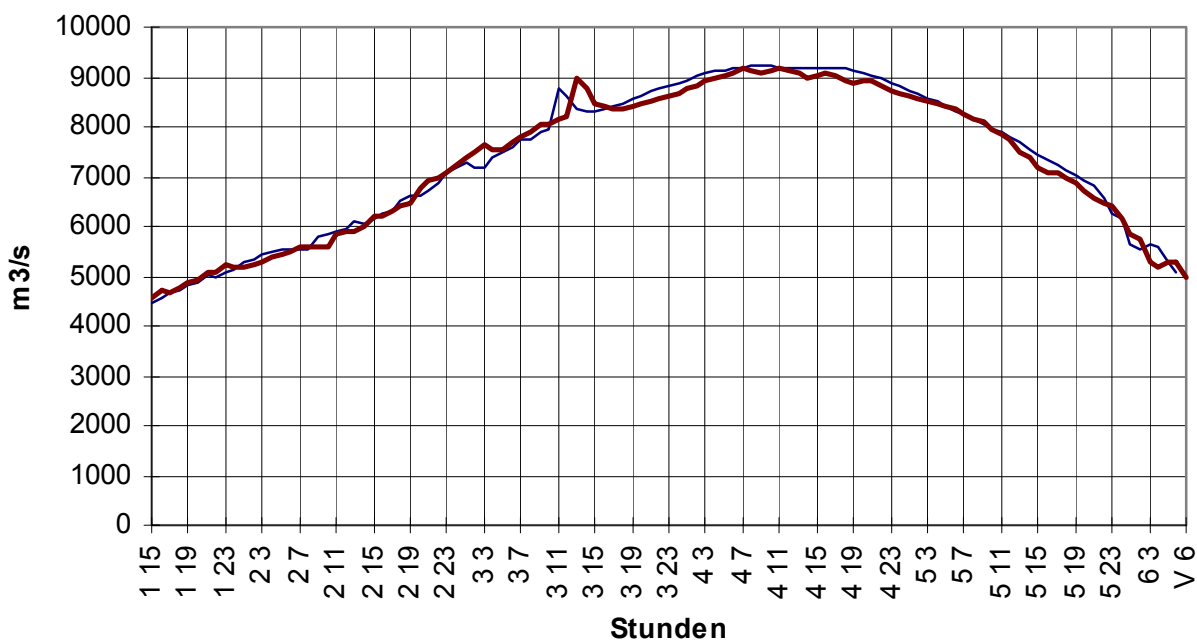
Abb. 5: Mittlerer Vorhersagefehler bei 11 abgelaufenen Hochwässern von 1985 – 2000.

## 6. Spezielle Probleme bei der Vorhersageerstellung

Als besondere Probleme stellten bei der Erstellung der operationellen Vorhersagen die starken Einflüsse der Kraftwerkskette auf den Wellenablauf heraus. Diese Einflüsse bestehen in Vorabsenkungen und Kappungen der Wellenscheitel (bes. Kraftwerk

Aschach), welche insbesondere im ansteigenden Ast der Welle beziehungsweise bei kleinen Hochwässern zu Vorhersagefehlern führen. Es handelt sich hierbei zumeist um ein Übersteuern des Modells im Anstieg respektive am Scheitel kleiner Hochwasserwellen.

Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich aus dem Auftreten von kurzfristigen, starken Durchflussschwankungen von bis zu über 500 m<sup>3</sup>/s und Anstiegen und Abstiegen von bis zu 300m<sup>3</sup>/s in nur 15 Minuten durch Probleme der Wehrfeldsteuerung bei älteren Kraftwerken. Diese Störungen des Durchflussverlaufes ziehen beträchtliche Vorhersagefehler bis zu 1000m<sup>3</sup>/s (entspricht ungefähr 1m) bereits bei den Vorhersagen für kurze Vorhersagezeiträume unter 6 Stunden nach sich. Eine teilweise Lösung dieser Problematik konnte darin gefunden werden, die über die natürlichen Abflussschwankungen hinausgehenden Durchflussdifferenzen in eine eigene Kaskade zu legen und damit eine gewisse Dämpfung zu erzielen.



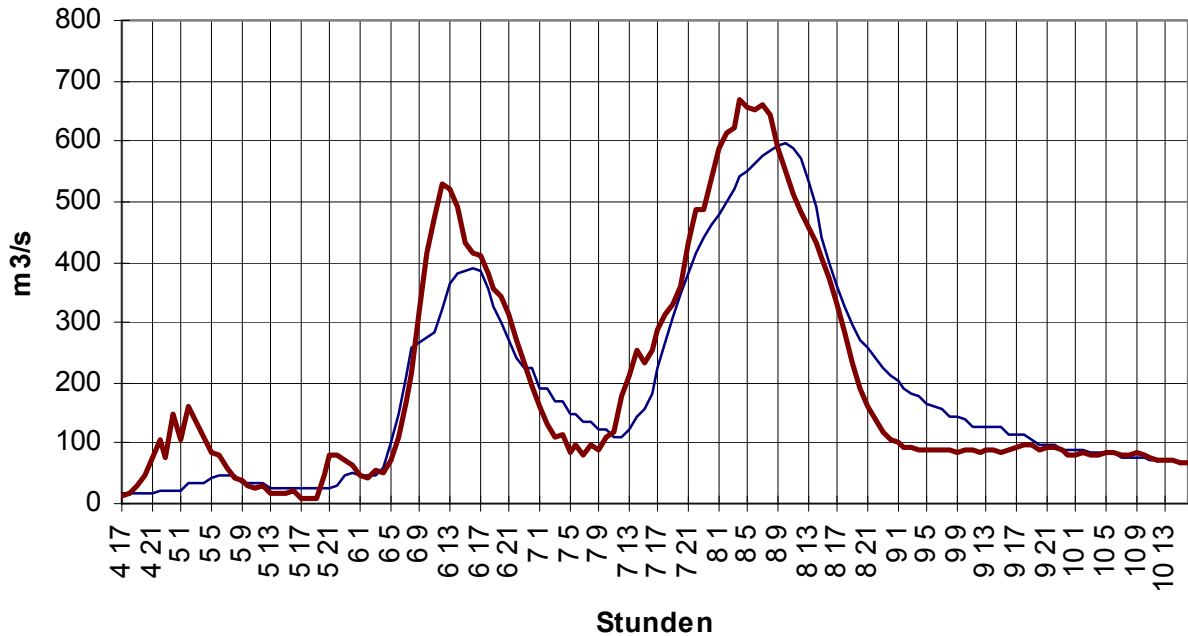
**Abb. 6:** Durchflüsse und 2 Stunden Vorhersagen am Pegel Ybbs vom 1.8. bis 6.8.1991. Beobachtung: dünne Linie; Vorhersage: dicke Linie. Der Zeitraster in der Abbildung beträgt 4 Stunden.

Niederschläge, die aus dem Nordostsektor kommend, gegen die Laufrichtung ziehen stellen insbesondere wenn sie im Nahbereich der Donau fallen, eine weitere Problemsituation der Vorhersage dar. Im Extremfall (April 1994) können bis zu 1000m<sup>3</sup>/s aus donaanahen Einzugsgebieten stammen, die einerseits wegen der mangelnden Erfassung mit DFÜ Stationen und andererseits wegen der kurzen Laufzeit der donaanahen Zubringer, den physikalisch abgesicherten Vorhersagezeitraum deutlich herabsetzen. Generell ist die numerische Vorhersage der Niederschläge einer der größten Schwachpunkte der gesamten Hochwasservorhersage, vor allem aber der 24 stündigen Wasserstandsvorhersage. Ein aktuelles Fallbeispiel ist die tägliche Wasserstandsvorhersage vom 28.8.2000, bei der infolge einer falschen Nieder-

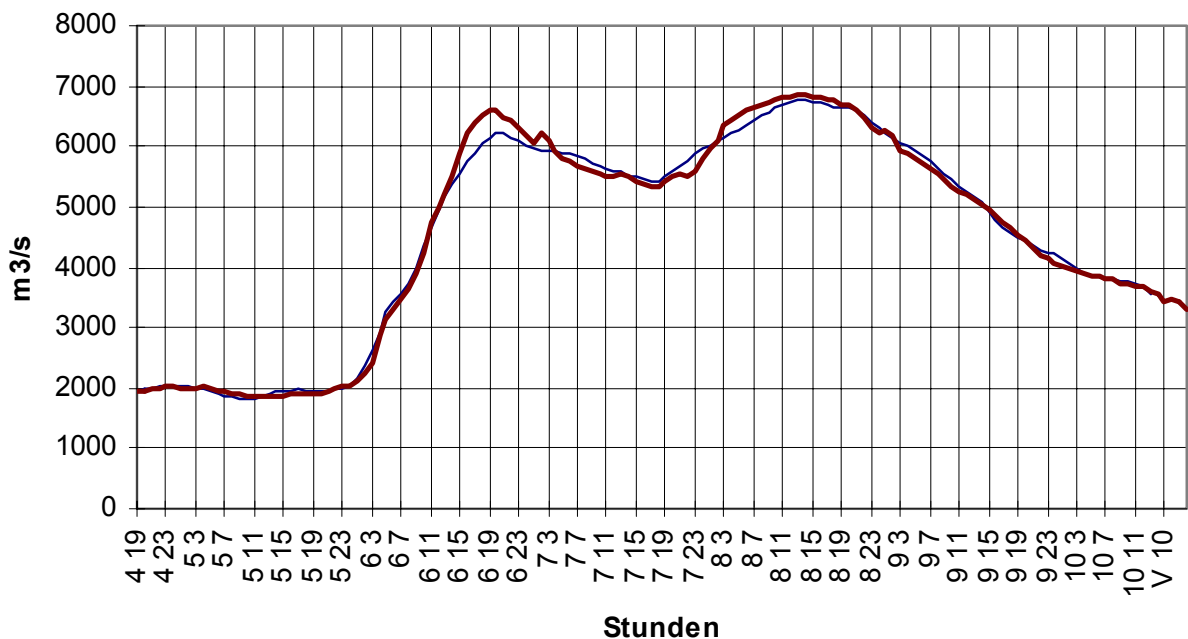


schlagsvorhersage (in Westösterreich und Bayern fielen gegen eine Vorhersage von 0mm bis zu 40mm) ein Vorhersagefehler von über 50cm auftrat.

Die Abb. 7 und 8 illustrieren am Beispiel des Hochwassers vom 4. - 8. Juli 1997, wie durch beträchtliche Vorhersagefehler an der Ybbs die Vorhersage von Kienstock beeinträchtigt wird. Es zeigte sich wiederholt, dass in größeren Einzugsgebieten

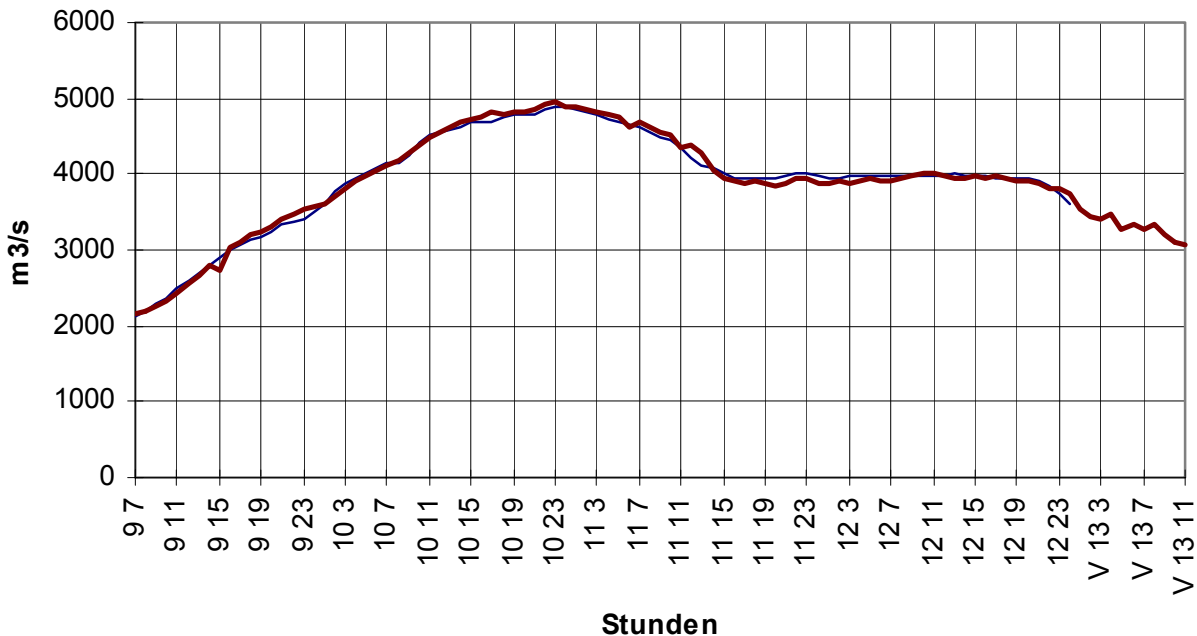


**Abb. 7:** Durchflüsse und 4 Stunden Vorhersagen am Pegel Amstetten vom 4.7. bis 10.7.1997 (NA-Vorhersage). Beobachtung: dünne Linie; Vorhersage: dicke Linie. Der Zeitraster in der Abbildung beträgt 4 Stunden.

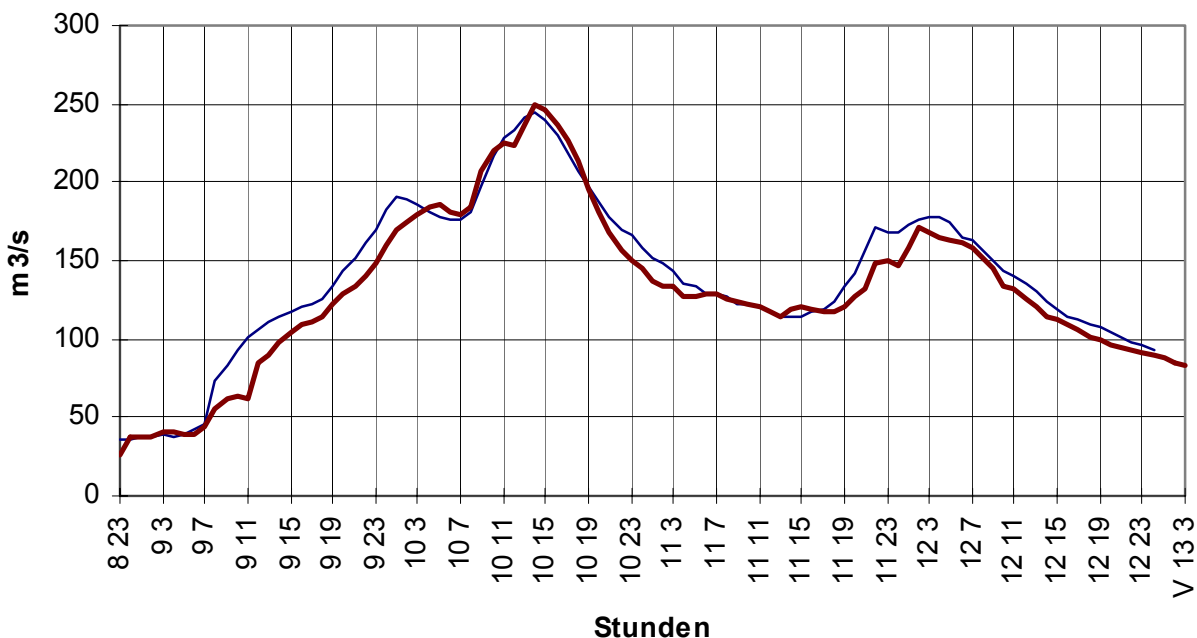


**Abb. 8:** Durchflüsse und 6 Stunden Vorhersagen am Pegel Kienstock vom 4.7. bis 10.7.1997. Beobachtung: dünne Linie; Vorhersage: dicke Linie. Der Zeitraster in der Abbildung beträgt 4 Stunden.

mit einer Fläche von über 500km<sup>2</sup> die NA – Vorhersagen große Unsicherheiten aufweisen. Erst der Einsatz von mit Wellenablaufmodellen kombinierten Vorhersagemodellen kann einen Teil dieser Unsicherheit beseitigen.

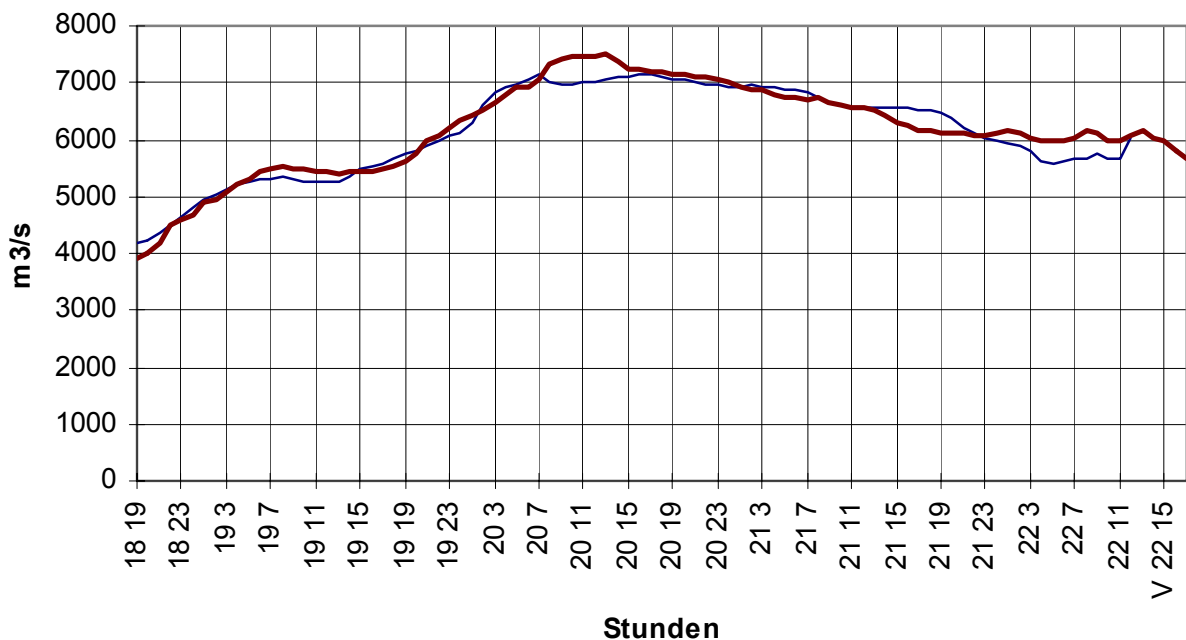


**Abb. 9:** Durchflüsse und 12 Stunden Vorhersagen am Pegel Kienstock vom 8.3. bis 13.3.2000. Beobachtung: dünne Linie; Vorhersage: dicke Linie. Der Zeitraster in der Abbildung beträgt 4 Stunden.



**Abb. 10:** Durchflüsse und 4 Stunden Vorhersagen am Pegel Amstetten vom 8.3. bis 13.3.2000. Beobachtung: dünne Linie; Vorhersage: dicke Linie. Der Zeitraster in der Abbildung beträgt 4 Stunden.

Die starken Zuflüsse aus den niederösterreichischen Teileinzugsgebieten speziell bei den Hochwässern in den Jahren 1991, 1992 und 1997 (bis zu 2500m<sup>3</sup>/s stammten aus Niederösterreich!) gaben daher den Ausschlag zu einer Erweiterung des Zubringermodelle um zusätzliche Pegel und Niederschlagsstationen. Die Vorhersagen für Amstetten/Ybbs und Niederndorf/Erlauf erfolgen nun mit WANA Modellen, die eine gegenüber den reinen NA Modellen eine deutlich verbesserte Vorhersagegenauigkeit aufweisen. Die Abbildungen 9 bis 11 veranschaulichen diese Verbesserung und deren Auswirkung auf die Qualität der Vorhersagen am Pegel Kienstock.



**Abb. 11:** Durchflüsse und 6 Stunden Vorhersagen am Pegel Korneuburg vom 18.7. bis 22.7.1997. Beobachtung: dünne Linie; Vorhersage: dicke Linie. Der Zeitraster in der Abbildung beträgt 4 Stunden.

Datenausfälle bei sämtlichen Datenfernübertragungseinrichtungen stellen ein generelles Problem der Hochwasservorhersage dar. Die Häufung derartiger Probleme am Beginn der Vorhersagetätigkeit im neuen Amtsgebäude in St. Pölten machten die Anwendung eines automatischen Ergänzungsverfahrens vordringlich. Zwei Verfahren kommen zum Einsatz: kurzfristige Datenlücken in Wasserstands- und Durchflussreihen werden durch eine automatisierte Ergänzung auf der Basis der letzten vorhanden Werte sowie der Tendenzen sowie der Relationen zwischen den Pegeln beim Ausfall von Einzelreihen geschlossen. Die Niederschlagsreihen werden laufend auf ihre Plausibilität überprüft und gegebenenfalls mit einem eingebauten Gebietsregenmodell auf der Grundlage der Daten der funktionierenden Stationen ergänzt.

Am Pegel Korneuburg traten wiederholt Probleme mit W-Q Beziehungen auf, die sich auf das in diesem Donauabschnitt eingesetzte Mehrkaskadenmodell infolge falscher Dotierung der Kaskaden sehr unangenehm auswirkten.

Die gemeinsame Wirkung der angeführten Problemfaktoren hatte bei einigen Hochwässern ein deutliches Übersteuern des Modells im Scheitelpunkt zur Folge. Die Einbeziehung zusätzlicher Pegel und Niederschlagsstationen wirkte bei den letzten Hochwässern bereits dämpfend, die geplante Anwendung von adaptiven Verfahren der Parameterschätzung sollte zusammen mit detaillierten Flussgebietsmodellen der NÖ – Zubringer eine weitere Erhöhung der Treffsicherheit der Vorhersagen und Verlängerung des Vorhersagezeitraumes bewirken.

**Anschriften der Verfasser:**

Hofrat Dipl.-Ing. Erich David-Labor  
Abteilung WA-5 Hydrologie  
Landhausplatz 1, 3109 St. Pölten  
E-mail: erich.david-labor@noel.gv.at

Dr. Maximilian Heilig  
Waldgasse 2  
2301 Franzensdorf