

# *Abstract*

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

## **Grey-box models for flood forecasting and control**

by Euan RUSSANO

Flow forecasting and management are essential fields of study in hydrology to mitigate floods and droughts that can cause life or material losses. These undesired aspects arise the necessity of developing techniques to successfully control water resources. Recent developments in the control community have focused on the development of predictive control techniques, which demand computationally inexpensive models to be employed in optimization schemes. Data-driven models are well-known for low computational demand. However, their limitations, such as limited extrapolation capabilities and lack of physical meaning, arises the motivation for the development of grey-box models, which couples physically-based knowledge with a data-driven component, so as to increase the range of validity of the model, as well as to allow the physical understanding of each component of the model. In the present work we develop two types of grey-box models for flow routing, one hydrological and the other hydraulic. The hydrological grey-box model is composed by the mass continuity equation for mass balance and the replacement of the momentum equation by an Artificial Neural Network which reproduces the discharge as a function of the storage and inflow. The hydraulic grey-box model implements also the mass-continuity component, but the momentum equation is replaced by a function which accounts for the water level upstream and downstream, enabling the reproduction of backwater effects. The hydrological model is tested in an academic and a real-world case (São Francisco River, Brazil). The hydraulic model is tested also in an academic and a real-world case (Main river, Germany). For both cases, we also implemented two control techniques: Proportional-Integral Control (PI) and Model Predictive Control (MPC). In the Main river case we tested a flood prevention event using the predictability of MPC control. Results shows that the developed techniques have similar accuracy with highly-detailed models, and the validation in the control tests shows that these models are promising as regards implementing in realtime control systems.

**Keywords:** Flow Routing, Grey-box Model, Artificial Neural Network.

# *Kurzfassung*

## **Grey-box models for flood forecasting and control**

Hochwasservorhersage und management sind wesentliche Bestandteile der Hydrologie und finden große Beachtung bei der Vermeidung von Überschwemmungen und Dürren, die Leben oder materielle Verluste kosten können. Auf Grund dieser Aspekte ergibt sich eine Notwendigkeit der entwickelten Techniken, um Wasserressourcen erfolgreich zu steuern. Aktuelle Entwicklungen auf dem Gebiet der Kontrolle konzentrierten sich auf die Entwicklung von Vorhersagesystemen, die rechnerisch einfache Modelle fordern, um diese in ein Optimierungssystem zu implementieren. Daten-gestützte Modelle sind bekannt für geringe rechnerische Anforderungen. Auf Grund von Einschränkungen, wie begrenzte Extrapolationsfähigkeiten und mangelnden physikalischen Übersetzungen, entsteht die Motivation zur Entwicklung von Grey-Box-Modellen. Diese verbinden physikalisches Wissen mit einer datengesteuerten Komponente, um den Bereich der Gültigkeit des Modells, sowie das physikalische Verständnis der einzelnen Komponenten des Modells zu erhöhen. In der vorliegenden Arbeit wurden zwei wichtige Grey-Box-Modelle für eine hydrologische und eine hydraulische Abflussberechnung entwickelt. Das hydrologische Grey-Box-Modell besteht aus der Kontinuitätsgleichung der Masse und einem künstlichen neuronalen Netz als Ersatz der Impulsgleichung, welches den Abfluss als Funktion in Abhängigkeit von der Speicherung und des Zuflusses wiedergibt. Das hydraulische Grey-Box-Modell berücksichtigt ebenfalls die Kontinuitätsgleichung, aber der Impuls wird durch eine Funktion ersetzt, welche den Wasserstand flussaufwärts und flussabwärts berechnet und es erlaubt, Rückstaueffekte abzubilden. Das hydrologische Modell wurde in einem numerischen und einem realen Fall (São Francisco Fluss - Brasilien) getestet. Das hydraulische Modell wurde ebenfalls in einer numerischen und einem realen Fall (Main - Deutschland) getestet. Für beide Fälle wurden zwei Steuerungstechniken implementiert: die Proportional-Integral Control (PI) und die Model Predictive Control (MPC). Für die Betrachtung des Mains wurde ein Hochwasservorsorge-Ereignis mit der Vorhersehbarkeit der MPC-Steuerung getestet. Ergebnisse zeigen, dass die entwickelten Techniken ähnliche Leistung wie die hochdetaillierten Modelle aufweisen, und die Validierung in den Kontrollprüfungen zeigt, dass diese Modelle in Echtzeit-Steuerungen vielversprechend in der Umsetzung sind.