



Doctoral Thesis

## Real-time management and control of groundwater flow field and quality

**Author(s):**

Marti, Beatrice S.

**Publication Date:**

2014

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010263985> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 22017

**REAL-TIME MANAGEMENT AND CONTROL OF  
GROUNDWATER FLOW FIELD AND QUALITY**

A thesis submitted to attain the degree of  
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH  
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

BEATRICE SABINE MARTI

MSc ETH in Environmental Engineering

born 10. July 1984  
citizen of Beromünster

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Wolfgang Kinzelbach  
Prof. Dr. Harrie-Jan Hendricks Franssen  
Prof. Dr. Dennis McLaughlin

2014

# Abstract

Real-time control is a powerful tool for steering complex and dynamical systems into the desired direction. Parallel to the increase in computational capacity and the availability of measurements in real-time, real-time control has become interesting for management of environmental systems that are under pressure. One such system is the Hardhof well field in Zurich, Switzerland. The location within the city boundaries and downstream of contaminated sites make its water quality vulnerable to multiple threats, some of which have to be controlled on a daily basis.

This thesis analyses the real-time control in operation at the Hardhof well field. The efficacy of the real-time flow model as well as the real-time control of the flow field was confirmed. Although the existing optimal control, that is computed with a genetic algorithm, performs well, the routine is time consuming and its understanding requires extensive expert knowledge. As an alternative, an expert system control was designed for the well field. Compared to the historically applied management, the expert system was able to reduce the risk of potentially polluted water reaching the drinking water production wells to a similar level as the optimal control currently in place at least during the analysed time period. The result was achieved in a fraction of the time needed for the optimal control and the algorithm of the expert system is intuitively understandable. The disadvantage of the expert system control is that, contrary to the genetic algorithm, it is not able to automatically adjust to new boundary conditions that were not included in the knowledge base of the design phase.

Further, the method of ensemble control was applied to the 2D flow model of the Hardhof well field. It includes the ensemble information that is already available from the real-time modelling in the control routine. Results show a considerable improvement of the resilience of the control with regard to extreme events compared to traditional deterministic and stochastic control methods. It could further be shown that the feedback from the model update which the control receives as an input from the real-time model enhances the performance of the control substantially. The ensemble control further allows the characterization of the risk to draw city water which is not possible with the control currently in operation at the Hardhof. Last but not least the threat of rising groundwater temperatures in the well field was addressed. A temperature control routine was coupled to the 3D-heat transport model of the Hardhof. A one year simulation of 3D heat transport showed that seasonally, the abstraction rates in the well field can be re-distributed to decrease the temperature in the drinking water produced by 1 to 2 °C. Long term simulations with the 2D heat transport model revealed a seasonal cold water bubble in the center of the well field where a further drinking water production well could be constructed to pump colder water.

# Zusammenfassung

Echtzeitsteuerung ist eine wertvolle Methode zur Regelung komplexer und dynamischer Systeme. Parallel mit der Steigerung der Rechenkapazität und der vermehrten Verfügbarkeit von Messungen in Echtzeit, ist die Echtzeitsteuerung auch für das Management von Umweltsystemen unter Stress interessant geworden. Das Grundwasserwerk Hardhof in Zürich ist ein solches System. Seine Position inmitten der Stadt Zürich im Unterstrom von belasteten Standorten ist die Quelle für eine Vielzahl von Bedrohungen für die Grundwasserqualität. Einige von diesen Bedrohungen müssen täglich unter Kontrolle gebracht werden.

Diese Doktorarbeit untersucht das Echtzeitmodell und die Echtzeitsteuerung, die derzeit im Hardhof in Betrieb sind. Die Effizienz des Echtzeit-Strömungsmodells sowie der Echtzeitsteuerung des Fließfeldes wurden bestätigt. Obwohl die bestehende Echtzeitsteuerung, die mit einem genetischen Algorithmus optimiert wird, gut abschneidet, ist sie zeitintensiv in der Berechnung und eine spezialisierte Ausbildung ist zum Verständnis des Algorithmus nötig. Als Alternative wurde deshalb eine Steuerung mit einem Experten System entworfen. Die Expertensteuerung reduziert den Stadtwasseranteil im Vergleich zum historischen Management des Brunnenfeldes auf ein ähnlich tiefes Niveau wie die optimale Steuerung, die im Hardhof zur Zeit verwendet wird. Dieses Resultat wird in einem Bruchteil der Zeit erzielt, die für die optimale Steuerung nötig ist. Zudem ist der Algorithmus der Expertensteuerung intuitiv verständlich. Der Nachteil der Expertensteuerung ist, dass sie im Gegensatz zur optimalen Steuerung, nicht fähig ist, sich an neue Randbedingungen, die nicht in der Designphase miteinbezogen wurden, anzupassen.

Des weiteren wird die Methode der Ensemblesteuerung auf ein 2D Strömungsmodell des Hardhofs angewandt. Diese Steuerung berücksichtigt die Information, die im Ensemble des Echtzeitmodells bereits zur Verfügung steht. Die Resultate zeigen eine Verbesserung der Belastbarkeit der Steuerung im Bezug auf Extremereignisse gegenüber den traditionellen deterministischen und stochastischen Steuerungsmethoden. Es kann zudem gezeigt werden, dass die Rückkopplung vom realen System auf die Steuerung, welche mit der Echtzeitmodellierung erreicht wird, eine signifikante Verbesserung der Steuerung zur Folge hat. Ein weiterer Vorteil der Ensemblesteuerung gegenüber der aktuell am Hardhof laufenden Steuerung ist, dass das Risiko potentiell verschmutztes Wasser zu pumpen charakterisiert werden kann.

Zu guter letzt werden die steigenden Grundwassertemperaturen angesprochen. Eine Temperatursteuerung wurde an ein 3D Wärmetransportmodell des Hardhofs gekoppelt. In einer Simulation über ein Jahr konnte gezeigt werden, dass durch Neuverteilen der Entnahmeraten in den Herbstmonaten die Trinkwassertemperatur um 1 bis 2 °C gesenkt werden kann. Langzeitsimulationen mit einem 2D Wärmetransportmodells des Hardhofs deckten zudem das saisonale Auftreten einer Kaltwasserblase inmitten des Hardhofs auf. Eine weitere Reduktion der Trinkwassertemperatur

könnte durch saisonales Pumpen aus dieser Kaltwasserblase erreicht werden.