



Doctoral Thesis

Real-time control of an urban groundwater well field offline simulations and online application

Author(s):

Bauser, Gero

Publication Date:

2011

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006717299> →

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 Nr. 19487

**REAL-TIME CONTROL of an URBAN GROUNDWATER WELL FIELD –
OFFLINE SIMULATIONS and ONLINE APPLICATION**

A dissertation submitted to
ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

Gero Bauser
Dipl.-Ing., TU Ilmenau

Born November 9, 1977
Citizen of Göppingen, Germany

Accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Wolfgang Kinzelbach, supervisor
Prof. Dr. Harrie-Jan Hendricks Franssen, co-examiner
Prof. Dr. Fritz Stauffer, co-examiner

2011

Abstract

This doctoral thesis presents an optimal real-time control approach for the management of drinking water well fields. The Hardhof drinking water well field in the city of Zurich, Switzerland was used for the thesis as a role model regarding an urban well field's real-time management. The real-time control algorithm is based on a hierarchical concept with fuzzy logic controllers controlling technical installations as local task. By controlling defined criteria the attraction of potentially polluted water from the city is kept small. The controllers' parameters are adapted according to a superordinated optimal goal criterion. This criterion requires the minimization of infiltration water, simultaneously minimizing energy needs. The hierarchical algorithm is used together with a three dimensional finite element variably saturated subsurface flow model, including aquifer-river interactions, natural recharge and lateral inflow, to simulate the impact of the daily management of the waterworks on the groundwater flow field. The control method adapts the allocation of bank filtrated water for the supply of twelve injection wells and three artificial recharge basins, with an abstraction rate given by the daily demand of drinking water.

Two control criteria were used: The first one uses head gradients and the second the delineation of well catchments by path lines. The methods were first tested in offline simulations for the period January 2004- August 2005 and revealed that (1) historical management decisions were less efficient compared to optimal hierarchical control results and (2) the spatial distribution of artificial recharge should be clearly different from the historical one.

Next, the methodologies were applied and tested at the control center of the well field in online mode. For the application of the real-time control concept use is made of the Ensemble Kalman Filter method which updates the groundwater flow model with the help of online groundwater head data of 87 measurement points. The results of the applied test indicate that the electrical conductivity of the water abstracted in the wells decreased. The decrease of the electrical conductivity indicates a reduced water inflow from potentially contaminated sites as long as the groundwater management was optimised with the proposed methodology. It can be concluded that the simulation and the application prove the feasibility of the real-time control concept.

Zusammenfassung

Diese Doktorarbeit stellt ein optimales Echtzeitsteuerungskonzept vor, das für die Bewirtschaftung von Brunnenfeldern eingesetzt werden kann. Das Grundwasserwerk Hardhof in Zürich wurde als Fallbeispiel für das Echtzeitmanagement eines städtischen Brunnenfeldes herangezogen. Der Echtzeitsteuerungsalgorithmus beruht auf einem hierarchischen Konzept, bei dem Fuzzy-Logic-Regler die technischen Anlagen steuern. Unter Verwendung ausgesuchter Steuerkriterien kann das Anziehen von verschmutztem Trinkwasser aus dem Stadtgebiet verhindert werden. Die Reglerparameter werden einem übergeordneten Optimalitätskriterium gemäss angepasst. Dieses Optimalitätskriterium verlangt die Minimierung des Anreicherungswassers und minimiert gleichzeitig den Energieverbrauch. Für die hierarchische Steuerung wird auch ein dreidimensionales Modell (Finite-Elemente-Methode) verwendet, das den Fluss-Grundwasser-Austausch, die Neubildung und Randzuflüsse einbezieht, um das tägliche Management des Wasserwerkes zu simulieren. Die Steuerung sorgt für die Beschickung von Uferfiltratwasser in 12 Infiltrationsbrunnen und drei Anreicherungsbecken, während die Pumpraten vorgegeben werden, die den täglichen Bedarf an Trinkwasser widerspiegeln.

Zwei Steuerkriterien wurden verwendet: Das erstere verwendet hydraulische Höhendifferenzen und das zweite eine Abgrenzung von Bahnlinien. Die Methoden wurden zuerst in Offline- Simulationen für den Zeitraum Januar 2004- August 2005 getestet und zeigten dass (1) historische Managemententscheidungen im Vergleich zum optimalen hierarchischen Steuerungsergebnis weniger effektiv waren und dass (2) die räumliche Verteilung der künstlichen Anreicherung sich deutlich von der historischen unterscheiden sollte.

Daraufhin wurden die Methoden im Kontrollzentrum des Grundwasserwerkes eingesetzt und im Online-Modus getestet. Für die Echtzeitsteuerung wird auch die Methode des Ensemble Kalman Filters verwendet, die unter Zuhilfenahme von Grundwasserständen aus 87 Messrohren das Grundwassermodell aktualisiert. Die Ergebnisse des Versuches zeigen, dass die elektrische Leitfähigkeit im geförderten Trinkwasser aus den Brunnen zurückging. Der Rückgang der elektrischen Leitfähigkeit deutet auf einen reduzierten Zufluss von Wasser aus potentiell verschmutzten Zonen hin, solange das Management mit der vorgeschlagenen Methode optimiert wurde. Insgesamt kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass Simulation und Anwendung die Einsatzfähigkeit des Echtzeitsteuerungskonzeptes beweisen.