



Doctoral Thesis

Uncertainty analysis for a distributed flow and transport model a case study in Xinjiang

Author(s):

Li, Ning

Publication Date:

2013

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-009913074> →

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. 21122

**Uncertainty Analysis for a Distributed Flow and
Transport Model - A Case Study in Xinjiang**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

Ning Li

M.Sc.Eng., China University of Geosciences(Beijing),China

born 14. November 1981

citizen of China

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Wolfgang Kinzelbach

Prof. Dr. Dennis McLaughlin

Prof. Dr. Rolf Kappel

Prof. Dr. Wenpeng Li

Prof. Dr. Xinguang Dong

Dr. Haitao Li

2013

Abstract

Uncertainty analysis is important for a distributed numerical model and provides instructive knowledge for decision makers. Parameter uncertainty analysis quantifies the probability distribution of the model parameters, the relation among parameters and the relation between parameters and observations, which sets a direction for future investigations in the study area. Predictive uncertainty analysis quantifies the probability distribution of predictive outputs under different management scenarios, which provides statistical information instead of deterministic information on the water resources management for the decision makers.

Yanqi Basin is located in the fragile ecological environment of Xinjiang in the northwest of China and is characterized by scarce rainfall and high evaporation. Increasing cultivated area, long-term flood irrigation and an inefficient drainage system have led to soil salinization. Due to the consumptive water use, the level of Bosten Lake dropped and lake water quality grew worse in the past decades, damaging the lake ecosystem. The region presents a big challenge for decision makers to achieve sustainable water resources development.

First the sustainability of Bosten Lake located in the southeast of Yanqi basin is discussed in the thesis. After 1983, a dam was constructed dividing the lake into two lakes. So a two-box model and a distributed numerical model of the two-lake system are constructed. The results show that the ratio of the outflow concentration and the average lake concentration is around 0.7 to keep the salt balance consistent. The scenario analysis of the lake implies that the most effective way to improve the lake quality is to decrease the salt flux from the drain system.

Then a 3D distributed flow and transport model of Yanqi basin with a grid size of 500 m by 500 m is constructed using the MIKESHE/MIKE11 software. The calibrated results indicate that the model can reproduce very well the regionally distributed flow and transport for a long time period of 50 years. Based on the finer model, the consecutive grid coarsening method is implemented to find a relatively time saving numerical model with the grid size of 2 km by 2 km. During the coarsening process some parameters have to use the effective values which are defined in a way to keep the mass budget consistent. The numerical results show that the coarsened flow and transport model runs considerably faster while it still fits the observations well.

The parameter uncertainty analysis uses a new method of Ensemble Smoother with Multiple Data Assimilation (ESMDA) and applies it to the coarsened numerical model. 50 prior replicates of parameter combinations are generated according to the Latin Hypercube Sampling method (LHS). Two algorithms of ESMDA are considered here. One is using the traditional Ensemble Kalman Filter (EnKF) in ESMDA to update the parameters with perturbed measurements in each iteration (ESMDA-EnKF). The other new approach uses the algorithm of the Unbiased Square Root Filter (USRF) in ESMDA to update the posterior means and perturbations of parameters without any perturbations of measurements (ESMDA-USRF). Both methods show that the uncertainty of the pa-

rameters is narrowing during the updating process because of the information supplied by the observations. The conditional parameters obtained from ESMDA are the inputs of the predictive uncertainty analysis of different water management scenarios. The proposed water management scenarios include the measures of delivering salt flux from the drain system to salt fields, adopting new technology of drip irrigation and reducing agricultural area. The statistical outputs of different scenarios are discussed and compared. The preferable scenario for the sustainable development in the basin is the salt deposit scenario, not only from the hydrological but also from a preliminary economic point of view.

Zusammenfassung

Die Analyse der Parameterunsicherheiten ist eine wichtige Grundlage für die Anwendung numerischer Modelle aus welcher sich relevante Erkenntnisse für die Entscheidungsträger ableiten lassen. Sie liefert Informationen über die statistische Verteilung der Modellparameter, die Beziehung zwischen den Parametern und die Beziehung zwischen Parametern und Beobachtungen und zeigt die Richtung für weitere Untersuchungen im Modellgebiet an. Die Analyse der Unsicherheiten der Modellprognosen erlaubt zudem eine Quantifizierung der statistischen Verteilung der zu erwartenden Ergebnisse unter unterschiedlichen Managementszenarien. Den Entscheidungsträgern kann somit statistische statt deterministische Information für die Bewirtschaftung der Wasserressourcen zur Verfügung gestellt werden. In Anbetracht der Tatsache, dass eine einzige deterministische Realisation für die Prognose inadäquat ist, bringt die vorgestellte Methode eine wichtige Verbesserung für die Entscheidungspraxis.

Das Yanqi-Becken ist ein ökologisch sensibles Einzugsgebiet in Xinjiang im Nordwesten Chinas und zeichnet sich durch wenig Niederschlag und hohe Verdunstungsraten aus. Die Zunahme der landwirtschaftlichen Anbaufläche, jahrelange Oberflächenbewässerung im Stauverfahren und ein ineffizientes Drainagesystem haben zur Versalzung der Böden geführt. Der steigende Wasserverbrauch der letzten Jahrzehnte resultierte in einer Senkung des Wasserspiegels des Bostensees im Südwesten des Yanqi-Beckens und der Verminderung seiner Wasserqualität, was eine Schädigung des Ökosystems des Sees zur Folge hatte. Die Region stellt für die Entscheidungsträger eine große Herausforderung im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung der Wasserressourcen dar.

In der vorliegenden Arbeit wird als erstes der Bostensee unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit diskutiert. Im Jahr 1983 wurde ein Damm gebaut, welcher den See in zwei Teile trennt. Es wurde ein Zwei-Box-Modell und ein numerisches Modell des Zwei-Seen-Systems entwickelt. Die Ergebnisse zeigen, dass das Verhältnis zwischen der Konzentration des Abflusses aus dem oberen Bostensee und der durchschnittlichen Konzentration des Sees etwa 0,7 sein muss damit die Salzbilanz aufgeht. Eine Analyse verschiedener Szenarien zeigt, dass eine Verbesserung der Qualität des Sees am effektivsten erreicht wird, wenn die Salzzufuhr aus dem Drainagesystem verringert wird.

Im zweiten Teil der vorliegenden Arbeit wurde unter Verwendung der Software MIKES-HE/MIKE11 ein Strömungs- und Transportmodell des Yanqi-Beckens in 3D mit einer Maschenweite von 500 m erstellt. Die kalibrierten Ergebnisse zeigen, dass mit diesem Modell die regionalen Strömungs- und Transportprozesse für einen Zeitraum von 50 Jahren sehr gut reproduziert werden können. Basierend auf diesem feinen Modell wurde die Maschenweite mit der Methode der konsekutiven Netzvergrößerung vergrößert. Damit kann das numerischen Modell bei deutlich verringertem Zeitaufwand mit einer Maschenweite von 2 km berechnet werden. Im groben Modellnetz wurden einige Parameter durch effektive Werte ersetzt, um die Konsistenz der Massenbilanz zu garantieren. Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Verwendung des gröberen Netzes das Modell deutlich schneller läuft bei

gleichzeitig akzeptabler Übereinstimmung der Ergebnisse mit den Beobachtungen.

Im dritten Teil der Dissertation werden die Parameter des Modells im Detail untersucht. Für die Analyse der Parameterunsicherheit wird eine neue Methode unter Verwendung der Ensembleglättung mit multipler Datenassimilierung (ESMDA) auf das gröbere numerische Modell angewendet. Mit der Latin Hypercube Sampling-Methode (LHS) wurden 50 Realisierungen von Parameterkombinationen generiert. Zwei ESMDA-Algorithmen werden verglichen: Die eine Methode verwendet den traditionellen Ensemble Kalman Filter (EnKF), um die Parameter mit Messungen während jeder Iteration zu aktualisieren (ESMDA-EnKF). Der andere, neue Ansatz nutzt ein unverzerrtes Wurzelfilter (USRF) um die Mittelwerte und die Varianz der Parameter zu aktualisieren (ESMDA-USRF). In der letzteren Methode ist keine Berücksichtigung des Messfehlers erforderlich. Beide Methoden zeigen, dass die Unsicherheit der Parameter während des Aktualisierungsprozesses aufgrund der Information, welche die Beobachtungen liefern, kleiner wird.

Die neuen, durch die ESMDA erhaltenen Parameter werden im vierten Teil der Arbeit als Grundlage für die Analyse der Prognoseunsicherheit der verschiedenen Wassermanagement-Szenarien verwendet. Die vorgeschlagenen Szenarien enthalten folgende Maßnahmen: Ausstrag von Salz aus dem Drainagensystem zu Salzfeldern (Salzlager-Szenario), die Einführung der Tröpfchenbewässerung und die Reduktion der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Die statistischen Ergebnisse der verschiedenen Szenarien werden diskutiert und miteinander verglichen. Das bevorzugte Salzlager-Szenario für eine nachhaltige Entwicklung im Einzugsgebiet wird nicht nur aus hydrologischen sondern auch aus wirtschaftlichen Gründen empfohlen.