



## Doctoral Thesis

# Flooding and salt transport in the Okavango Delta, Botswana key issues for sustainable wetland management

**Author(s):**

Bauer, Peter

**Publication Date:**

2004

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004712878> →

**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. 15436

**FLOODING AND SALT TRANSPORT IN THE  
OKAVANGO DELTA, BOTSWANA: KEY ISSUES  
FOR SUSTAINABLE WETLAND MANAGEMENT**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

For the degree of  
Doctor of Natural Sciences

presented by  
Peter Bauer  
Dipl. Umwelt-Natw. ETH Zurich

born 21.06.1974

citizen of  
Germany

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. W. Kinzelbach  
Prof. Dr. C. Schär

2004

## Abstract

The Okavango River basin is one of the major shared river basins of Southern Africa. The runoff is generated in the humid Angolan highlands, flows through arid Namibia and enters Botswana before forming a spectacular inland Delta where it is eventually consumed by evapotranspiration. To study the impacts of upstream and local interventions as well as to gain a good quantitative understanding of the different processes acting in the Okavango Delta, a large-scale, coupled surface water/groundwater model has been developed. Since the main emphasis is placed on reproducing the extent of the flooded area in the Delta, the model was not calibrated with point hydrographs but with a time series of two-dimensional flooding patterns derived from satellite imagery. Scenarios were designed to study major interventions and their expected impacts. Simulation results confirmed the severity of large abstractions from the inflow e.g. for irrigated agriculture. A 20% reduction of the average inflow resulted in a 30% reduction of the average flooded area. Local climate, which has been very variable historically, is an important factor for extent and dynamics of flooding. A 10% increase of local rainfall together with a 10% decrease of local evapotranspiration leads to a 24% expansion of the mean flooded area. Large dams in the upstream lead to a significant redistribution of the seasonal floodplains. Dredging of the channels in the Delta and blockage by papyrus has a major impact on the flood distribution as well. Abstraction for domestic use involves relatively minor quantities and appears to be less critical. However, the impact of most of the studied interventions were small compared to the natural variability observed over the last 70 years.

The Okavango Delta is a terminal evaporative system and is accumulating about 300'000 tons of dissolved salts per year. Nevertheless, the salinity of the surface waters is very low throughout and the high water quality in the swamp is a prime asset for man and nature in the region. Salt is removed from the surface water body together with the water carrying it by infiltration into the underlying shallow sand aquifer. This infiltration flux accounts for 36% of the inflowing water and is proportional to the length of the wetland/dryland interface. The complex geometry of the Delta with thousands of islands scattered throughout the swamp is therefore essential if the high surface water quality is to be preserved. In the central parts of the Delta, high salinity anomalies are formed beneath islands in a generally fresh environment. Significant quantities of dissolved salts are subsequently precipitated. An additional process of salt removal from islands is density fingering, which was studied in detail on one island using a variety of geophysical and geochemical techniques. Density fingering is most likely of minor importance for the overall salt balance, removing not more than 10% of the inflowing salt mass. In the peripheral parts of the Delta, the infiltrating surface water forms freshwater lenses in an otherwise saline environment. These freshwater lenses are used for water supply (e.g. to the town of Maun). The freshwater lenses are subject to infiltration by flooding, evaporation, transpiration by plants and pumping. A numerical model was developed, that takes into account all these processes and the various feedback mechanisms involved.

## Kurzfassung

Das Okavango Flusssystem ist eines der großen internationalen Flusseinzugsgebiete im südlichen Afrika. Der Okavango entspringt im feuchten angolanischen Hochland, fließt durch das aride Namibia und schließlich nach Botswana, wo er in einem spektakulären Inland-Delta verdunstet. Um die Auswirkungen von wasserbaulichen und wasserwirtschaftlichen Eingriffen im Delta und im Oberstrom zu analysieren und um ein gutes quantitatives Verständnis des Systems zu entwickeln, wurde ein großskaliges gekoppeltes Oberflächenwasser/Grundwassermodell des Deltas entwickelt. Da es vor allem um die Auswirkungen geplanter Maßnahmen auf Ausdehnung und Dynamik der gefluteten Fläche geht, wurde das Modell nicht mit Hydrographen an einigen Punkten, sondern mit räumlich verteilten Flutungsmustern, die aus Satellitenbildern gewonnen wurden, geeicht. Szenarien wurden entwickelt um die wichtigsten Eingriffe und ihre Auswirkungen zu simulieren. Grosse Wasserentnahmen im Oberstrom, etwa für die Bewässerungslandwirtschaft wirken sich schwerwiegend auf die hydrologischen Verhältnisse im Delta aus: Eine Reduktion des mittleren Zustroms um 20% führt zu einer Abnahme der mittleren gefluteten Fläche um 30%. Änderungen des lokalen Klimas haben ebenfalls große Auswirkungen: Bei Zunahme des lokalen Niederschlags um 10% und gleichzeitiger Abnahme der lokalen Evapotranspiration um 10% wächst die mittlere geflutete Fläche um 24%. Grosse Staudämme im Oberstrom führen zu einer signifikanten Umverteilung der gefluteten Flächen. Ausbaggern von Wasserläufen bzw. deren Blockade durch schwimmende Vegetation verändern die Verteilung der Flut ebenfalls stark. Wasserentnahmen für den Hausgebrauch sind wegen der kleinen benötigten Mengen weniger kritisch. Die Auswirkungen der meisten simulierten Eingriffe sind jedoch geringer als die natürliche, über die letzten 70 Jahre beobachtete Variabilität.

Das Okavango Delta ist eine abflusslose evaporative Senke und akkumuliert pro Jahr etwa 300'000 t an gelösten Salzen. Die Salinität der Oberflächengewässer ist trotzdem überall sehr niedrig und die hohe Wasserqualität ist wertvoll für Mensch und Natur. Infiltration in den umgebenden Sandaquifer entfernt das Salz zusammen mit dem Oberflächenwasser in dem es gelöst ist. Dieser Infiltrationsfluss beträgt 36% der zuströmenden Wassermenge und ist proportional zur Länge der Küstenlinie. Deshalb ist die komplexe Geometrie des Deltas mit seinen Tausenden von Inseln wichtig für die Erhaltung der Qualität des Oberflächenwassers. In den zentralen Regionen des Deltas findet man Salzanomalien unter Inseln in durchwegs süßer Umgebung. Neben der Fällung von gelösten Salzen entfernen auch dichtegetriebene Strömungen gelöste Stoffe von den Inseln. Solche Dichtefinger wurden auf einer Insel mit Hilfe verschiedener geophysikalischer und geochemischer Methoden beobachtet. Dichtefinger sind für die Gesamtbilanz weniger wichtig, da sie höchstens 10% der zuströmenden Salzmasse abtransportieren. In den peripheren Teilen des Deltas bildet die Infiltration Süßwasser-Anomalien in einer sonst salzigen Umgebung. Diese Süßwasserlinsen werden zur Wasserversorgung genutzt (z.B. für die Stadt Maun). Überflutung, Pumpen, Evaporation und Transpiration beeinflussen die Größe und Form der Süßwasserlinsen. Ein numerisches Modell wurde entwickelt, das alle diese Prozesse sowie die vielfältigen beteiligten Rückkopplungsmechanismen berücksichtigt.