Heftreihe des Instituts für Bauingenieurwesen
Book Series of the Department of Civil Engineering
Technische Universität Berlin

Shaker Verlag

Aachen 2015

Multi-dimensional Numerical Simulation of Hydrodynamics and Transport Processes in Surface Water Systems in Berlin

vorgelegt von

AYMAN JOURIEH, Ing.

aus Tartous, Syrien

von der Fakultät VI Planen | Bauen | Umwelt
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften

Dr.-Ing.

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender:	Prof. Dr.-Ing. Matthias Barjenbruch, TU Berlin
Berichter:	Prof. Dr.-Ing. Reinhard Hinkelmann, TU Berlin
	Prof. Dr. rer. nat. Gunnar Nützmann, IGB Berlin

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 17.12.2013

Berlin 2014

D83

Heftreihe des Instituts für Bauingenieurwesen
Book Series of the Department of Civil Engineering
Technische Universität Berlin

Band 18

Ayman Jourieh

Multi-dimensional Numerical Simulation of Hydrodynamics and Transport Processes in Surface Water Systems in Berlin

D 83 (Diss. TU Berlin)

Shaker Verlag
Aachen 2015

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the internet at http://dnb.d-nb.de.

Zugl.: Berlin, Techn. Univ., Diss., 2013

Multi-dimensional Numerical Simulation of Hydrodynamics and Transport Processes in Surface Water Systems in Berlin

Dissertationsschrift von Ayman Jourieh
Fakultät VI – Planen, Bauen, Umwelt
der Technischen Universität Berlin

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Matthias Barjenbruch
Prof. Dr.-Ing. Reinhard Hinkelmann
Prof. Dr. rer. nat. Gunnar Nützmann

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 17.12.2013

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3513-1
ISSN 1868-8357

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen
Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9
Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Abstract

On the one hand, urban water systems are stressed by numerous loads, for example contaminations from treated wastewater, industry, runoff of streets and on the other hand their functioning is highly desirable to maintain the urban environment. The impact of the contaminations can be predicted with numerical models which help to understand and identify the relevant processes and which can be applied to design engineering measurements.

This doctoral thesis deals with two- and three-dimensional numerical simulations of hydrodynamics and conservative transport processes in two urban surface water systems of Berlin, a section of the river Spree and the Unterhavel water system, both characterized by slow flow velocities. For this purpose, the TELEMAC modelling system was used and 2D as well as 3D simulations were carried out considering various conditions: low, mean and high discharge, tracer injection points and diffusivity. Finally, the impact of mean and strong winds was considered for the Unterhavel.

The section of the river Spree has a very simple geometry and is stressed by combined sewer overflow which is idealized as conservative tracer. The project area under investigation here and within the research project SPREE-2011 is located in Berlin, Friedrichshain-Kreuzberg. This study aims to show the impacts of installed storage tanks on the hydraulics and water quality. The numerical results show that the impacts of the tanks on the hydraulics are small, and the transport is strongly advection-dominated except for low flow conditions. The results indicate that a 3D model is only necessary in the direct area surrounding the injection point.

The geometry in the Unterhavel water system is highly complex and therefore it is a challenge for stable 3D simulations. This study aims to improve understanding 2D and 3D flow and transport processes in the Unterhavel and to determine dominated processes and parameters. The results show that the Wannsee is strongly influenced by the injection at the Teltow channel but only slightly influenced by the injection at Pichelssee. In addition, a tracer injected in the north at Pichelssee mainly flows from North to South through the system. Moreover, the transport is mainly advection-dominated,

except in stagnation areas where (turbulent) diffusion becomes visible. In the case without wind, the 3D profiles of velocity and tracer are parabolic in large parts of the domain, except in special stagnation areas. Finally, in the case of strong wind, strong 3D flow and transport effects occur with different flow directions in a profile at the surface (following the wind direction) and opposite flow direction at the bottom as well as complex horizontal and vertical circulations.

Kurzfassung

Auf der einen Seite sind urbane Wassersysteme von zahlreichen Belastungen betroffen: gereinigtes Abwasser, Industrie, Zuflüsse aus versiegelten Flächen. Auf der anderen Seite ist deren Funktionieren unabdingbar, um unsere Umwelt nachhaltig zu schützen. Die Auswirkungen der Kontaminationen können mit Hilfe von numerischen Modellen vorhergesagt werden. Diese Modelle tragen zum Verständnis der Gewässersysteme und deren relevanten Prozesse bei und können zur Entscheidung zu ingenieurtechnischen Maßnahmen herangezogen werden.

Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich mit zwei- und dreidimensionalen Strömungs- und Transportmodellierungen konservativer Stoffe in den beiden Berliner Gewässern Spree und Unterhavel. Bei diesen beiden Gewässerabschnitten handelt es sich um sehr langsam fließende Gewässer. Für die 2D und 3D Berechnungen der Strömungs- und Transportprozesse wurde das Programmsystem TELEMAC eingesetzt. In den Simulationen wurden verschiedene hydrodynamische sowie Transportbedingungen untersucht: Niedrig-, Mittel- und Hochwasserabfluss, Einleitungsstellen der Kontaminationen und Diffusivität. Zusätzlich wurden die Auswirkungen mittlerer und starker Windereignisse in der Unterhavel simuliert.

Der Flussabschnitt der Spree, der eine einfache Geometrie hat, wird durch Überläufe aus der Mischwasserkanalisation belastet. Das gereinigte Abwasser wurde in dieser Arbeit als konservativer Tracer idealisiert. Das Untersuchungsgebiet befindet sich in Berlin, Friedrichshain-Kreuzberg. Diese Arbeiten waren in das interdisziplinäre BMBF-Verbundprojekt SPREE2011 eingebunden. Ziel dieser Untersuchungen war, die Auswirkungen von Mischwasserspeichern auf die Hydrodynamik und Wasserqualität zu analysieren. Die Ergebnisse zeigen, dass der Einfluss der Mischwasserspeicher auf die Hydrodynamik vernachlässigbar ist. Die Transportprozesse werden von der Advektion dominiert, außer bei Niedrigwasserabfluss. Die Ergebnisse zeigen, dass ein 3D-Modell nur für die unmittelbare Umgebung des Einleitungspunkts notwendig ist.

Die Geometrie des Gewässersystems Unterhavel stellt aufgrund ihrer Kom-

plexität hohe Anforderungen an die 3D Modellierung (z.B. Stabilität). Diese Untersuchungen hatten das Ziel, das Prozessverständnis zu 2D und 3D Strömungs- und die Transportprozessen in der Unterhavel zu verbessern sowie dominante Prozesse und Parameter herauszuarbeiten. Die Ergebnisse zeigen, dass der Wannsee stark von Einleitungen in den Teltow-Kanal, aber nur wenig von Einleitungen in den Pichelssee beeinflusst wird. Darüber hinaus fließt ein Tracer, der im Norden des Pichelssees eingeleitet wird, hauptsächlich von Nord nach Süd. Weiterhin ist der Transport überwiegend akvektionsdominiert, außer in Ruhewasserzonen, wo Diffusion an Bedeutung gewinnt. Wenn kein Wind vorhanden ist, sind die 3D Profile von Strömungsgeschwindigkeit und Transport in weiten Bereichen des Untersuchungsgebiets parabolisch, außer in Ruhewasserzonen. Bei Starkwindereignissen treten starke dreidimensionale Strömungs- und Transporteffekte auf mit unterschiedlichen Strömungsrichtungen an der Gewässeroberfläche (in Windrichtung) und am Gewässerboden sowie komplexe horizontale und vertikale Zirkulationsfelder.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen eines Promotionsstipendiums im Fachgebiet Wasserwirtschaft und Hydrosystemmodellierung, Institut für Bauingenieurwesen der Technischen Universität Berlin entstanden.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. Reinhard Hinkelmann für die Möglichkeit, dieses Dissertationsthema zu bearbeiten. Er hat die Entstehung dieser Arbeit mit viel Interesse, Vertrauen und Geduld unterstützt. Ohne seine ständige Unterstützung wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Weiterhin möchte ich Herrn Prof. Dr. rer. nat. Gunnar Nützmann (IGB Berlin) für die freundliche Übernahme des Zweitgutachtens danken. Seine fachlichen Kenntnisse haben mir wichtige Anregungen geliefert.

Auch möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Matthias Barjenbruch für die Übernahme des Vorsitzes des Promotionsausschusses bedanken.

Bei allen aktuellen und ehemaligen Kollegen des Fachgebiets Wasserwirtschaft und Hydrosystemmodellierung möchte ich mich für ihre Hilfsbereitschaft in wissenschaftlichen und technischen Fragen sowie für die freundliche Arbeitsatmosphäre bedanken.

Meinen Eltern und Geschwistern, die mir das Studium des Bauingenieurwesens ermöglicht haben, fühle ich mich zu besonderem Dank verpflichtet. Meine Eltern haben mich durch Rat und Tat und vor allem durch unzählbare Gebete unterstützt.

Schließlich gilt mein ganz besonderer Dank meiner Frau Shirin und meiner Tochter Sarah für ihr unbeschreibliches Verständnis und ihre Geduld, insbesondere an den zahlreichen Tagen, die ich im Fachgebiet verbracht habe.

Berlin, Dezember 2013

Ayman JOURIEH

Contents

Nomenclature

Abbreviations

1D	one-dimensional
2D	two-dimensional
3D	three-dimensional
AFM	advanced-front method
a.s.l.	above sea level
BC	boundary condition
BCGSTAB	Biconjugate Gradient Stabilized method
CFD	computational fluid dynamics
CFD	Courant-friedrichs lewy
CG	Conjugate Gradient
DVM	Delaunay-Voroni method
fig.	figure
FDM	Finite Difference Method
FEM	Finite Element Method
FVM	Finite Volume Method
GMRES	Generalised Minimum RESidual
MPI	message passing interface
PCG	Preconditioned Conjugate Gradient
sec.	section
SUPG	Streamline Upwind Petrov-Galerkin

Terms with latin letters

h	water depth	$[m]$

$\overrightarrow{u}$	velocity vector	$[m/s]$
u, v	velocity components	$[m/s]$
T	tracer concentration	$[g/l]$
g	gravitational acceleration	$[m/s^2]$
z_s	free surface elevation	$[m]$
x, y, z	horizontal and vertical space coordinates	$[m]$
S_x, S_y	source or sink terms (wind, Coriolis force, bottom friction, a source / sink of momentum)	$[kg/m^3s]$
S_T	source or sink of tracer	$[kg/m^3s]$
υ_t	turbulent viscosity	$[m^2/s]$
υ_T	turbulent diffusivity	$[m^2/s]$
f_x, f_y	source or sink terms, denoting bottom friction, wind and Coriolis force	$[m/s^2]$
λ	Taylor.friction coefficient	[-]
c_D	wind-stress coefficient	[-]
ρ_a	density of air	$[kg/m^3]$
ρ_0	reference density	$[kg/m^3]$
$\triangle\rho$	density difference	$[kg/m^3]$
p	pressure	$[Pa]$
v_{ax}, v_{ay}	horizontal components of wind velocity	$[m/s]$
$\underline{\underline{\upsilon_t}}$	turbulent viscosity tensor	$[m^2/s]$
$\underline{\underline{\upsilon_T}}$	turbulent diffusivity tensor	$[m^2/s]$
υ_h	horizontal turbulent viscosity	$[m^2/s]$
υ_v	vertical turbulent viscosity	$[m^2/s]$
υ_{Th}	horizontal turbulent diffusivity	$[m^2/s]$
υ_{Tv}	vertical turbulent diffusivity	$[m^2/s]$
v_{ax}, v_{ay}	components of wind velocity	$[m/s]$
$\frac{\rho_{air}}{\rho_w}$	ratio of air and water densities	[-]
θ	Crank-Nicholson factor	[-]

List of Figures