Freie Universität Berlin
Department of Earth Sciences
Institute for Geographic Sciences
Physical Geography

Le Xuan Dinh

Dissertation to obtain Degree

Dr. rer. nat.

Long-term development of nutrient loads in Berlin surface water system and their causes during the last 150 years

Chairperson of the Examination Board:
Univ. Prof. Dr. Brigitta Schütt — Freie Universität Berlin

Supervisors:
Univ. Prof. Dr. Brigitta Schütt — Freie Universität Berlin

Univ. Prof. Dr. Asaf Pekdeger — Freie Universität Berlin

Date of defence: 23.01.2008

Acknowledgement

This research is supported by Vietnamese Ministry of Education and Training, the Institute of Geography/Freie Universität Berlin, Senate Department for Urban Development of Berlin and Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries in Berlin.

I would like to express my sincere and deepest gratitude to my supervisor Prof. Dr. Brigitta Schütt for her admirable supervision, constructive advises, continuous encouragement throughout the entire work of this Ph.D. thesis and also for her provision of an office and all necessary conditions for my study at the Freie Universität Berlin. I wish to express my sincere gratitude to Prof. Dr. Asaf Pekdeger, my second supervisor for giving me comments and criticism on my thesis. I would like to give special thanks to Dr. Horst Behrendt at the IGB, for helping me with the application of MONERIS, for giving fruitful discussions and scientific revision of my thesis.

I would like to express my great thanks to Dr. Steffen Möller, Dr. Philipp Hoelzmann and all colleagues from Physical Geography, Institute of Geography, Department of Earth Sciences, Freie Universität Berlin who have helped me during this study and gave comments on my thesis.

Finally, my heartfelt thanks to my family for their love, inspiration and encouragement me to accomplish this work.

Contents

Figures

Tables

Abbreviations used in the text

a.s.l.	above sea level
BMU	German Federal Ministry for the Environment Nature Conservation and Nuclear Safety
BOD	Biochemical Oxygen Demand
BWB	Berlin Water Company
Chla	chlorophyll-a
CIDAC	Carbon Dioxide Information Analysis Center, USA
COD	Chemical oxygen demand
DIN	Dissolved inorganic nitrogen
DO	Dissolved oxygen
DWD	German Weather Services (Deutscher Wetterdienst)
EC	European Commission
EEC	European Economic Community
EMEP	Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air-pollution in Europe
EU	European Union
FRG	Federal Republic of Germany
GDR	German Democratic Republic
IBG	Institut für Gewässerökologie u. Binnenfischei Berlin (IGB)
IIASA	International Institute for Applied Systems Analysis
IPCC	The Intergovernmental Panel on Climate Change
MONERIS	MOdelling Nutrient Emissions in RIver Systems
N	Nitrogen
N_2	Nitrogen gas
N_2O	Nitrous oxide
NH_3	Ammonia
NH_4	Ammonium
NO_2	Nitrite
NO_3	Nitrate
NO_x	nitric oxides
Nr	reactive nitrogen species
OSPAR	The Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic
P	Phosphorus
PO4	Phosphate
Ppb	Parts per billion
SRP	Soluble reactive phosphorus
TN	Total nitrogen
TP	Total phosphorus
TSS	Total Suspended Solids
USA	United States of America
WC	Water closet
WFD	The Water Framework Directive
WHG	Federal Water Act (Wasserhaushaltsgesetz)
WWTP	waste water treatment plant

Abbreviations used in Formulas

A_{GB}	total area of the Greater Berlin.
A_{IMP_S}	impervious area connected to separate sewer system and the total surface water area
A_{IMP_C}	impervious urban area connected to the combined sewer system
a_{IMP}	share of precipitation realized as surface runoff from paved urban area
A_{IMPN}	paved areas not connected to sewers
$A_{IMP-old}$	Impervious area in the Old Berlin city
a_{IND}	the percentage of the industrial and commercial areas within the total urban area
a_P	area specific phosphorus emission from animal excrements and traffic wastes
A_{SEW-C}	total area connected to combined sewers of the Greater Berlin
A_{SEW}	total sewered area of the Greater Berlin,
A_{SW}	area of surface waters within the river catchment
A_{URB}	urban area
$C_{COM_{N,P}}$	nutrient concentration in commercial waste water
$C_{C_{N,P}}$	nutrient concentration in the combined sewer system during overflow
$C_{D_{N,P}}$	nutrient concentrations in runoff water
C_{IN}	nutrient concentration in waste water discharged into sewage farms
$C_{IND_{N,P}}$	nutrient concentration in industrial and commercial waste water
$C_{WWTP_{out}}$	nutrient concentration in effluent of WWTP.
$D_{N,P}$	area specific nutrient emissions
$ED_{N,P}$	nutrient input via diffuse sources
$EIN_{N,P}$	inhabitant specific nutrient output
$EIN_{D_{N;P}}$	inhabitant specific output of dissolved nutrients
E_{OE}	nutrient emissions from overflow water
$EP_{N,P}$	nutrient input via point source [t/a]
E_{runoff}	nutrient emissions from surface runoff on impervious area connected to the separate drainage system
E_{SF}	nutrient emissions from sewage farms
$ES_{IMP_{N,P}}$	specific nutrient emissions from impermeable urban area
$ET_{N,P}$	total nutrient input
$EUN_{N,P}$	nutrient input via people and impervious urban areas not connected to sewers
$EUOS_{N,P}$	nutrient input via paved urban areas and people connected only to sewers
$E_{WWTP_{out}}$	nutrient emissions from WWTP
HL	hydraulic load
$H_{SEW-ext}$	number of houseblocks connected to the sewer system in extension parts
$H_{SEW-ext}$	number of houseblocks connected to the sewer system in the extension part
IN_N	people not connected to sewers

IN_{SO}	people connected only to sewers
$L_{N,P}$	nutrient load
L_{SFin}	nutrient input load into sewage farms
L_y	annual nutrient load via inflow river
N_{DEP}	area specific nitrogen deposition
P_{DEP}	area specific phosphorus deposition
P_{ext}	population in the extension parts
P_{OB}	population of the Old Berlin city
P_{SEW}	population connected to the sewer system
P_{SEW_C}	population connected to the combined sewer system
P_{SEW}	total population connected to the sewer system of the Greater Berlin
P_{SEW_C}	population connected to the combined sewer system
P_Y	annual precipitation
$Q_{COM_{N,P}}$	runoff from commercial areas connected to the sewer system
Q_{flow}	mean annual river flow
Q_{IMP_C}	total water runoff from combined sewer system
q_{inh}	daily waste water output per inhabitant
Q_{IND_C}	runoff from commercial areas connected to the combined sewer system
Q_O	discharge of combined sewer overflow
q_R	rainfall runoff
Q_{SF}	total input waste water to sewage farms
Q_t	total waste water volume of the year
q_{URB_C}	surface runoff from urban area with combined sewer system
Q_{WWTP}	influent discharge of WWTP
$Q_{WW_{URB}}$	total collected waste water in Berlin
$Q_{WWTP\,in}$	total influent of WWTPs
Qy	mean annual river flow
RE	discharge rate of combined sewer overflows
RL_N	load weighted nitrogen retention
$R_{N,P}$	loss or retention of nutrients
$R_{S_{N,P}}$	nutrient retention in soil
R_{SF}	nutrient removal capacity of sewage farm
R_{WWTP}	nutrient removal capacity of WWTP
τ	residence time of water
V_{Lake}	total water volume of surface water bodies
V_S	volume of the specific storage of waste water in the combined sewer system
V_{SEW}	total collected waste water volume of the Greater Berlin per year
W_{TR}	proportion of dissolved human nutrient output transported to waste water treatment plants or other activities
Z_{RD}	number of days with storm water overflows

Abstract

Based on a comprehensive database, the spatial and temporal trends of surface water quality of Berlin and the suroundings catchments of Spree, Dahme and Havel were detected. The transitional points in the course of nutrient development are due to the changes in water supply and drainage system, the sewage farms, the establishment of waste water treatment plants and their technological improvements, the legal and management system. The changes in nutrient removal capacity of sewage farms, technological improvements in waste water treatment plants and the nutrient-related legal requirements are the major driving forces for nutrient emission mitigation in Berlin. Due to intensive anthropogenic impacts, some surface water bodies in Berlin particularly in the Teltowkanal have quite different seasonal variations compared to the natural water bodies. The spatial differentiation of Berlin water bodies is predominantly determined by the inside factors (effluent of waste water treatment plants, overflow water, heat emission from power plants) and inflow waters. Overflow from combined sewer system is the dominant diffuse source in the inner city area. The upstream water quality also contributes to the differentiation in quality of Berlin waters.

This study analyses nutrient emissions by point and diffuses sources and their loads were estimated for the city of Berlin and also for the subcatchment of Upper Havel, Spree and Dahme and the whole Havel catchment over the last 150 years by modelling approaches.

It was found that the present level of nitrogen load is about 4-4.5 times higher than the level in the mid 19th century. Phosphorus load is 3 times higher. In order to reach a “good status” required by the The Water Framework Directive (WFD) corresponds to the phosphorus concentration of 0.1 mg/l, total phosphorus emissions from Berlin must be further reduced. This goal can be reached by the application of new technologies in waste water treament plants as well as new efforts in nutrient mitigation. At present, the runoff from urban area increases the discharge in Berlin’s rivers by one third. But the nitrogen load of these waters doubles the nitrogen load of the sources in the upstream catchments.

Because the surface waters downstream of Berlin possess a high retention capacity for nitrogen and phosphorus is for the freshwater systems the limiting factor it can be concluded that the further reduction of the P load by 40% is the urgent task.

Specific nutrient emission per inhabitant of Berlin depends on the living standards, particularly on the application of P-containing detergents and automatic wash machines or dish washers. The atmospheric nutrient deposition in Berlin is strongly affected not only from the local source, but also the regional and global sources.

The diffuse sources play more and more an important role in nutrient emissions to surface water bodies. The riverine lakes of the lowland river system in Berlin have a high nutrient retention capacity. However, after along time of overloading, their nutrient retention capacities have been degraded, especially for phosphorus. It is shown that these lakes contribute for a transition period by internal loading to the reduced retention in the last decade.

The nutrient loads are being altered due to changes in population growth and distribution, the development of waste water collection (combined and separate sewers) and treatment system (sewage farms and waste water treatment plants), the use of chemicals (P-detergents) and relevant legislation.

Zusammenfassung

Basierend auf einer umfassenden Basis von thematischen Karten, Statistiken und hydrochemischen Beobachtungsdaten werden Hauptmerkmale der Qualität Berliner Gewässer und der Einzugsgebiete ihrer Zuflüsse, Spree, Dahme und Havel, analysiert. Im Focus stehen dabei die räumliche und zeitliche Entwicklung der Nährstoffkonzentrationen und -frachten.

Der zeitliche Verlauf der Nährstoffkonzentrationen wird hauptsächlich durch Änderungen des Wasserdargebots und des Abwassersystems, der Bewirtschaftung von Rieselfeldern, der Einführung von Kläranlagen und deren technologischen Verbesserungen sowie von gesetzlichen Grundlagen bestimmt.

Änderungen in der Aufnahmefähigkeit von Rieselfeldern, technischer Fortschritt in Klärwerken und nährstoffbezogene gesetzliche Anforderungen sind die wichtigsten Ursachen für die Veränderungen der Nährstoffflüsse in den Berliner Gewässern. Die Unterschiede im Grad der anthropogenen Belastungen der Gewässer spiegeln sich deutlich in den jahreszeitlichen Variationen der verschiedenen Berliner Gewässern (insbesondere dem Teltowkanal) wieder, Die räumlichen Unterschiede in der Qualität der Berliner Gewässer wird hauptsächlich von internen Faktoren (Kläranlagen, Überlaufwässer, Aufheizung durch Kraftwerke) aber auch durch die zufließenden Gewässern gesteuert. Der Überlauf des Mischwassersystems stellt dabei die dominierende diffuse Eintragsquelle im innerstädtischen Bereich dar.

Die Untersuchung der Langzeitveränderungen der Nährstoffemissionen aus punktuellen und diffusen Quellen und der Nährstofffrachten in den Flüssen wurde separat für den innerstädtischen Bereich von Berlin und für die Teileinzugsgebiete der Oberen Havel (Pegel Hennigsdorf), der Spree (Pegel Neuzittau und Wernsdorf), der Dahme (Pegel Neue Mühle und Nottekanal) und das Haveleinzugsgebiet unterhalb von Berlin durchgeführt, so daß neben den Veränderungen in den Teilgebieten auch die im gesamten Havelsystem analysiert werden konnten. Als Zeitraum der Analyse der Langzeitveränderungen wurden die zurückliegenden 150 Jahre gewählt, so daß ein Überblick zu den Veränderungen der Nährstoffbelastungen von der vorindustriellen Periode um die Mitte des 19. Jahrhunderts bis zur Gegenwart gegeben werden kann.

Es konnte nachgewiesen werden, dass die derzeitige Stickstofffracht etwa 4-4,5-mal höher ist als in der Mitte des 19. Jahrhunderts. Die gegenwärtige Phosphorfracht liegt dagegen nur 3-mal über denen um 1850. Geht man davon aus, dass um 1850 die Belastungen und die Inanspruchnahme der Berliner Gewässer noch weitgehend einem guten Zustand entsprach und berücksichtigt man darüber hinaus, das der ökologische Zustand der Binnengewässer

vor allem durch die Phosphorbelastung bestimmt wird, so kann man aus den Ergebnissen der Langzeitanalysen ableiten, dass zur Erreichung eines guten Zustandes die Phosphorbelastung noch um ca. 40% gesenkt werden muß. Dieses Ziel kann sowohl durch die Anwendung neuer Technologien in der Abwasseraufbereitung sowie in Anstrengungen zur Verringerung der Nährstoffemissionen erreicht werden. Gegenwärtig liegt der Anteil der Belastungen aus dem innerstädtischen Einzugsgebiet an der Gesamtfracht der Nährstoffe bei ca. einem Drittel, d.h. Maßnahmen zur Reduzierung der Phosphorbelastung müssen sich nicht nur auf Berlin sondern auch auf die Senkung der Frachten in den Zuläufen konzentrieren

Die spezifische Pro-Kopf-Emission von Nährstoffen in Berlin hängt vor allem vom Lebensstandard und für Phosphor insbesondere vom Einsatz phosphorhaltiger Waschmittel für Waschmaschinen oder Geschirrspüler, ab.

Die atmosphärische Deposition von Stickstoff wird nicht nur von lokalen, sondern auch regionalen und globalen Quellen gesteuert.

Diffuse Quellen spielen eine immer entscheidendere Rolle für die Nährstoffemissionen in Oberflächenwasserköper.

Die Flussseen der Berliner Region dagegen verfügen über ein hohes Rückhaltevermögen für Nährstoffe. Allerdings ist nach langjähriger Überfrachtung ihr Rückhaltevermögen, insbesondere für Phosphor, herabgesetzt. Es wird dargelegt, dass die Remobilisierung der Nährstoffe aus diesen Seen in der letzten Dekade zu einer Verminderung der Retentionsleistung dieser Gewässer führt.

Die Nährstofffrachten wiesen in der Vergangenheit Veränderungen auf, die auf Bevölkerungswachstum und veränderte regionale Bevölkerungsverteilung, auf die Entwicklung von Abwassersammel- (Misch- und Trennsystemen) und -aufbereitungssystemen (Rieselfelder und Kläranlagen), auf die Anwendung von Chemikalien (phosphorhaltige Reinungsmittel) sowie auf die Entwicklung gesetzlicher Richtlinien zurückgeführt werden können.

Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die anderen Werken wörtlich oder inhaltlich entnommen sind, wurden durch entsprechende Angaben der Quellen kenntlich gemacht.

Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Berlin, 21 December 2007.

Le Xuan Dinh