

Diss. ETH No. 13989

TRANSPORT AND TRANSFORMATION PROCESSES
IN COMBINED SEWERS

A DISSERTATION SUBMITTED TO THE

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZÜRICH

for the degree of

DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES

presented by

JACCO L. HUISMAN

Chemical Engineer (ir.)
Delft University of Technology
born on Januar 6, 1969
citizen of The Netherlands

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Willi Gujer, examiner
Prof. Dr. Peter Krebs, co-examiner

Zürich, 2001

Abstract

Introduction

Although most people regard the sewer system merely as the transport system for wastewater to the treatment plant, it is actually a biological, chemical and physical reactor. Traditionally, most research efforts in wastewater treatment were directed towards the design and control of wastewater treatment plants. The conversion processes that occur during sewer transport were essentially ignored.

The aim of this work

Recently, urban water management has gained much interest. Urban water management deals with facets of the water cycle related to urbanisation. However, quantitative information about sewer processes is scarce. The purpose of this project was to obtain a more fundamental understanding of the processes that underlie the changes in wastewater properties as this water flows to the wastewater treatment plant. The information is then used to develop a deterministic model. Emphasis is placed on the role of the biofilm or 'slime layer' growing on the sewer wall.

The question addressed by this research project is, 'What is the impact of the sewer system on the wastewater composition?'

Methodology

The full-scale investigations were mainly performed in a two kilometre main sewer. Firstly, the wastewater composition was determined in-line or after sampling and analysis. Secondly, the biofilm properties were determined. Thirdly, an *in situ* flow cell was used to quantify the biofilm activity directly in the sewer. And fourthly, these methods were extended with laboratory measurements of suspended and intact biofilm in a specifically designed flow cell. Finally, a new method for sewer system reaeration measurements based on the inert gas sulphur hexafluoride was introduced and tested. The results formed the foundation for a mechanistic model.

Wastewater concentration changes

The sewer proved to be a highly dynamic system. Concentration changes due to random variations in a time frame of minutes were often larger than the changes due to conversion processes. High frequency sampling (with an interval of two minutes) revealed that consistent and significant changes could be observed only for nitrate, nitrite and oxygen. It is therefore not recommended to quantify the sewer conversion processes by sampling and concentration changes.

Biofilm properties and activity

The sewer biofilm can maintain many physiological microbial groups. Most of the activity in the (aerobic) study reach can be attributed to heterotrophic biomass. The activity of sulphur reducing and oxidising bacteria could be quantified but proved to play only a minor role in the overall oxygen and COD* balance. The shear stress distribution, abrasive force of particles and fats floating on the water induced a clear radial profile of the biofilm biomass. However, the aerobic activity was constant and comparable with a trickling filter biofilm. Only the top layer of the biofilm relied on hydrolysed substrate from the wastewater. The deeper strata used trapped organic particles.

Oxygen balance

The validity of the methods that were adapted and developed was confirmed with a redundant oxygen balance. Further quantification under different hydrodynamic conditions showed that the contribution of the biofilm, wastewater and reaeration oxygen fluxes can vary extensively. The wastewater itself and biofilm contribute significantly to the aerobic conversions. The aerobic total in the study reach was 3%. However, when extrapolated to the entire sewer net of the connected town, the COD conversion was estimated as high as 30% of the dissolved COD during the night.

Sewer model

The experimental results were used to develop a deterministic hydrodynamic and biological sewer model. This model is based on the activated sludge model no. 3 (Gujer *et al.*, 2000). The biofilm mass transfer properties were modelled with the penetration depth approach. This allows for an accurate and fast calculation without many unknown parameters. The model was calibrated and validated for the study reach. It can easily be adapted for sewers with other conditions.

Conclusions

It is not justified to regard the sewers as a transport system only. The influence of the sewer cannot be denied when a large fraction of the wastewater is transformed before it reaches the wastewater treatment plant. Although it does not have the same capacity as the wastewater treatment plant, it should be seen as an extension that should be taken into account when a treatment plant is designed.

*Chemical Oxygen Demand

Zusammenfassung

Einführung

Die Kanalisation wird üblicherweise nur als blosses Transportsystem betrachtet, obwohl sie auch ein biologischer, chemischer und physikalischer Reaktor ist. Die Forschung in der Abwasserreinigung ist traditionell vor allem auf dem Entwurf und die Kontrolle von Kläranlagen ausgerichtet, weshalb quantitative Daten zur Kanalisation fehlen. Die Umwandlungen während des Transportes wurden nicht berücksichtigt. Im Moment steht das Urban Water Management, das das Gesamtsystem betrachtet, im Brennpunkt des Interesses. Die Hauptfrage lautet: "Wie stark beeinflusst die Kanalisation die Eigenschaften des Abwassers?"

Die Ziele dieser Arbeit

In diesem Projekt sollten die Umwandlungsprozesse, denen das Abwasser in der Kanalisation ausgesetzt, untersucht werden. Ziel der Arbeit war ein deterministisches Modell zu erstellen, mit dem die Prozesse in der Kanalisation beschrieben werden können. Besonderes Augenmerk wurde auf den Einfluss des Biofilmes an der Kanalwand gelegt.

Methodik

Die im Grossmassstab durchgeführten Untersuchungen fanden hauptsächlich in einem zwei Kilometer langen Kanal statt. Als erstes wurden die Änderungen in der Abwasserzusammensetzung über die Messstrecke untersucht. Danach wurden die Eigenschaften und Verteilung des Biofilms bestimmt. Als nächstes kam eine Messzelle zum Einsatz, mit welcher direkt die Aktivität des Kanalbiofilms bestimmt werden konnte. Im weiteren wurde im Labor unter kontrollierten Bedingungen die Aktivität der suspendierten Biomasse sowie mit Hilfe einer speziellen Messzelle auch jene des intakten Biofilms gemessen. Zuletzt wurde für die Bestimmung des Gasaustausches eine für die Kanalisation neue Methode eingeführt und überprüft. Die Ergebnisse bildeten die Grundlage für ein Modell im Simulationsprogramm AQUASIM.

Änderungen in der Abwasserzusammensetzung

Die Kanalisation hat sich als ein sehr dynamisches System erwiesen. Zufällige Konzentrationsänderungen waren oft grösser als die Änderungen über die Messstrecke. Probenahmen mit einer hohen Frequenz (in Intervallen von zwei Minuten) ergaben nur konsistente und signifikante Änderungen der Nitrat-, Nitrit- und Sauerstoffkonzentration.

Eigenschaften und Aktivität des Biofilms

Der Biofilm enthält viele physiologisch unterschiedliche mikrobielle Gruppen. Der Hauptanteil der aeroben Aktivität in der (aeroben) Messstrecke ist der heterotrophen Biomasse zuzuschreiben.

Die Aktivität von Schwefel reduzierenden und oxidierenden Bakterien konnte zwar quantifiziert werden, aber sie hatte nur einen kleinen Einfluss auf den gesamten Verbrauch an Sauerstoff und CSB[†]. Die kombinierten Effekte von Schubkraft, Reibung von Partikeln und Fetten im Abwasser verursachten eine klare Verteilung der Biomasse an der Wand über den Kanalquerschnitt. Die aerobe Aktivität war jedoch konstant und vergleichbar mit der eines Tropfkörpers. Nur die äussere Schicht des Biofilms war abhängig vom gelösten Substrat aus dem Abwasser. Die Biomasse in den tieferen Schichten zehrte die eingefangenen Schmutzstoffe.

Sauerstoffbilanzierung

Die Richtigkeit der angewandten Messmethoden wurde mit einer redundanten Sauerstoffbilanz überprüft. Weitere Quantifizierungen unter verschiedenen hydrodynamischen Bedingungen ergaben, dass sowohl der Beitrag des Biofilms, des Abwassers, als auch die Wiederbelüftung durch die Wasseroberfläche an der Gesamtbilanz ganz verschieden sein konnten. Sowohl die Biomasse im Biofilm als auch jene im Abwasser trugen zum Sauerstoffverbrauch bei. Der aerobe CSB-Abbau in der Messstrecke lag im Durchschnitt bei 3%. Wenn dieser jedoch auf das Gesamtnetz des angeschlossenen Ortes extrapoliert wird, belüftet sich die CSB-Umwandlung auf bis zu 30% des gelösten CSBs während der Nacht.

Kanalisationsmodell

Mit den Versuchsergebnissen wurde ein deterministisches Modell der hydrodynamischen und biologischen Vorgänge im Kanal entwickelt, welches auf dem "Activated Sludge Model No. 3" (Gujer *et al.*, 1999) beruht. Die Stofftransportvorgänge im Biofilm wurden mit dem Ansatz der Penetrationstiefe berechnet. Dieser erlaubt eine gute und schnelle Bestimmung der Vorgänge, ohne dass viele (unbekannte) Parameter berücksichtigt werden müssen. Dieses Modell wurde für die untersuchte Messstrecke kalibriert und validiert. Es kann leicht an andere Kanäle und Bedingungen angepasst werden.

Schlussfolgerungen

Die Kanalisation ist mehr als ein reines Transportsystem. Der Einfluss der Kanalisation auf das Abwasser kann nicht vernachlässigt werden, weil ein beträchtlicher Anteil der Abwasserinhaltsstoffe umgewandelt wird, bevor sie in die Kläranlage gelangen. Obwohl die Abbaukapazität sicher nicht diejenige der Kläranlage erreicht, sollte ihr Einfluss auf die Dimensionierung von Kläranlagen in Betracht gezogen werden.

[†] Chemischen Sauerstoffbedarf