

68/2002

Raport Badawczy

RB/68/2002

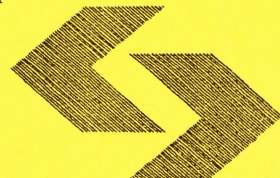
Research Report

**Modele matematyczne
elementów systemu
gospodarki wodno-ściekowej
miasta**

J. Studziński, L. Bogdan

**Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk**

**Systems Research Institute
Polish Academy of Sciences**



POLSKA AKADEMIA NAUK

Instytut Badań Systemowych

ul. Newelska 6

01-447 Warszawa

tel.: (+48) (22) 8373578

fax: (+48) (22) 8372772

Kierownik Pracowni zgłaszający pracę:
Prof. dr hab. inż. Zbigniew Nahorski

Warszawa 2002

Instytut Badań Systemowych PAN

Raport

**Modele matematyczne elementów systemu gospodarki wodno-
ściekowej miasta**

Pod redakcją Jana Studzińskiego i Lucyny Bogdan

Warszawa 2002

Raport składa się z dwóch części: W Części I opisano realizowane i planowane do realizacji w przyszłości zagadnienia dotyczące zarządzania miejską gospodarką wodno-ściekową na podstawie modeli matematycznych obiektów wodociągowo-kanalizacyjnych. W Części II zamieszczono 2 nieopublikowane artykuły, zawierające częściowe wyniki badań opisanych w Części I i dotyczących modelowania mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków. Artykuły te, które mają się ukazać w książce pt. *Theorie und Modellierung von Oekosystemen*, w serii *Umweltinformatik*, publikowanej przez Shaker-Verlag w Aachen pod redakcją A. Gnaucka, są następujące:

1. *Von der Modellierung dynamischer Prozesse in Klaeranlagen* (autorstwa J. Studzińskiego, L. Bogdan i Z. Nahorskiego, oraz
2. *Entwicklung eines Computersystems zur Modellierung, Simulation und Optimierung von Klaerprozessen in Klaeranlagen* (autorstwa J. Studzińskiego, J. Łomotowskiego, L. Bogdan, Z. Nahorskiego i R. Szeteli).

Spis treści

Część I:

Zarządzanie miejską gospodarką wodno-ściekową na podstawie modeli matematycznych obiektów wodociągowo-kanalizacyjnych.....	4
--	---

Część II:

Artykuły:

1. Von der Modellierung dynamischer Prozesse in Kläranlagen (<i>J. Studziński, L. Bogdan, Z. Nahorski</i>).....	15
2. Entwicklung eines Computersystems zur Modellierung, Simulation und Optimierung von Kläerprozessen in Kläranlagen (<i>J. Studziński, J. Łomotowski, L. Bogdan, Z. Nahorski, R. Szetela</i>).....	29

ENTWICKLUNG EINES COMPUTERSYSTEMS ZUR MODELLIERUNG, SIMULATION UND OPTIMIERUNG VON KLÄRPROZESSEN IN KLÄRANLAGEN

J. Studziński¹ und J. Lomotowski² und L. Bogdan¹ und Z. Nahorski¹ und
R. Szetela³

¹Polnische Akademie der Wissenschaften, Institut für Systemforschung, Warszawa
Newelska 6, PL 01-447 Warszawa, Email: studzins@ibspan.waw.pl

²Landwirtschaftliche Akademie Wroclaw, Institut für Engineering in Landwirtschaft
Dicksteina 3, PL 51-617 Wroclaw

³Technische Hochschule Wroclaw, Institut für Engineering in Umweltschutz
Pl.Grunwaldzki 9, PL 50-377 Wroclaw

Zusammenfassung. In dem Vortrag ist eine Beschreibung des computergestützten Systems dargestellt, das zur mathematischen Modellierung, Optimierung und Steuerung einer mechanisch-biologischen Kläranlage anzuwenden ist. Eine Innovation bei der Entwicklung des Systems besteht darin, daß es sich an dem mathematischen Modell des in der Kläranlage bestehenden technologischen Klärprozesses stützt und *eine aktive Steuerung* der Kläranlage betreiben wird, wobei die bisherigen in den Kläranlagen angewandten Computersysteme keine Prozessmodelle benutzen und *eine passive Steuerung* von Objekten im Sinne der klassischen Automatisierung unter der Berücksichtigung der festgelegten Soll-Werte ausführen. Einige Resultate der mathematischen Modellierung und computergestützten Simulation der untersuchten Kläranlage sind gezeigt. Das Ziel des Vortrages ist, eine neue Richtung bei der computergestützten Steuerung von Klärprozessen zu signalisieren und zugleich eine Diskussion zum Thema der Computerisierung von modernen Kläranlagen hervorzurufen.

Einführung

Die klassischen Steuerungsalgorithmen, die in den biologischen Kläranlagen üblicherweise angewandt werden, bedeuten *Stabilisierung* des bestehenden Klärprozesses anhand der online Messungen und der voreingestellten Soll-Werte von ausgewählten Prozessparametern. Diese stabilisierten Prozessparameter sind normalerweise der Sauerstoffpegel in den Belebungsbecken und die Rezirkulationsstärke bei der internen bzw. externen Rezirkulation des Abwassers bzw. des Belebtschlammes. Ein solches Stabilisierungsverfahren ist aber unzureichend in dem Fall, wenn in der in dieser Weise gesteuerten Kläranlage sehr instationäre Prozessverhältnisse herrschen, d.h. wenn große Veränderungen der Abwasserzuflüßmengen und der Schmutzstoffladungen in dem Abwasser stattfinden.

Unsere im Rahmen eines Forschungsprojektes entwickelte Idee war also, die Steuerung von Kläranlagen anhand der mathematischen Modellierung und der Computersimulation der in der untersuchten Kläranlage auftretenden Prozesse zu realisieren, wobei wir uns hier an den physikalisch bedingten Modellen des gesamten technologischen Klärprozesses und dessen Teilprozesse, an den Modellen zur Vorhersage des Abwasserzuflüßverlaufes und an den Operationsmodellen zur Entwicklung der auszuführenden Steuerentscheidungen stützen möchten.

Die physikalisch bedingten Modelle von Kläranlagen zeichnen sich dabei durch die folgenden Merkmale aus:

- sie basieren an den physikalischen, chemischen und biologischen Grundsätzen und deren Gleichungen werden aufgrund der Masse- und Energieerhaltungssätzen entwickelt, wodurch die in den Modellen auftretenden Parameter eine physikalische Erklärung bzw. Bedeutung haben,
- sie werden schon seit Jahren entwickelt (Activated Sludge Model No. 1 and No. 2 in [3,4]) und dadurch schon verhältnismäßig rechnerisch getestet,
- sie dienen z.Z. v.a. zur besseren Erkennung und Erklärung der in den Kläranlagen auftretenden Ereignisse bzw. Prozesse,
- sie finden z.Z. nur eine begrenzte Anwendung in der Praxis wegen ihrer großen Komplexität und der daraus resultierenden Rechenschwierigkeiten, insbesondere bei der Identifizierung im Sinne der Bestimmung der Parameterwerte.

Das hier beschriebene Computersystem wird im Rahmen eines durch das polnische Forschungsministerium finanzierten Forschungsprojektes durch das Institut für Systemforschung der Polnischen Akademie der Wissenschaften in Warschau in der engen Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftsakademie und der Technischen Hochschule in Breslau entwickelt und an einer in Süd-Polen in der Stadt Rzeszow betriebenen mechanisch-biologischen Kläranlage getestet.

Das untersuchte Objekt

Im Laufe der Untersuchung an der Rzeszower Kläranlage wurde das Objekt ausgebaut und modernisiert, d.h. wurde seine Leistung erhöht und der technologische Prozess der Abwasserklärung geändert und erweitert. Dank dieser Tatsache konnten wir zuerst mit der Modellierung und Steuerung eines einfacheren Objektes anfangen und danach die entwickelten Modelle und Algorithmen schrittweise erweitern, was die Forschungsarbeiten wesentlich erleichterte.

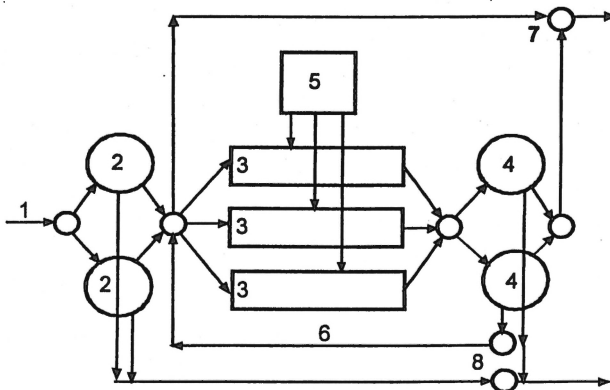


Bild 1. Schema der alten Kläranlage: 1 - Abwasserzufluß; 2 - 2 Vorklärbecken; 3 - 3 Belebungsbecken; 4 - 2 Nachklärbecken; 5 - Gebläsenkammer; 6 - externe Rezirkulation; 7 - Abfluß des geklärten Abwassers; 8 - Abfluß des Roh- und Belebtschlammes.

Die Leistung der alten Kläranlage betrug 35 000 m³ Abwasser/Tag und die Kläranlage bestand aus den folgenden Objekten (siehe Bild 1):

- Pumpenstation am Eingang der Kläranlage
- Gitterkammer
- 2 Sandbecken mit Luftaufblasen
- 2 Vorklärbecken
- 3 parallele Belebungsbecken mit Luftaufblasen zur Nitrifikation des Abwassers
- Gebläsenkammer
- 2 Nachklärbecken
- externe Rezirkulation des Belebtschlammes.

Das Rzeszower Abwasser hat die typischen Eigenschaften eines kommunalen Abwassers, das durch eine Stadt ohne große bzw. spezialisierte Industrie produziert wird. In Tabelle 1 wurden die Hauptparameter des Rzeszower Abwassers angezeigt.

Tabelle 1. Daten des Rzeszower Abwassers.

Abwasser-Parameter	Meßeinheit	Kleinst-Wert	Mittelwert	Höchstwert
Zuflußstärke	m ³ /d		35 000	
feste Suspensionskörper	g/m ³	84.0	309.2	349.1
BSB ₅	gO ₂ /m ³	80.0	416.8	770.0
CSB	gO ₂ /m ³	325.0	507.6	753.0
Ammonium	gN/m ³	14.0	28.3	40.0
Gesamtstickstoff	gN/m ³	29.0	52.9	81.0
Gesamtphosphor	gP/m ³		15.1	
Gesamtschwefel	gS/m ³		94.2	

Die in der alten Kläranlage realisierte Abwasserklärung war dreistufig und sie bestand grundsätzlich aus der mechanischen Entfernung der festen Abwasserpartikeln in der Vorklärbecken, der biologischen Reduzierung der organischen Kohlenstoff- und ausgewählten Stickstoffkomponenten in den Belebungsbecken und aus der wiederum mechanisch bedingten Separation des geklärten Abwassers und des Belebtschlammes in den Nachklärbecken.

Der schrittweise dargestellte Verlauf des Klärprozesses ist folgendes:

- Entfernung der festen Schmutzstoffpartikeln aus dem Abwasser in der Gitterkammer und anschließend in den Sandbecken;
- gravitationsbedingte Sedimentation der festen und organischen Schmutzstoffpartikeln in den Vorkläbecken;
- biologische Dekomposition der organischen Schmutzstoffelemente in den Belebungsbecken unter dem Einfluß der Sauerstoffbakterien und bei der Erzeugung der aeroben Verhältnisse infolge des anhaltenden Luftaufblasen der Belebungsbecken; die aerobischen Verhältnisse rufen die Prozesse der Anfangsnitrifikation (Nitrifikation 1. Stufe) hervor, die zur Reduzierung der Kohlenstoffe und der ersteren Stickstoffkomponenten (Ammonium wird in Nitrite umgewandelt) führen;

- gravitationsbedingte Klärung des Abwassers in den Nachklärbecken.

Infolge der durchgeführten Modernisierungsarbeiten wurde in der alten Kläranlage vor allem der technologische Klärprozess so geändert, daß die neue Kläranlage imstande ist, die volle biologische Abwasserklärung aufgrund der Nitrifikation 1. und 2. Stufe, der Denitrifikation und der Dephosphotierung auszuführen. Infolge dessen werden nun aus dem Abwasser sowohl die Kohlenstoffe, wie auch alle Stickstoff- und Phosphorkomponenten entfernt. Die umgebaute Kläranlage ist in Bild 2 dargestellt.

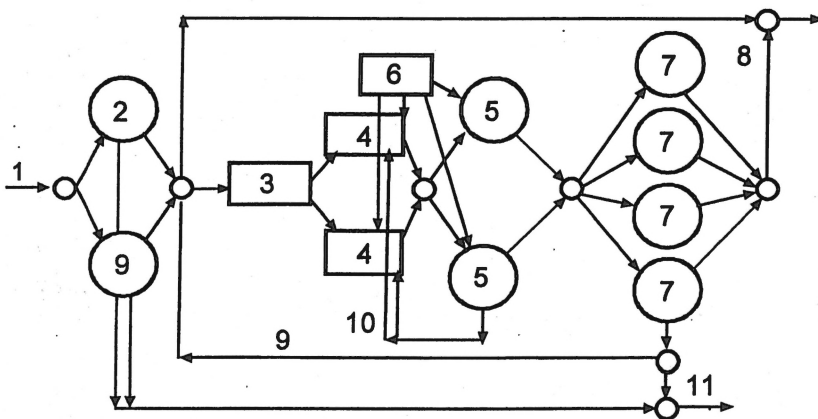


Bild 2. Schema der modernisierten Kläranlage. 1 - Abwasserzufluß; 2 - 2 Vorklärbecken; 3 - Dephosphotierungsbecken; 4 - 2 Belebungsbecken zur Denitrifikation und Nitrifikation 1. Stufe; 5 - 2 Belebungsbecken zur Nitrifikation 2. Stufe; 6 - Gebläsenkammer; 7 - 4 Nachklärbecken; 8 - Abfluß des geklärten Abwassers; 9 - externe Rezirkulation des Belebtschlammes; 10 - interne Rezirkulation des Abwassers; 11 - Abfluß des Roh- und Belebtschlammes.

Die Leistung der neuen Kläranlage beträgt 75 000 m³ Abwasser/Tag und die Kläranlage besteht nun aus den folgenden Objekten:

- Pumpenstation am Eingang der Kläranlage
- Gitterkammer
- 2 Sandbecken mit Luftaufblasen
- Ausgleichsbecken (5 000 m³)
- 2 Vorklärbecken (2 x 4 000 m³)
- Belebungsbecken ohne Luftaufblasen zur Dephosphotierung des Abwassers (3 000 m³)
- 2 Belebungsbecken mit getrennten Zonen ohne Luftaufblasen zur Denitrifikation des Abwassers (2 x 3 000 m³) und mit Luftaufblasen zur Nitrifikation 1. Stufe des Abwassers (2 x 3 000 m³)
- 2 Belebungsbecken mit Luftaufblasen zur Nitrifikation 2. Stufe des Abwassers (2 x 6 000 m³)
- Gebläsenkammer

- 4 Nachklärbecken (4 x 5 000 m³)
- interne und externe Rezirkulationen des Abwassers und des Belebtschlammes.

Die in der neuen Kläranlage realisierte Abwasserklärung ist sechsstufig (mechanische Sedimentation der festen Abwasserpartikeln in der Vorklärbecken, biologische Reduzierung der organischen Kohlenstoffe und der ersteren und weiteren Stickstoffkomponenten in den Nitrifikationsbecken, biologische Reduzierung der Endprodukte der Stickstoffumwandlung in den Denitrifikationsbecken, biologische Reduzierung der Phosphorkomponenten in den Dephosphotierungsbecken, mechanische Abwasserklärung in den Nachklärbecken) und der schrittenweise dargestellte Verlauf des neuen Klärprozesses ist folgendes:

- Entfernung der festen Schmutzstoffpartikeln aus dem Abwasser in der Gitterkammer und anschließend in den Sandbecken;
- gravitationsbedingte Sedimentation der festen und organischen Schmutzstoffpartikeln in den Vorkläbecken;
- biologische Dekomposition der Phosphorbestandteile des Abwassers in den Dephosphotierungsbecken unter den anaeroben (sauerstofffreien) Verhältnissen;
- biologische Dekomposition der Endprodukte der Stickstoffumwandlung in der Denitrifikationszone der Belebungsbecken unter den anoxischen (sauerstoffarmen) Verhältnissen infolge des Denitrifikationsprozesses (Nitrate werden in Gasform des Stickstoffs verwandelt);
- biologische Dekomposition der Kohlenstoffe und des Ammoniums (Ammonium wird in Nitrite umgewandelt) in der Nitrifikationszone der Belebungsbecken unter den aeroben (sauerstoffreichen) Verhältnissen infolge der Nitrifikation 1. Stufe;
- biologische Dekomposition der Kohlenstoffe und der Nitrite (Nitrite werden in Nitrate umgewandelt) in der Nitrifikationszone der Belebungsbecken unter den aeroben Verhältnissen infolge der Nitrifikation 2. Stufe;
- gravitationsbedingte Klärung des Abwassers in den Nachklärbecken.

Beschreibung des bearbeiteten Computersystems

Das bearbeitete Computersystem hat eine modulare Struktur, wobei die einzelnen funktionsbedingten Module zur Ausführung unterschiedlicher Aufgaben bestimmt sind (siehe Bild 3). Eine solche Modulstruktur des Systems ermöglicht dessen einfache Erweiterung um neue Funktionen in der Zukunft.

Die Aufgaben der einzelnen Module und die Funktionierung des gesamten Systems sind wie folgt:

- die Daten aus dem in der Kläranlage realisierten technologischen Prozess werden online automatisch anhand des Monitoringssystems und auch teilweise mit der Hand laboratorisch gemessen
- die Datenbank archiviert und verarbeitet statistisch die gewonnenen Daten
- anhand der Daten werden dann operative Vorhersage- und Prozessmodelle entwickelt
- anhand der entwickelten operativen Modelle und der Prozessdaten werden die Steuerentscheidungen zur Führung der Kläranlage errechnet
- diese Steuerentscheidungen werden anschließend anhand des physikalischen Modells mit Hilfe der Simulationsberechnungen verifiziert

- nach der erfolgreichen Verifizierung werden die Steuerentscheidungen in der Kläranlage eingesetzt und wenn die Verifizierung erfolglos durchgelaufen ist, werden die errechneten Steuerentscheidungen abgelehnt und wird es nach den neuen gesucht.

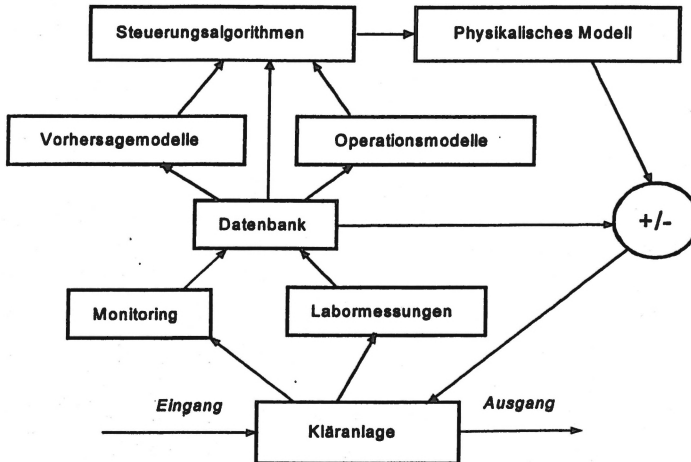


Bild 3. Blockschema des Computersystems.

Unter den operativen Modellen werden solche verstanden, die eine einfache mathematische Beschreibung besitzen und schnell und einfach berechenbar sind, z.B. die Modelle, die aufgrund der neuronalen Netzen bzw. der Zeitreihenanalyse entwickelt sind. Die Einfachheit der Modelle und die Möglichkeit deren schneller Erstellung sind hier ihr Vorteil, wobei keine große Genauigkeit ihr Nachteil ist. Aus diesem Grunde wird hier die zweite Stufe der Entwicklung von Steuerentscheidungen berücksichtigt, d.h. die anschließende Anwendung eines physikalischen Modells. Ein solches Modell ist sehr kompliziert, dessen Erstellung ist arbeitsaufwendig und seine Simulation ist zeitraubend, wodurch nicht möglich ist, eine große Anzahl von Simulationsläufen des Modells durchzuführen. Es garantiert aber eine große Genauigkeit der Berechnung und taugt also gut zur Prüfung der Resultate, die mit anderen Methoden erzielt worden sind.

Die bisherigen Resultate der Untersuchung

Bis jetzt wurden die folgenden Resultate unserer Arbeit erzielt:

- ein Monitoringssystem zur automatischen Aufzeichnung, Archivierung und Visualisierung von Hauptparametern des technologischen Klärprozesses wurde geplant und in Betrieb genommen [6]
- die Datenbank der Kläranlage wurde mit den Meßdaten aus dem Monitoringssystem und aus den zusätzlichen Laborprüfungen gefüttert

- ein aktives Experiment wurde geplant und an der alten Kläranlage unter Anwendung eines aktiven Eingangssignals durchgeführt [5]
- hydrologische Modelle für die Vorklärbecken, Belebungsbecken und Nachklärbecken der alten Kläranlage wurden in der Form der gewöhnlichen Differentialgleichungen anhand der gewonnenen Meßdaten entwickelt; diese Modelle ermöglichen die Errechnung der aktiven Volumenwerte der genannten Subobjekte der Kläranlage, die sich in der Praxis von den geometrischen Volumenwerten dieser Subobjekte sehr unterscheiden [1]
- das physikalische Modell der alten Kläranlage wurde entwickelt; das Modell besteht aus ca. 300 gewöhnlicher Differentialgleichungen, die mit einem Runge-Kutta-Verfahren berechnet werden [7]
- das physikalische Modell wurde aufgrund der gewonnenen Meßdaten und der früher errechneten aktiven Volumenwerte der einzelnen Subobjekte der Kläranlage per Hand kalibriert, d.h. seine Parameterwerte wurden solcherweise bestimmt, daß die errechneten Ausgangswerte des Modells mit den gemessenen Ausgangswerten des Objektes unter Annahme eines Toleranzwertes übereinstimmen; einige der Parameterwerte wurden dabei aus der Literatur entnommen [2].
- operative Vorhersage- und Prozessmodelle unter Anwendung der neuronalen Netze wurden entwickelt und anhand der gewonnenen Daten getestet [2].

In den folgenden Bildern und Tabellen wurden einige der gewonnenen Meßdaten und der mit deren Hilfe erzielten Resultate dargestellt.

Das entwickelte physikalische Gesamtmodell besteht aus den Submodellen, die die Vorklärbecken, Belebungsbecken und Nachklärbecken der Kläranlage abbilden. Die Vorklärbecken wurden in Form der Behälter mit der Idealmischung des Abwassers modelliert, die Belebungsbecken wurden auch als Behälter mit der Idealmischung des Abwassers betrachtet, in denen gewisse biologische Prozesse der Schmutzstoffzerlegung stattfinden, und die Nachklärbecken wurden in Form der Zwei-Zonen-Behälter mit der Schichtengliederung des Gesamtvolumens des Abwassers abgebildet, wobei das geklärte Abwasser sich im Oberteil des Behälters und der abgesonderte Belebtschlamm sich im Unterteil des Behälters sammelt.

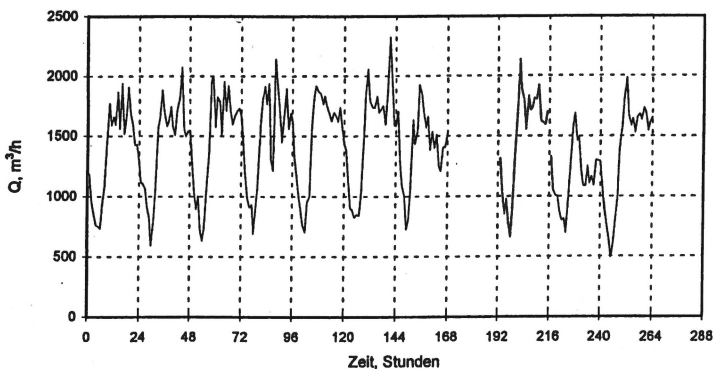


Bild 4. Beispielhafte Meßdaten zum Abwasserzufluß.

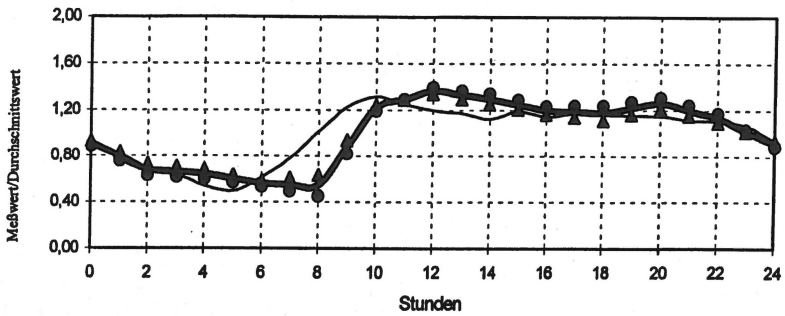


Bild 5. Verlaufskurven des Zuflusses (*dünne Linie*) und der organischen Fraktion im zufließenden Abwasser.

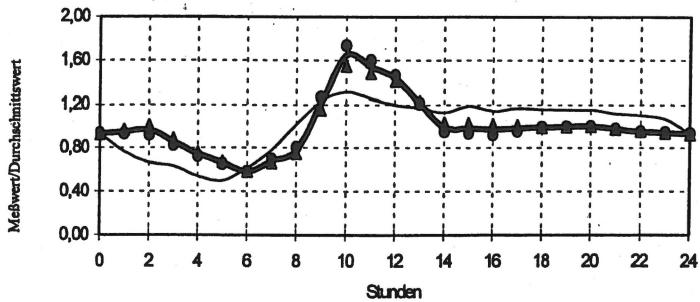


Bild 6. Verlaufskurven des Zuflusses (*dünne Linie*) und der Stickstoff-Fraktion im zufließenden Abwasser.

Tabelle 2. Errechnete aktive Volumenwerte in der Kläranlage in [m³]; LR bzw. NLR – Methode linearer bzw. nichtlinearer Regression

Errechnungsmethode	Vorklärbecken	Belebungsbecken	Nachklärbecken	
			Oberteil	Unterteil
LR	5 676	11 246	4 723	6 303
NLR	6 283	12 087	4 612	6 514
Mittelwert (1)	5 980	11 667	4 668	6 408
geom. Volumen (2)	7 820	13 500	11 060	
(1):(2) in [%]	76,5	86,4	~ 100	

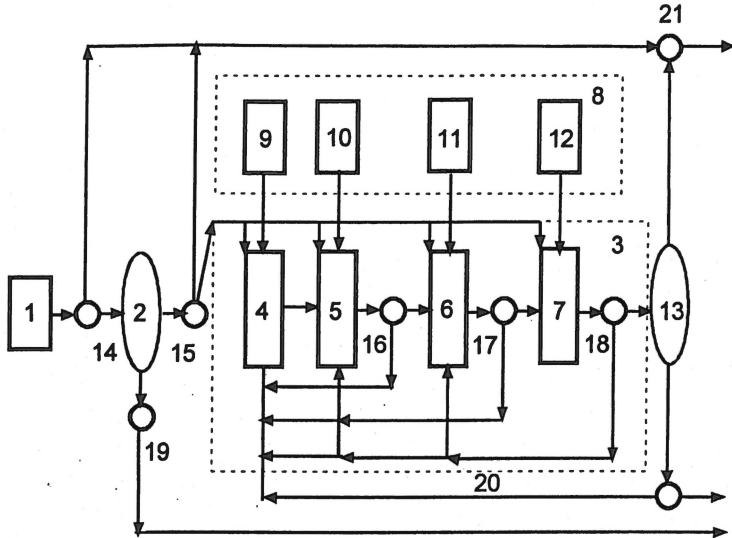


Bild 7. Blockschema des physikalischen Modells: 1 - Modelleingang; 2 - Vorklärbecken; 3 - Modul der Belebungsbecken; 4, 5, 6, 7 - einzelne Belebungsbecken; 8 - Gebläsesystem; 9, 10, 11, 12 - Regler; 13 - Nachklärbecken; 14 - Rohabwasser; 15 - mechanisch geklärtes Abwasser; 16, 17, 18 - interne Rezirkulation des Abwassers; 19 - Rohschlamm; 20 - externe Rezirkulation des Belebtschlammes; 21 - Modellausgang.

In den modellierten Vorklärbecken erfolgt die Teilung der ankommenden Schmutzstoffladung in die folgenden Schmutzstoffkomponenten:

- CSB-Fractionen:

- biologisch schnell zerlegbare Fraktion $s_s = 0.1608$ CSB
- biologisch langsam zerlegbare Fraktion $x_s = 0.4384$ CSB
- aufgelöste neutrale Fraktion $s_I = 0.0451$ CSB
- ausgesetzte neutrale Fraktion $x_I = 0.3557$ CSB

- Stickstoff-(N_{og})-Fractionen:

- Ammonium $s_{NH} = 0.7845$ N_{og}
- aufgelöster organischer Stickstoff $s_{ND} = 0.0616$ N_{og}
- ausgesetzter organischer Stickstoff $x_{ND} = 0.1539$ N_{og}

- ausgesetzte feste Körper: $z_m = 0.2927$ Z_{og}

wobei Z_{og} gesamte Suspensionsladung bedeutet.

In den modellierten Belebungsbecken finden die folgenden biologischen Grundprozesse statt:

- Hydrolyse
- Wachstum und Verfall der Biomasse
- aerobisch bedingte Entfernung der organischen Kohlenstoffe
- Nitrifikation
- Denitrifikation

Inbesondere beschreibt das physikalische Modell die folgenden Einzelprozesse:

- aerobisch bedingter Zuwachs der Heterotrophe mit der Stickstoffassimilation aus NH_4^+
- aerobisch bedingter Zuwachs der Heterotrophe mit der Stickstoffassimilation aus NO_3^-
- anoxisch bedingter Zuwachs der Heterotrophe mit der Stickstoffassimilation aus NH_4^+
- anoxisch bedingter Zuwachs der Heterotrophe mit der Stickstoffassimilation aus NO_3^-
- aerobisch bedingter Zuwachs der Autotrophe
- Verfall der Heterotrophe
- Verfall der Autotrophe
- Ammonifizierung des aufgelösten organischen Stickstoffes
- Hydrolyse,

und die Umwandlung der folgenden Schmutzstofffraktionen:

- biologisch schnell zerlegbare Fraktion
- aufgelöste organische neutrale Fraktion
- Ammonium
- Nitrat
- aufgelöster organischer Stickstoff
- aufgelöster Sauerstoff
- Alkalinität
- biologisch langsam zerlegbare organische Fraktion
- organische neutrale Suspensionsfraktion
- die aus den heterotrophischen Bakterien bestehende Biomasse
- die aus den autotrophischen Bakterien bestehende Biomasse
- die aus den verfallenden Organismen bestehende organische neutrale Fraktion
- organische aktive Suspensionsfraktion
- ausgesetzte Mineralien.

In den modellierten Nachklärbecken wurden die gleichen Schmutzstoffkomponenten berücksichtigt, die auch in den Vorklärbecken berücksichtigt worden sind.

In dem entwickelten physikalischen Modell des technologischen Klärprozesses sind bis auf die Dephosphotierung alle biologischen Prozesse der Schmutzstoffzerlegung berücksichtigt, die auch in der neuen Kläranlage stattfinden, wobei der modulare Aufbau des Modells seine spätere Erweiterung möglich macht.

Tabelle 3. Resultate der Kalibration für die Vorklärbecken.

Parameter	Meßeinheit	Meßdaten	Model	Abweichung in [%]
feste Suspensionskörper	g /m ³	163	162	0.6
Suspensionsminerale	g /m ³	60	47	22
BSB ₅	g O ₂ /m ³	186	188	1
CSB	g O ₂ /m ³	448	451	0.7
Ammonium	g N/m ³	29.3	26.3	10
Gesamtstickstoff	g N/m ³	39.3	32.0	19
Alkalinität	val/m ³	8.3	7.9	5

Tabelle 4. Resultate der Kalibration für die Belebungsbecken.

Parameter	Meßeinheit	Meßdaten	Model	Abweichung in [%]
Biomasse	g /m ³	3815	3890	2
Belebtschlammalter	d	10.2	10.0	2
BSB ₅	g O ₂ /m ³	18	18.3	2
CSB	g O ₂ /m ³	53	53.6	1
Ammonium	g N/m ³	26.3	24.2	8
Gesamtstickstoff	g N/m ³	32.1	26.1	12
Alkalinität	val/m ³	7.9	7.7	3

Tabelle 5. Resultate der Kalibration für die Nachklärbecken.

Parameter	Meßeinheit	Meßdaten	Model	Abweichung in [%]
feste Suspensionskörper	g /m ³	19	19	0%
Suspensionsminerale	g /m ³	14	7	50%
BSB ₅	g O ₂ /m ³	19	23	21%
CSB	g O ₂ /m ³	55	81	47%
Ammonium	g N/m ³	24.9	24.2	3%
Gesamtstickstoff	g N/m ³	28.1	26.9	4%
Alkalinität	val/m ³	8.1	7.7	5%
rezirkulierter Schlamm	g /m ³	5719	6090	6%

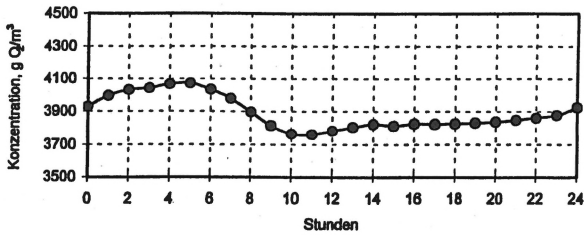


Bild 8. Gemessene (*dünne Linie*) und errechnete Konzentration der Biomasse in den Belebungsbecken.

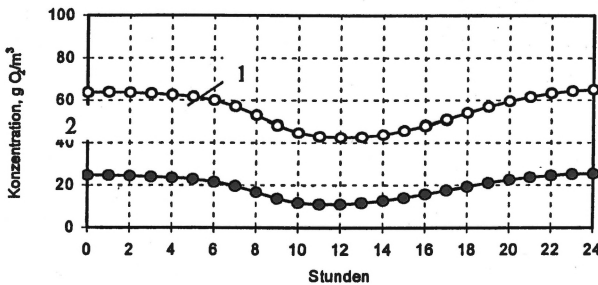


Bild 9. Gemessene (*dünne Linie*) und errechnete Konzentration der organischen Fraktionen in den Belebungsbecken. 1 – CSB, 2 – BSB;

Schlußfolgerungen

Das oben beschriebene Computersystem ist noch nicht fertig und zur dessen Vollendung sollen noch die folgenden Tätigkeiten durchgeführt werden;

- Ausführung eines aktiven Meßexperimentes an der neuen Kläranlage unter Anwendung eines aktiven Eingangssignals
- Entwicklung von hydrologischen Modellen für die separaten Belebungsbecken und für die Nachklärbecken der neuen Kläranlage anhand der gewonnenen Meßdaten; mit diesen Modellen werden neue aktive Volumina in der Kläranlage bestimmt
- Entwicklung des physikalischen Modells der neuen Kläranlage unter Berücksichtigung der Prozesse der Phosphorentfernung aus dem Abwasser
- Kalibration des neuen physikalischen Modells per Hand bzw. automatisch im Fall der angewählten Modellparameter

- Entwicklung der Modelle zur Vorhersage des Zuflusses und der Schmutzstoffladungen in dem zufließenden Abwasser anhand der online gemessenen Daten; als die Beschreibungsform der Modelle werden hier neuronale Netze und die Zeitreihen in Betracht genommen
- Entwicklung der operativen Modelle des neuen technologischen Prozesses und der entsprechenden Subprozesse für die Vorklärbecken, Belebungsbecken und Nachklärbecken anhand der online gemessenen Daten und unter Anwendung von neuronalen Netzen
- Entwicklung der Steuerungsalgorithmen anhand der entwickelten operativen Prozessmodelle.

Insbesondere bei der Entwicklung der Vorhersage-Modelle und der Erweiterung des physikalischen Modells können Probleme auftreten, da hier noch keine praktische Erfahrungen zur Verfügung stehen. An der anderen Seite sind aber die bisher erzielten Resultate sehr vielversprechend: die anhand der Daten aus dem Meßexperiment errechneten aktiven Volumen zeigen große Unterschiede den geometrischen Volumen gegenüber (Tabelle 2), was von großer Bedeutung der hydrologischen Modelle spricht, und die Kalibrationsresultate zeigen auf eine sehr gute Anpassung des jetzigen physikalischen Modells an die alte Kläranlage hin (Tabellen 3,4,5 und Bilder 6,7), was eine Richtigkeit der durchgeführten Modellierung beweist.

Literatur

1. Bogdan L., Nahorski Z., Łomotowski J., Studzinski J., Szetela R. (2000) Modelling and calibration of a municipal wastewater treatment process model. *System Science*, Vol. 26, No. 2, pp. 125-144.
2. Bogdan L., Łomotowski J., Nahorski Z., Studzinski J., Szetela R. (2000) Mathematical and neural network modelling of a wastewater treatment plant. *Archives of Control Sciences*, Vol. 10, No. 1-2, pp. 89-118.
3. Henze, M., Grady Jr., C.P.L., Marais, G.R., Matsuo, T. (1987): Activated Sludge Model No. 1. IAWPRC Scientific and technical Reports No. 1, IAWPRC London.
4. Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Matsuo, T., Wentzel, M.C., Marais, G.R. (1995): Activated Sludge Model No. 2. IAWQ Scientific and Technical Reports No. 3, IAWQ London.
5. Nahorski, Z. (1996): Experimentenplanung zur Modellidentifikation hydraulischer Objekte in der Kläranlage in Rzeszow. Report 19/9/S-10/96, IBS PAN, Warszawa (*in Polish*).
6. Studzinski, J., Skaskiewicz, A. (1996): Von dem Computersystem zur Visualisierung der Meßdaten und von der Durchführung der Messungen in der Kläranlage Rzeszow. Report 15/5/S-9/96, IBS PAN, Warszawa (*in Polish*).
7. Szetela, R. (1990): Ein dynamisches Modell der mit Belebtschlamm betriebenen Kläranlage. Prace Naukowe Instytutu Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej nr 64, Seria: Monografie nr 32, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław (*in Polish*).

