

Diss. ETH 5569

**SYSTEMANALYSE DES BELEBTSCHLAMMVERFAHRENS
IM HINBLICK AUF SEINE OPTIMALE REGELUNG**

ABHANDLUNG

zur Erlangung

des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften
der

EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN
HOCHSCHULE ZUERICH

vorgelegt von

PETER EDUARD ERNI

Dipl.-EL.-Ing. ETH Zürich
geboren am 16. August 1945
von Baden (Kt. Aargau)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. M. Mansour, Referent
Prof. Dr. W. Stumm, Korreferent

Clausthal-Zellerfeld
Böneck-Druck
1975

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden einige Voraussetzungen für eine adaptive Regelung einer Belebtschlammkläranlage untersucht und erarbeitet. Eine Kläranlage kann nur adaptiv geregelt werden, da die biophysikalischen Vorgänge 1) ausserordentlich komplex sind und daher nicht genügend genau mathematisch formuliert werden können und 2) durch Störgrössen von aussen (Temperatur, Regen usw.) unkontrollierbaren Veränderungen unterworfen sind.

Ausgangspunkt bei der Wahl eines mathematischen Modells war das Modell von Monod (Monokultur, org. Kohlenstoff als begrenzender Wachstumsfaktor). Dieses Modell liefert jedoch für sehr kleine Werte des Yieldkoeffizienten widersprüchliche Resultate. Eine Neu-Interpretation des Substratabbaus durch die Mikroorganismen führte zu einem neuen Modell, das die oben erwähnten Widersprüche nicht mehr aufweist.

Die Verifikation des mathematischen Modells und die Identifikation der Modellkonstanten wurden anhand echter Messdatenserien durchgeführt. Diese Daten wurden an einer grossen Laborkläranlage (Belebtschlammbecken 40 Liter, Nachklärbecken 30 Liter) gewonnen, da die in der Literatur angegebenen Daten aus verschiedenen Gründen nicht brauchbar waren. Die biologischen Grössen (Substrat- und Mikroorganismenkonzentration) wurden mit Hilfe der Bestimmung des chemischen Sauerstoffbedarfs CSB gemessen. Trotz der Nachteile (lange Messdauer von 2 Stunden, Messung der lebenden und toten Mikroorganismen) genügt die Masszahl des CSB für diese Studie.

Die Identifikation der Modellkonstanten geschah mit einem modifizierten Davidon-Algorithmus. Wegen der starken Nichtlinearität des Modells bezüglich der zu identifizierenden Parametern und der Zustandsvariablen, sowie wegen der starken Schwankungen der Messdaten traten bei der Identifikation Schwierigkeiten auf. Die Konvergenz der Methode wurde durch das Einführen von Sensitivitätskoeffizienten in die Zielfunktion verbessert, jedoch konnte wegen der anscheinend vorhandenen Verkoppelung der Konstanten nur 3 der 4 Modell-Parameter identifiziert werden. Die erhaltenen Werte für die Konstanten stimmen ziemlich gut mit experimentell gefundenen Werten anderer Autoren überein.

Wegen der in der Praxis ständig variierenden Eingangsstörrößen kommt nur eine Regelung der Belebtschlammanlage in Frage. Die Optimierungsaufgabe wurde durch Linearisieren des Systems um den Arbeitspunkt und anschließender Berechnung der Steuergrösse mit der degenerierten Matrix-Riccati-Gleichung für ein kurzes Zeitintervall gelöst. Zu Vergleichszwecken wurde das System noch mit zwei Steueralgorithmen, für konstante Eingangsstörrößen, optimal gesteuert. Der Optimierungsgewinn liegt bei den in dieser Arbeit durchgeführten Simulationen bei 5-15%.

Die Arbeit hat ergeben, dass eine adaptive Regelung grundsätzlich sehr wohl möglich ist. Voraussetzung zu ihrer Realisierung ist jedoch die Entwicklung einer wesentlich rascheren und vorallem automatischen Analyse der biologischen Grössen.

Abstract

Several basic conditions for the adaptive control of an activated sludge unit were established. Starting point was the model of Monod (monoculture; organic carbon as growth limiting factor). This model, when used for simulation with very low yield-coeff., produces conflicting results. A modified interpretation of the substrate degradation by micro-organisms has led to a new model, which does not exhibit such behaviour. Laboratory experiments were carried out to obtain data for the verification of the model and the identification (modified Davidon-algorithm) of its parameters. Due to reciprocal dependency among the constants, only 3 of the 4 constants could be identified. For the optimisation only a closed-loop regulation (linearisation about the operating point, degenerated matrix Riccati equation) of the activated sludge unit could be considered, due to the fluctuations in the input variables. The gain from the optimisation was between 5-15%.

The work has shown that an adaptive control is basically possible, however in order to be practically applied, the biological variables must be able to be determined much more rapidly as well as automatically.