



Doctoral Thesis

Modellbasierte Regelung von biologischen Abwasserreinigungsanlagen

Author(s):

Menzi, Stefan Peter

Publication Date:

2002

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004317868> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Modellbasierte Regelung
von
biologischen Abwasserreinigungsanlagen

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

STEFAN PETER MENZI

Dipl. Chem.-Ing. ETH

geboren am 5. März 1967

von Filzbach GL

Angenommen auf Antrag von

Prof. M. Steiner, Referent

Prof. Dr. D. Bonvin, Korreferent

Prof. Dr. L. Guzzella, Korreferent

2002

Kurzfassung

Bei der Reinigung von kommunalen Abwässern stellt der biologische Abbau der Stickstoffverbindungen einen wichtigen Verfahrensschritt dar. Für Ammonium und Nitrat sind vom Gesetzgeber geforderte Grenzwerte einzuhalten.

Um biologischen Stickstoffabbau zu erreichen, werden bestehende Anlagen modifiziert, was zu neuen Stellgrößen führt. Ein effizienter Betrieb der Anlagen unter Einbezug der vorhandenen Eingriffsmöglichkeiten ist anzustreben. Mit der Verfügbarkeit von automatisierten Messungen prozessrelevanter Größen ist eine wesentliche Voraussetzung zur Regelung der Anlagen gegeben. Der Automatisierungsgrad bei Abwasserreinigungsanlagen fällt jedoch bisher sehr gering aus.

Für eine Belebtschlammanlage mit vorgeschalteter Denitrifikation werden mit der H_{∞} -Methode und *model predictive control* (MPC) zwei Methoden zum Entwurf modellbasierter Regler verglichen. Die Verifikation der Regler erfolgt in nichtlinearen Simulationen, die den Prozess einer typischen, täglichen Zulaufvariation unterwerfen. Die beiden Reglertypen, denen ein linearisiertes Modell zugrunde liegt, zeigen sehr ähnliches Verhalten.

Die nichtlinearen Eigenschaften des Prozesses werden bei einer erweiterten, nichtlinearen Variante von MPC berücksichtigt. Gegenüber den linearen Reglern sind damit jedoch keine Verbesserungen hinsichtlich der Stickstoffregelung zu erreichen.

Im Vergleich zur unregelmässigen Anlage können die Variation und die Spitzenwerte des toxischen Ammoniums mit den Reglern stark reduziert werden. Eine Absenkung des Gesamtstickstoffs (die Summe von Ammonium und Nitrat) gelingt jedoch nur in begrenztem Umfang. Um eine Reduktion des Gesamtstickstoffs von 13% zu erreichen, müssen reduzierte Anforderungen an die Ammoniumwerte in Kauf genommen werden, indem der Sollwert um 1 mg/l erhöht wird.

Dieser limitierende Zusammenhang zwischen den beiden Stickstoffverbindungen erweist sich als charakteristisch für den Prozess.

Eine Analyse des linearisierten Systems mit Hilfe von Erreichbarkeitsmassen zeigt die ungünstige Kopplung zwischen Ammonium und Nitrat auf. Unter Berücksichtigung der verfügbaren Stellgrößen ist eine unabhängige Beeinflussung der beiden Komponenten nicht im gewünschten Ausmass zu erreichen. Beim Reglerentwurf sind die Anforderungen an den Regelkreis entsprechend zu reduzieren. Weitere Verbesserungen der Stickstoffelimination scheitern an dieser schlechten Steuerbarkeit des Prozesses.

Numerisch ermittelte Stellgrößenverläufe für einen Tagesgang, die den Gesamtstickstoff im Abfluss minimieren, bestätigen die aufgezeigten Limitierungen des Prozesses auch unter Berücksichtigung der Nichtlinearitäten des Modells.

Einzig durch das Hinzufügen einer weiteren Stellgröße in Form einer externen Kohlenstoffquelle gelingt es, den Stickstoffabbau deutlich zu verbessern.

Abstract

Biological elimination of nitrogen has become an integral part of municipal wastewater treatment. Environmental legislation defines effluent standards for nitrate and ammonia.

In order to achieve biological nitrogen removal, existing plants are modified, which introduces new control variables. While a low level of automation still prevails at most plants, efficient use of the available control variables is desirable to improve plant efficiency.

For an activated sludge process with predenitrification, two different methods of model based control are applied. H_∞ -control and *model predictive control* (MPC), both based on a linearized version of a state-of-the-art model of the biological process, show similar results. To verify the controllers in nonlinear simulations, the plant is subjected to typical daily variations.

An extended, nonlinear version of MPC takes into account the nonlinear characteristics of the process. However, improved results for the nitrogen compounds can not be observed, when compared to the linear controllers.

In comparison to the uncontrolled plant, the variation and peak value of ammonia can be reduced substantially with all controllers. But regarding total nitrogen (the sum of nitrate and ammonia), merely a small improvement is noticed.

A reduction of total nitrogen by 13% is only achieved, if the ammonia set point is increased by 1 mg/l, with peak values of ammonia accordingly higher. This limiting interconnection of the two nitrogen compounds proves to be characteristic of the process.

An analysis of the linearized system, based on reachability measures, reveals the unfavorable coupling of nitrate and ammonia. Taking into account the available control variables, an independent impact on the two nitrogen compounds can not be achieved to an extent desired.

Also, due to this inherent property of the plant, concessions towards less demanding weights have to be made at the controller design stage. Any further improvement, with respect to total nitrogen, is hampered by the poor controllability of the process.

For the course of a day, optimal control variables are calculated for the nonlinear model, aiming at minimizing total nitrogen in the effluent. The achieved nitrogen elimination indicates, that the limiting, structural characteristics of the linear model also apply to the nonlinear one.

However, additional control variables, such as an external carbon source, are shown to alleviate this restrictions and improve the possible nitrogen elimination.