

Dissertation

Anpassung der Wachstumskinetik und des Abbaupotenzials von organischem Material in Belebtschlamm

Die organischen Bestandteile des Belebtschlammes bestehen, je nach Belastung der Kläranlage, zu 30 bis 70% aus aktiver Biomasse. Den größten Anteil an dieser Biomasse haben heterotrophe Bakterien. Schon früh nach der Entdeckung des Belebtschlammverfahrens wurden Modelle für das Wachstum (Produktion) und das Absterben (Reduktion) der heterotrophen Biomasse vorgeschlagen, die eine Prognose der Schlammproduktion und des Sauerstoffbedarfs ermöglichen.

Dabei wurde die Kinetik des Wachstums auf der Grundlage einer maximal möglichen, spezifischen Wachstumsgeschwindigkeit (μ_{max}) entsprechend der sogenannten Monod-Kinetik modelliert. Auf der Basis von aeroben Abbauversuchen wurde für das Absterben hingegen eine Reaktion erster Ordnung mit einer konstanten Absterberate (b) als realitätsnah angesehen.

Beide Ansätze gehen davon aus, dass es keine physiologische Anpassung der Wachstumskinetik der beteiligten Bakterien an unterschiedliche Belastungszustände gibt. Für Herrn Michael Friedrich schien diese Modellvorstellung unrealistisch zu sein, da gerade Bakterien als Meister der Anpassung an nahezu jede denkbare Umweltveränderung gelten. In der ersten der insgesamt drei Publikationen, die er im Rahmen seiner kumulativen Dissertation veröffentlichen konnte, wiederholte er aerobe Abbauversuche mit Belebtschlamm unterschiedlicher Schlammalter (10 bis 70 Tage) und konnte zunächst zeigen, dass eine einzelne Reaktion erster Ordnung nicht ausreicht, um den Prozess des Absterbens zu beschreiben. Durch die Bestimmung der Atmungsaktivität, gemessen als Sauerstoffverbrauchsrate (OVR) konnte vielmehr eine anfänglich schnelle und eine nachfolgend verlangsamte OVR-Abnahme beobachtet werden. Es wurde vermutet, dass die schnelle OVR-Abnahme durch den Abbau von Speicherstoffen und die verlangsamte OVR-Abnahme durch das eigentliche Absterben der heterotrophen Biomasse verursacht wurde. Beide Prozesse laufen simultan ab und wurden separat mit einer Reaktion erster Ordnung modelliert.

Auf diese Weise wurde eine intrinsische Absterberate im Bereich von $0,07 - 0,21 \text{ d}^{-1}$ gefunden, die sich sehr gut mit der initialen, spezifischen Atmungsaktivität im Belebtschlamm (hier als Indikativ für das Schlammalter) direkt korrelieren ließ. Damit konnte erstmals gezeigt werden, dass eine hohe Substratversorgung der Bakterien im Belebtschlamm (niedriges Schlammalter) zu einer hohen Absterberate führt. Andererseits induziert eine geringe Substratversorgung (hohes Schlammalter) eine verringerte Absterberate. Offensichtlich sind Bakterien in der Lage, in Abhängigkeit der Verfügbarkeit von energiereichem Substrat ihre Überlebensstrategie zu optimieren.

In einer zweiten Veröffentlichung wurden die Untersuchungen auf das Wachstum von Bakterien ausgeweitet, indem aerobe Abbauversuchen (Nutzung von endogenem Substrat) mit Wachstumsversuchen (Nutzung von externem Substrat) kombiniert wurden. Aus den abgeleiteten kinetischen und stöchiometrischen Parametern wurde eine Beziehung hergeleitet, mit deren Hilfe die maximale spezifische Wachstumsgeschwindigkeit (μ_{\max}) berechnet werden konnte, ohne dass die Konzentrationen der heterotrophen Biomasse bekannt sein musste. Im Resultat der entwickelten Methodik und der experimentellen Ergebnisse wurde beobachtet, dass μ_{\max} sehr gut mit der Absterberate b für heterotrophe Organismen im Belebtschlamm korrelierbar ist. Damit konnte gezeigt werden, dass sich wachstumsrelevante Parameter insgesamt an eine veränderte Verfügbarkeit von energiereichem Substrat anpassen. Dies bedeutet auch, dass die Monod-Kinetik nicht nur auf genotypischen Merkmalen basiert, sondern vielmehr der physiologische Zustand der Bakterienzelle und damit phänotypische Merkmale maßgeblich für die Wachstumscharakteristik sind. Für die Populationsdynamik im Belebtschlamm folgt daraus, dass gerade in niedrigbelasteten Belebtschlämmen deutlich mehr aktive Biomasse angereichert ist, auch wenn deren Aktivität relativ gering ist. Dies ist konsistent mit der Beobachtung, dass mit den gegenwärtigen Belebtschlammmodellen aufgrund der hohen Absterberate tendenziell eine zu geringe Schlammproduktion vorhergesagt wird.

Der organische Anteil am Belebtschlamm besteht jedoch nicht nur aus aktiver Biomasse, die zum größten Teil als biologisch abbaubar gilt, sondern auch aus biologisch nicht abbaubarem, inertem Material. Dass dieser Anteil auch in der Kläranlage abbaubar sein muss, wurde in Simulationsstudien gezeigt. In der dritten Publikation konnte jedoch ein Verfahren vorgestellt werden, mit dessen Hilfe die

Abbaurrate dieses inerten Materials experimentell bestimmbar ist. Dabei wurden die OVR und oTS Ganglinien von aeroben Abbaueversuchen von 6 verschiedenen Belebtschlammproben gegenübergestellt. Der Grundgedanke des Verfahrens besteht darin, dass die Ganglinie der oTS-Abnahme sowohl den biologisch abbaubaren als auch den inerten Anteil abbildet. Die Ganglinien des Integrals der OVR-Abnahme beschreibt jedoch exklusiv nur den biologisch abbaubaren Anteil. Wird letzterer von ersterem subtrahiert, so ist die resultierende Ganglinie nicht horizontal, sondern abnehmend. Geht man bei dem Abbauprozess von einer Reaktion erster Ordnung aus, so entspricht der linearisierte negative Anstieg der resultierenden Ganglinie dem Geschwindigkeitsparameter q_u . Auf diese Weise wurden Werte für q_u von 0,006 bis 0,029 d^{-1} gefunden. Findet dieser Prozess in der Belebtschlammmodellierung keine Berücksichtigung, so wird mit zunehmendem Schlammalter eine zu hohe Schlammproduktion vorhergesagt. Von besonderer Bedeutung ist der Abbau von inertem, organischem Material für das Verständnis von Belebtschlammprozessen, bei denen sehr wenig Klärschlamm produziert wird, wie z.B. dem Cannibal[®]-Verfahren.

Mit der Dissertation von Herrn Friedrich werden bisher feststehende Postulate der Belebtschlamm-Modellierung hinterfragt und ihre Begrenztheit aufgezeigt. Die gewonnenen Erkenntnisse sind nicht nur für eine differenziertere Parametrisierung der Modelle hilfreich, sondern treiben Modellentwicklung selbst voran.

Michael Friedrich

Adaptation of growth kinetics and degradation potential of organic material in activated sludge

Promotionsschrift von Dipl.-Ing. Michael Friedrich

Referenten:

Prof. Dr.-Ing. Jens Tränckner (Universität Rostock)

Prof. Dr. rer.nat. Harald Horn (Karlsruher Institut für Technologie)

Prof. Dr.-Ing Eberhard Morgenroth (ETH Zürich)

Erschienen als Band 59 der Schriftenreihe Umweltingenieurwesen (20 Euro, wasserwirtschaft@uni-rostock.de)