

© Johnny Chicago on fb, Wikipedia

Aktivität hydrolytischer Enzyme in einer kommunalen Kläranlage

Langzeitmessung in der biologischen Reinigungsstufe

Klaus Fischer¹, Jennifer Kreuz¹, Marion Wacht¹

Die in der Regel als Belebungsverfahren ausgestaltete biologische Abwasserreinigung bildet die zentrale Einheit der meisten modernen Kläranlagen. Die dort etablierte Mikroorganismengemeinschaft, d.h. im Belebungsverfahren der Belebtschlamm, entzieht dem Abwasser den größten Anteil der organischen sowie viele der anorganischen Komponenten.

Die überwiegend partikulären oder hochmolekularen organischen Stoffe werden erst durch Umwandlung in ihre niedermolekularen Bausteine, z.B. durch hydrolytische Depolymerisation, mikrobiell verfügbar. Diese Aufgabe übernehmen extrazelluläre Enzyme aus der Klasse der Hydrolasen. Die Enzymaktivität ist demnach ein wesentlicher Gradmesser für die metabolische Aktivität der Mikroorganismen und damit für die Reinigungsleistung einer Kläranlage. Nachfolgend wird eine Langzeitstudie zur Aktivität von 7 Hydrolasen in der biologischen Stufe einer kommunalen Kläranlage vorgestellt, die sich auf die räumliche und zeitliche Variabilität der enzymatischen Prozesse konzentriert.

Enzyme in der Abwasserreinigung

Die Bedeutung von Enzymen, insbesondere von Hydrolasen, für die biologische Abwasserreinigung wurde bereits in den 1970'ern

Jahren erkannt. Teuber und Brodich [1] und später Richards *et al.* [2] untersuchten in Momentaufnahmen die Aktivität von mehreren Hydrolasen, d.h. von Lipasen (Fettabbau), Aminopeptidasen (Eiweißspaltung), Glucosidasen (Kohlehydratabbau) und Phosphatasen (Umwandlung von organischen Phosphorsäureestern) in etlichen Kläranlagen, wobei sie anlagentypische Enzymprofile identifizierten. Zudem unternahmen sie erste Versuche, diese Aktivitätsmuster mit der Abwasserbeschaffenheit und mit technischen Betriebsparametern in Verbindung zu bringen. In der Folgezeit wurden Auswirkungen spezifischer Abwasserbehandlungstechniken, z.B. von Nitrifikation und Denitrifikation, oder von verschiedenen Prozessgrößen wie dem Schlammalter auf Enzymaktivitäten hinterfragt [3]. Ähnliche Fragestellungen wurden beim Vergleich der Reinigungsleistung moderner Membranbioreaktoren mit der konventioneller Belebungsanlagen verfolgt [4]. Dabei ergaben sich u.a. Hinweise auf Wechselbeziehungen zwischen der Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft und der Enzymfreisetzung [5].

Trotz dieser und weiterer Studien ist die Kenntnis der Einflußgrößen der mikrobiellen Enzymproduktion noch recht lückenhaft. Dies liegt u.a. daran, dass sich die meisten Arbeiten mit einer sehr geringen Anzahl an Aktivitätsmessungen begnügt und somit allenfalls eine Momentaufnahme des enzy-

matischen Status erzeugt haben, deren Signifikanz in der Regel nicht statistisch überprüft wurde. Das Anliegen der vorliegenden Studie war es, die Aktivität von 7 prozessrelevanten Hydrolasen im Jahresgang bei überwiegend wöchentlicher Beprobung in der biologischen Reinigungsstufe einer kommunalen Kläranlage zu messen, wobei der Variabilität der Aktivitäten innerhalb und zwischen parallelen Behandlungssträngen besondere Beachtung geschenkt wurde.

Methodisches Vorgehen

Als Untersuchungsobjekt diente die biologische Reinigungsstufe des Hauptklärwerks der Stadt Trier, das auf 170.000 Einwohnergleichwerte ausgelegt ist. Neben häuslichen Abwässern werden auch gewerbliche, z.B. aus Wein- und Sektkellereien, geklärt. Die dem modernen Standard entsprechende Anlage besteht aus Grobpartikelabscheidung, Vorklärung, biologischer Reinigungsstufe und Nachklärung, verbunden mit einer Kombination aus biologischer Phosphatelimination und Phosphatfällung. Die biologische Reinigung findet in 6 parallel beschickten Strängen („Biologien“) statt, wobei jeder Strang aus 6 nacheinander durchflossenen Segmenten („Kaskaden“) aufgebaut ist. Im Unterschied zu den belüfteten, nitrifizierenden Kaskaden 2–6 wird die Eingangskaska-

de zum Zwecke der Denitrifizierung nicht belüftet. Der Jahresgang der Enzymaktivitäten wurde in Kaskade 6 des ersten Behandlungsstrangs ermittelt, wobei die Probenahme mit wenigen Ausnahmen gegen 8 Uhr erfolgte. Die Bestimmung der räumlichen Aktivitätsverteilung bezog weitere Kaskaden und Behandlungsstränge ein. Mittels photometrischer Standardassays wurden in einem Plattenreader die Aktivitäten, angegeben in mU, folgender Hydrolasen quantifiziert [6]: L-Alanin-Aminopeptidase (LAA), Esterase (EST), α -Glucosidase (α -GLU), β -Glucosidase (β -GLU), Phosphatase (PME), Phosphodiesterase (PDE) und Sulfatase (SUL). Die Betriebsdaten der Anlage wurden vom Betriebslabor zur Verfügung gestellt.

Ergebnisse

Die wiederholte Beprobung von 6 Zonen innerhalb Kaskade 6 des Behandlungsstrangs 1 ergab eine sehr geringe räumliche Variabilität (Variationskoeffizienten $[V_k] < 5\%$ der Aktivitäten) von PME und SUL. Bei den übrigen Enzymen wurden V_k -Werte von 5,5 – 9,0% ermittelt. Für die Höhe der Aktivitäten ergab sich die Abstufung LAA > PME > PDE \approx β -GLU > α -GLU > SUL. Die etwas seltener gemessene Esteraseaktivität bewegte sich überwiegend auf dem Niveau von PME oder PDE. Mit Ausnahme einer gelegentlich umgekehrten Reihenfolge von PDE und β -GLU trat diese Aktivitätssequenz auch in allen weiteren biologischen Behandlungseinheiten zu Tage.

Räumliche Aktivitätsunterschiede

Wie Abbildung 1 verdeutlicht, bewegten sich die räumlichen Aktivitätsunterschiede innerhalb eines biologischen Behandlungs-

strangs (Bio 1, Kaskaden 1-6) in der gleichen Größenordnung wie innerhalb einer Kaskade. Bei LAA ($V_k \leq 4,0\%$) und PDE ($V_k 3,4\%$) streuten die Aktivitätswerte im Vergleich zu den Verhältnissen innerhalb einer Kaskade weniger, während SUL eine höhere Streuung aufwies. Es ergaben sich keine Hinweise auf signifikante Aktivitätsunterschiede zwischen dem Denitrifizierungsbecken (Kaskade 1) und den belüfteten Becken. Auch die Analyse des gesamten biologischen Behandlungssystems der Kläranlage bestärkt den Eindruck einer relativ homogenen Enzymaktivitätsverteilung (Abbildung 2). Dies gilt insbesondere für die beiden Glucosidasen und PME, bei denen geringe relative Differenzen der Aktivitätsmittelwerte sowie überwiegend geringe Streubereiche der Aktivitäten innerhalb der jeweiligen Biologien vorgefunden wurden. Dagegen lässt die LAA-Aktivität eine etwas größere räumliche Heterogenität erkennen. Wird für jedes Enzym eine auf den Mittelwerten basierende Aktivitätsrangfolge der einzelnen Behandlungsstränge gebildet, so ergeben sich Anzeichen für leicht überdurchschnittliche Aktivitäten in „Bio 5“ sowie für etwas unterdurchschnittliche in „Bio 4“. Eine Bewertung, ob solche Differenzen signifikant und von Dauer sind, lassen die vorliegenden Daten nicht zu.

Zeitabhängigkeit

Demgegenüber bewegten sich die zeitabhängigen Aktivitätsunterschiede in einer ganz anderen Größenordnung, wie Abbildung 3 illustriert. In Einzelfällen verdoppelten oder halbierten sich die Aktivitäten innerhalb einer Woche. Mit Ausnahme der Esterase waren die Aktivitäten untereinander positiv korreliert. Hochgradig korreliert waren Enzyme, die ähnliche Substrate abbauen, d. h.

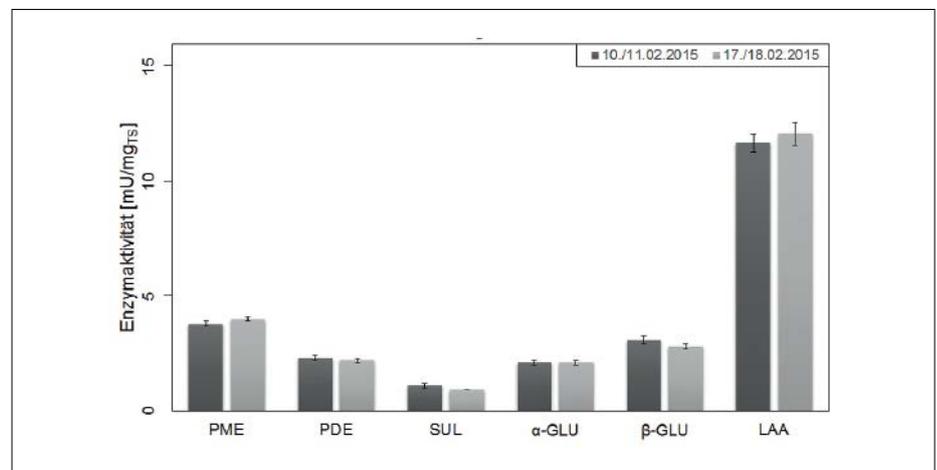


Abb. 1: Mittelwerte und Standardabweichungen der Aktivitäten von 6 Hydrolasen in einem biologischen Behandlungsstrang (Kaskaden 1-6) des Hauptklärwerks Trier, basierend auf jeweils 2 Probezeitpunkten im Wochenabstand (10. oder 11. und 17. oder 18. Februar 2015)

α -GLU / β -GLU und PME / PDE. Unabhängig davon, ob die Enzymaktivität ins Verhältnis zu einer Volumeneinheit Belebtschlamm oder zur Schlamm Trockensubstanz (TS) gesetzt wird, ergibt sich ein von kurzzeitigen Ausschlägen überlagerter Trend. So bewegten sich die Enzymaktivitäten von Ende August bis Ende Januar auf einem relativ konstanten Niveau. Es schloss sich ein Anstieg bis Mitte Juni an, wonach die Aktivitäten auf das Augustniveau abfielen. Bei einigen Enzymen traten Aktivitätsspitzen Ende Mai bzw. Mitte Juni auf. Dieser Jahresgang überrascht insofern, als kein temperaturbedingter Anstieg in den Sommermonaten festzustellen ist. Auch andere erwartete Effekte, z. B. Abnahme der volumenbezogenen Aktivität bei hohem Abwasserdurchsatz, konnten nicht bestätigt werden. Dagegen korrelierte die Mehrzahl der Enzymaktivitäten moderat positiv (entgegengesetztes Verhalten von EST) mit den Zulauffrachten von Gesamt-P und $\text{NH}_4\text{-N}$, mit den TOC-Ablaufwerten, dem C/N-Verhältnis im Ablauf sowie mit der absoluten Gesamt-P-Elimination. Im Unterschied zu den anderen Enzymen war die EST-Aktivität mit dem BSB_5 -Zulaufwert sowie mit der prozentualen Gesamt-N- und Gesamt-P-Elimination moderat positiv und mit der prozentualen $\text{NH}_4\text{-N}$ -Elimination stark positiv korreliert.

Fazit

Die biologische Behandlungsstufe des Hauptklärwerks der Stadt Trier wies im Untersuchungsraum eine hohe räumliche Homogenität der gemessenen Enzymaktivitäten auf, was auf kurzfristig stabile Prozessbedingungen und eine gleichmäßige Auslastung der Behandlungsstränge schließen lässt. Im Jahresgang traten größere Aktivitätsveränderungen auf, die sich aus mehrmonatigen, moderaten Trends und kurzzeitigen Aktivitätsausschlägen zusammensetzten. Es zeichneten sich Zusammenhänge zwischen den Enzymaktivitäten und verschiedenen Prozessgrößen ab. Für eine Weiterentwicklung des Prozessverständnisses werden zukünftig zusätzliche Prozessgrößen, z. B. die Zulaufs-TOC-Zusammensetzung, zu berücksichtigen sein.

Danksagung

Die Autoren danken dem Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Wein-

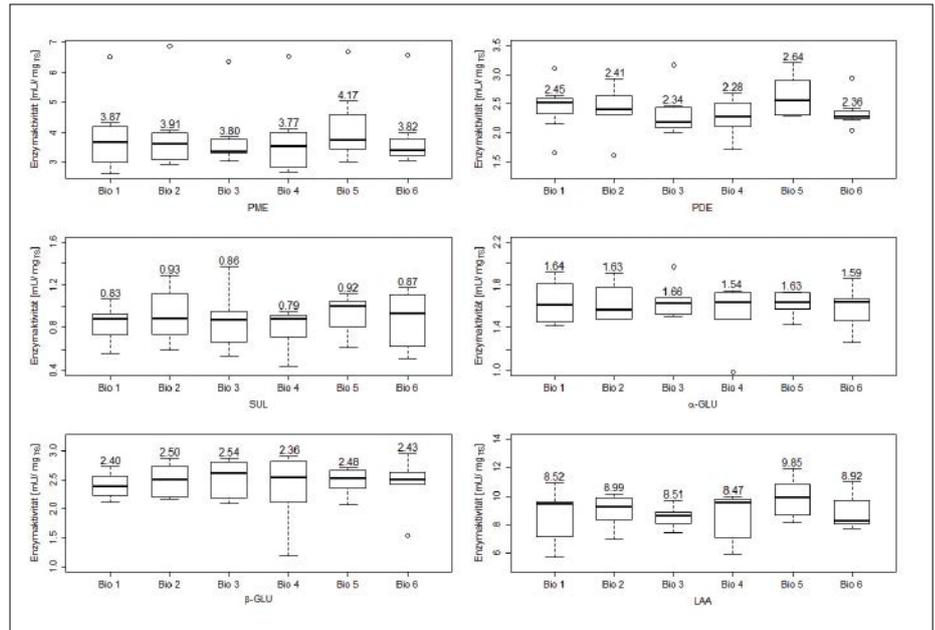


Abb. 2: Boxplotdarstellung der Enzymaktivitäten in allen biologischen Behandlungssträngen des Hauptklärwerks Trier. Die Zahlen über den Boxen geben die Mittelwerte wieder. Punkte repräsentieren Ausreißer. Der Messzeitraum erstreckte sich von Dezember 2014 bis April 2015.

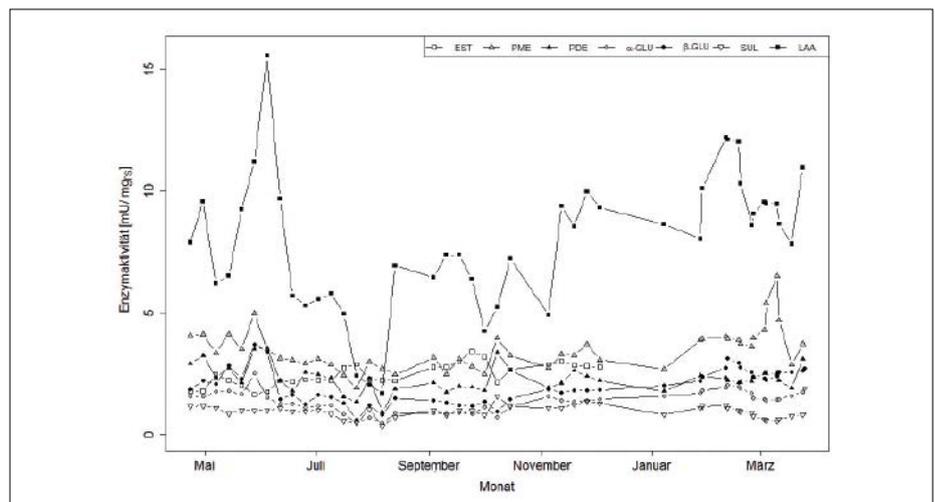


Abb. 3: Jahresgang der Trockensubstanz-bezogenen Enzymaktivitäten innerhalb Biologie 1, Kaskade 6. Messzeitraum: April 2014 – März 2015. Anzahl der Messdaten: EST: 28, Glucosidasen: 47, übrige: 48.

bau und Forsten Rheinland-Pfalz sowie den Stadtwerken Trier für die finanzielle Förderung. Dank gilt auch dem Leiter der Hauptklärwerks Trier, Herrn Gerd Herrmann, sowie dem Leiter des Betriebslabors, Herrn Rudolf Meyer, für die aktive Projektunterstützung und Datenbereitstellung. Zudem danken wir Frau Ina Böckenhüser für ihre Mitwirkung bei der Enzymanalytik.

Zugehörigkeit

¹Analytische und Ökologische Chemie, FB VI, Universität Trier

KONTAKT |

Prof. Dr. Dr. Klaus Fischer
Analytische und Ökologische Chemie
FB VI
Universität Trier
fischerk@uni-trier.de



Funktionsweise einer Kläranlage:
<http://bit.ly/Klaeranlage>



Mehr über Kläranlagen:
<http://bit.ly/GIT-Klaeranlage>



Referenzen unter:
<http://bit.ly/GIT-FischerK>