©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Laufener Seminarbeitr. 3/97, S. 99-106 • Bayer.Akad.Natursch.Landschaftspfl. - Laufen/Salzach 1997

Einfluß periodischer Veränderungen von Milieubedingungen auf mikrobielle Lebensgemeinschaften

Peter A. WILDERER

1. Einleitung

Mikrobielle Lebensgemeinschaften existieren in allen aquatischen und terrestrischen Lebensräumen. Daß einzelne Organismenarten einen Lebensraum als Monokultur besiedeln, kommt in der freien Natur kaum vor.

Die Zusammensetzung und Funktion einer mikrobiellen Lebensgemeinschaft wird durch die Milieufaktoren bestimmt, die den jeweils betrachteten Lebensraum kennzeichnen. Die Änderung der Konstellation und der Intensität der Milieufaktoren hat unmittelbare Auswirkungen auf die mikrobielle Lebensgemeinschaft, deren Zusammensetzung und Wirkungsspektrum.

Die Zusammenhänge wurden von HARTMANN (1960) modellhaft mit der Lageveränderung einer "ökologischen Kugel" beschrieben (Abb. 1). Man stelle sich eine Hohlkugel vor, die mit Wasser teilgefüllt ist. Jeder Punkt auf der inneren Oberfläche der Kugel möge eine bestimmte Organismenart repräsentieren. Die Wasserspiegelhöhe über den einzelnen Punkten soll die Populationsstärke der entsprechenden Organismenart beschreiben. Die Kugel wird durch ein Seilsystem und durch Gewichte (Umweltfaktoren), die an den einzelnen Seilen angebracht sind, in einer bestimmten Lage gehalten.

Die Climax-Lage beschreibt eine Situation, in der sich die Organismen an die vorherrschenden Umweltbedingungen (Konstellation der Milieufaktoren) angepaßt haben. Nach Änderung eines Milieufaktors kommt es zu einer Änderung der Umweltbedingungen. Die Kugel dreht sich in eine neue Lage. Die Populationsstärke der einzelnen Vertreter der Lebensgemeinschaft ändert sich und entsprechend ändert sich auch das Leistungsspektrum der Lebensgemeinschaft. Arten, die zuvor in dem Lebensraum heimisch waren, können sich nicht mehr halten und verschwinden daher. Andere Arten wandern ein.

Die Änderung der Artenzusammensetzung geschieht nicht plötzlich, sondern über einen gewissen Zeitraum (Sukzession, ökologische Adaptation). Die Dauer der Sukzession hängt dabei von der Vermehrungsgeschwindigkeit der die Lebensgemeinschaft zusammensetzenden Organismenarten ab. Sie führt zu einer Situation, die in der Ökologie als Climax, in der Bio-Verfahrenstechnik als "stationärer Zustand" bezeichnet wird.

Die charakteristische Zeit für die Einstellung stationärer Verhältnisse hängt also von den realen Vermehrungsraten der beteiligten Organismen ab. Sie liegt für Situationen, wie sie in Fließgewässern sowie in biologischen Kläranlagen angetroffen werden, im Bereich von mehreren Tagen bis Wochen.

Während der Dauer der Sukzession sind die Umweltbedingungen aber in der Regel nicht konstant. Dies gilt für Lebensräume, wie sie in der freien

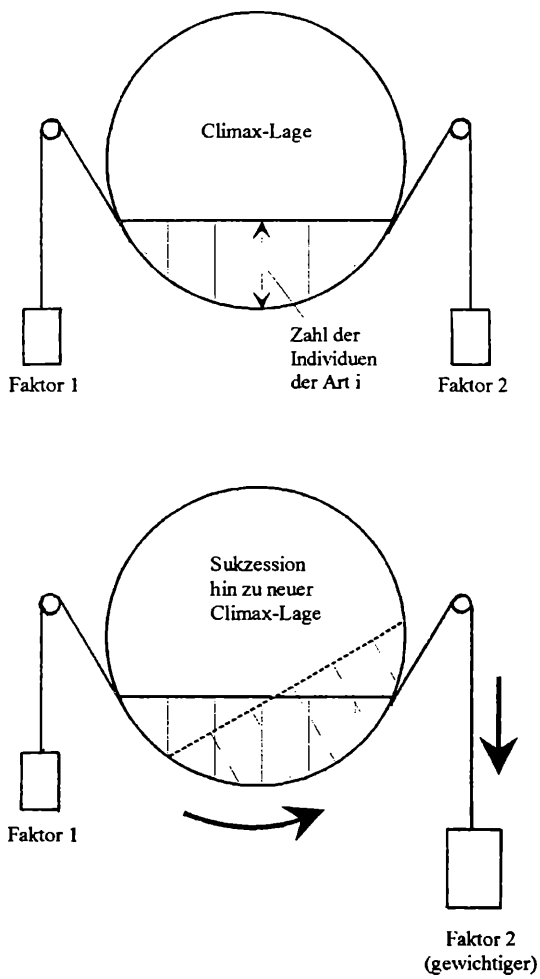

Abbildung 1

"Ökologische Kugel" nach HARTMANN (1960): Lageveränderung infolge Gewichtszunahme des Milieufaktors 2 mit der Folge einer Umschichtung der Lebensgemeinschaft

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Natur angetroffen werden ebenso, wie für die Verhältnisse in biologischen Kläranlagen. Wichtige Umweltfaktoren ändern sich zufällig, andere periodisch. Als Beispiel sei auf den Tag-Nacht-Rythmus und die daraus resultierende tagestypische Veränderung der Photonendichte und der Sauerstoffkonzentration in Oberflächengewässern hingewiesen.

In Kläranlagen sind periodische Änderungen besonders ausgeprägt. Als Folge des steten Wechsels der Aktivitäten von Mensch, Gewerbe und Industrie im Einzugsbereich einer Kläranlage kommt es zu tagestypischen Schwankungen des Volumenstroms im Zulauf zu einer Kläranlage, zu Änderungen der stofflichen Zusammensetzung des Abwassers und der Konzentration der Abwasserinhaltsstoffe. Überlagert werden solche periodischen Änderungen allerdings durch unregelmäßig auftretende Ereignisse, beispielsweise durch einen Starkregen.

Schwankungen von Milieubedingungen haben selbst den Charakter von Milieufaktoren. Die charakteristische Zeit, innerhalb der sich die Änderungen abspielen, liegt in der Regel im Bereich von Stunden und damit in einem wesentlich kürzeren zeitlichen Rahmen als die für die Ausbildung eines stationären Zustands erforderliche charakteristische Zeitspanne.

Im folgenden soll nun gezeigt werden, daß der Milieufaktor: "periodischer Wechsel von Milieubedingungen" ein wirkungsvolles Werkzeug zur Beeinflussung der Artenzusammensetzung und der Eigenschaften einer mikrobiellen Lebensgemeinschaft darstellt. Die kurzfristige periodische Variation bestimmter Milieufaktoren ist geeignet, die Climax-Lage eines mikrobiellen ökologischen Systems zielgenau einzustellen, auch wenn die Mehrzahl der Milieufaktoren unbeeinflußbar variiert. Die Nutzung dieses Werkzeugs ermöglicht es dem Ingenieur, heterogene mikrobielle Systeme für die Zwecke einer weitgehenden Abwasserreinigung einzusetzen. Für den Forscher eröffnen sich neue Möglichkeiten des Experimentierens.

2. Verfahren zur biologischen Abwasserreinigung

Aufgabe der biologischen Abwasserreinigung ist es, Schmutzstoffe aus dem zufließenden Abwasser zu entfernen. Dazu werden zwei Prozeßkategorien angewandt, nämlich

biologische Stoffumwandlungsprozesse
und
Stofftrennprozesse.

Schmutzstoffe im Abwasser werden mit Hilfe mikrobiologischer Reaktionsmechanismen in solche Stoffe umgewandelt, die sich entweder leicht vom Wasser abtrennen lassen, oder in Stoffe, von denen angenommen wird, daß sie die Vorgänge in natürlichen Ökosystemen (Oberflächengewässer, Grundwässer, Boden) nicht nachhaltig negativ beeinflussen.

Zu den leicht abtrennbaren Produkten des mikrobiellen Stoffwechsels gehören insbesondere die Stoffkategorien

sedimentierbare oder filtrierbare Biomasse,

strippbare Gase.

Beispielsweise läßt sich Stickstoff durch Strippung aus dem Abwasser abtrennen, wenn der im zufließenden Abwasser enthaltene organisch gebundene sowie der Ammonium-Stickstoff durch den Prozeß der Nitrifikation in Nitratstickstoff und im Anschluß daran durch den Prozeß der Denitrifikation in Stickstoffgas umgewandelt wird.
Biomasse ist dann leicht sedimentier- oder filtrierbar, wenn die Mikroorganismen in Form größerer Zellverbände aufwachsen, und wenn sich Zellverbände in Räumen mit geringer hydraulischer Scherkraft zu noch größeren Aggregaten zusammenlagern. Es sind auch hier wieder zwei unterschiedliche Prozesse, die zusammenspielen müssen, nämlich

Wachstum von Zellverbänden im biologischen Sinne,
Flockung der Zellverbände im physikalisch-chemischen Sinne.

Angestrebt wird eine Zunahme des Durchmessers der Aggregate. Entsprechend dem Stokes'schen Gesetz folgt daraus für Sedimentationsanlagen eine im Quadrat des Partikeldurchmessers gesteigerte Sinkgeschwindigkeit. Bei der Abwasserfiltration im Sandfilter erhöht sich die Trennleistung infolge des mechanischen Partikelrückhalts in den Zwickeln des Sandbetts.

Belebtschlammflocken
und
Biofilme

erfüllen - potentiell zumindest die oben skizzierten Anforderungen an die morphologische Struktur von Bioaggregaten. Als "Belebtschlammflocke" bezeichnet man Zellverbände, die sich in Suspensionsreaktoren bilden. Die Ansiedlung von Zellverbänden auf festen Aufwuchsflächen nennt man "Biofilm" Um Belebtschlammflocken vom Wasser abtrennen zu können, wird der Belebtschlamm aus dem Suspensionsreaktor (Belebungsbecken) in ein Sedimentationsbecken (Nachklärbecken) geleitet (Abb. 2). Dort herrschen stark verminderte hydraulische Scherkraftbedingungen, so daß Flockung und Sedimentation stattfinden können.

In Biofilm-Reaktoren ist die Stofftrennung ein integraler Bestandteil der Stoffumwandlungsprozesse. Abwasserinhaltsstoffe, die von den Mikroorganismen aufgenommen und zu Biomasse verstoffwechselt wurden, sind in Form von Biofilmen bereits vom Abwasser getrennt. Allerdings kommt es im Verlauf der Zeit zu einer Akkumulation von Biofilmen auf den Aufwuchsflächen. Dies hat in mehrfacher Hinsicht negative Folgen (HARREMOES et al. 1993). Behindert wird der Stofftransport zu den

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

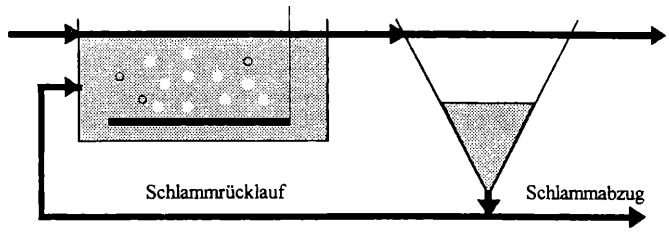

Abbildung 2

Verfahrensschema einer Belebungsanlage bestehend aus einem Suspensionsreaktor und einem nachgeschalteten Sedimentationsbecken

tiefer liegenden Schichten des Biofilms, so daß es dort zu Mangelerscheinungen kommt (Unterversorgung mit Nährstoffen und/oder Sauerstoff). Zudem wächst der freie Porenraum in einem Biofilm-Reaktor zu, was bis zur Verstopfung des Reaktors führen kann. Um die Biofilm-Dicke einzugrenzen, werden Erosions- und Abrasionsvorgänge künstlich geschaffen. Zusätzlich kommt es natürlicherweise zu Bewuchsablösungsvorgängen. Somit wird Biomasse aus den Biofilm-Reaktoren ausgetragen, in einem nachgeschalteten Absetzbecken sedimentiert und aus dem System schließlich ausgeschleust.

Der Zusammenhalt von Zellen in Form von Belebtschlammflocken und Biofilmen wird durch extrazelluläre polymere Substanzen (EPS) ermöglicht. Diese werden von einem Teil der in der Flocke oder im Biofilm siedelnden Mikroorganismenarten selbst hergestellt. Sie bestehen im wesentlichen aus Polysacchariden und Polypeptiden (Exoenzyme). Die Polysaccharide haben vermutlich die Funktion einer Diffusionssperre gegen das Abdiffundieren der Exoenzyme aus dem unmittelbaren Umfeld der Zelle (CHARACKLIS et al. 1989). Zu den Arten, die in Belebtschlammflocken und Biofilmen vorkommen, nicht aber zur Flocken- und Filmbildung beitragen, gehören fadenförmig wachsende Bakterien- sowie sessile Protozoenarten.

Um die Aufgaben der biologischen Abwasserreinigung erfüllen zu können, ist es notwendig, Mikroorganismenarten zur Bildung von EPS anzuregen, damit sich gut sedimentierbare Belebtschlammflocken oder Biofilme bilden können.

In den Flocken und Biofilmen sollen sich Organismenarten ansiedeln, die in der Lage sind, die Abwasserinhaltsstoffe zu Biomasse, ausstrippbaren Gasen oder gewässerökologisch unbedenklichen Produkten zu verstoffwechseln. In Bezug auf die Stickstoffentfernung aus Abwasser werden dazu Bakterienarten gebraucht, die ammonifizieren können, ebenso Arten, die nitrifizieren bzw. denitrifizieren. Phosphor läßt sich durch Einbau von Phosphor bei der Biomassensynthese sowie durch Akkumulation von Polyphosphaten in Bakterienzellen aus dem Abwasser entfernen. Zur Phosphorelimination werden also auch phosphorakkumulierende Arten benötigt.

Solche Arten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Milieuanforderungen und hinsichtlich ihrer Vermehrungsgeschwindigkeiten stark voneinander. Nitrifikanten beispielsweise vermehren sich nur sehr langsam und benötigen gelösten Sauerstoff als terminalen Elektronenakzeptor. Umgekehrt vermehren sich Denitrifikanten schnell. Sie denitrifizieren allerdings nur, wenn kein gelöster Sauerstoff, dafür aber Nitrat als terminaler Elektronenakzeptor zur Verfügung steht. Die Aufgabe des Kläranlagenverfahrenstechnikers besteht nun darin, die z.T. gegensätzlichen Milieuansprüche der zur Abwasserreinigung benötigten Organismenarten zu erfüllen. Dies alles muß vor dem Hintergrund einer stetig wechselnden und nur begrenzt vorhersehbaren Situation im Kläranlagenzulauf geschehen. Aufzubauen sind heterogen zusammengesetzte, hoch-komplexe Lebensgemeinschaften. Die Einstellung der "richtigen" Konstellation der Umweltfaktoren ist ausschlaggebend für den Erfolg der biologischen Abwasserreinigung. Wie erreicht man das?

3. Manipulation mikrobieller Lebensgemeinschaften in Anlagen zur biologischen Abwasserreinigung

Das Belebungsverfahren hat sich seit seiner Einführung in den Jahren 1914 bis 1927 zu dem weltweit am häufigsten eingesetzten Verfahren zur biologischen Abwasserreinigung entwickelt. Das Verfahrensschema ist in Abbildung 2 skizziert. Wie bereits erwähnt, besteht es aus zwei Verfahrenselementen, dem Belebungsbecken und dem Nachklärbecken. Diese werden nacheinander durchströmt und sind zudem miteinander durch einen sogenannten Schlammrücklauf verknüpft.

Durch Rückführung eines Teilstroms des aus dem Nachklärbecken abgezogenen Sediments (ca. 100% des Kläranlagenzulaufs) verfolgt man das Ziel, die Biomassenkonzentration im Belebungsbecken und damit die Geschwindigkeit der Stoffumsatzreaktionen künstlich anzuheben. Formelmäßig läßt sich der Zusammenhang wie folgt ausdrücken:

$$r_{s,v} = c_x \cdot r_{s,x}$$

	Geschwindigkeit (Rate, r) der Substrataufnahme (S) durch die Biomasse, bezogen auf die Volumeneinheit (V); Dimension z.B. mg/l,h
	Geschwindigkeit (Rate, r) der Substrataufnahme (S) durch die Biomasse, bezogen auf die Biomasse (X); Dimension z.B. mg/g oTS, h
c_x	Biomassekonzentration, Dimension z.B. g oTS/l
oTS	organische Trockensubstanz

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Mit dieser Festlegung ist das Belebungsverfahren zunächst verfahrenstechnisch als ein System bestimmt, das durch einen kontinuierlichen Abwasserzustrom und eine Rücklaufführung des abgesetzen Belebtschlamms gekennzeichnet ist. Das biologische System schwenkt nach Ablauf einer Einarbeitungszeit von mehreren Tagen bis Wochen (charakteristische Zeit, gekennzeichnet durch die Vermehrungsrate der verfahrenswichtigen Organismengruppen, z.B. der Nitrifikanten) in einen quasistationären Zustand ein.

Bei dieser Betrachtung wird allerdings völlig außer acht gelassen, daß die in dem System zirkulierenden Mikroorganismen in einem Zeitraster, das einer im Bereich von Stunden liegenden charakteristischen Zeit entspricht, ganz unterschiedlichen Milieubedingungen ausgesetzt werden. Die Milieubedingungen verändern sich dabei teilweise infolge der tagestypischen Zulaufschwankungen (Stoffzusammensetzung und Stoffkonzentration im Zulauf), zu einem anderen, ebenso wichtigen Teil durch die andersartigen Bedingungen im Belebungsbecken und im Nachklärbecken. Im Belebungsbecken herrscht beispielsweise hohe Turbulenz, und Sauerstoff ist verfügbar, während im Nachklärbecken Sauerstoffmangelsituationen auftreten, und die Turbulenz sehr klein gehalten wird. Die im System zirkulierenden Bakterien werden den zuletzt genannten Milieufaktoren in kurzer Abfolge periodisch und auf Dauer ausgesetzt. Obwohl eine Belebungsanlage also kontinuierlich durchströmt wird, trägt sie doch aus biologischer Sicht stark die Züge eines periodischen, instationären Systems.

Steigern läßt sich der zyklische Charakter des Belebtschlammsystems, wenn das Belebungsbecken nicht als voll durchmischter Rührkessel (Abb. 2), sondern als Rührkesselkaskade ausgebildet wird (Abb. 3). In diesem Fall entwickelt sich von Becken zu Becken ein stufenweiser Abfall der mittleren Substratkonzentration. Bei entsprechender Größe der Beckenvolumina kann erreicht werden, daß die Substratkonzentration im ersten Kaskadenbecken hoch, im letzten Kaskadenbecken aber nahezu Null ist - genau dieses soll zum Schutze des Vorfluters ja gerade erreicht werden.

Für die in dem System zirkulierenden Bakterien bedeutet eine solche Situation gewissermaßen ein "Wechselbad" Die Bakterien gelangen periodisch in Zonen, in denen das Nährstoffangebot günstig und Vermehrung daher möglich ist (Kaskadenbecken 1). Kurze Zeit später werden die Bakterien dagegen in Zonen verfrachtet (Kaskadenbecken 3), in denen Nährstoffmangel herrscht. Die Auswirkungen solcher Wechselbedingungen sind signifikant. Die Praxis zeigt, daß die periodische Veränderung des Umweltfaktors "Nährstoffkonzentration" eine wichtige Voraussetzung für die Stabilität des Belebungsverfahrens ist und damit für das langfristig stationäre Verhalten des Systems. Im wesentlichen sind es vier Wirkungen, die erzielt werden:

1. Steigerung der Akkumulation von EPS;
2. Verminderung der Populationsstärke fadenförmig wachsender Bakterienarten;
3. Steigerung der physiologischen Aktivität der Belebtschlammbiozönose insgesamt;
4. Verminderung der Klärschlammproduktion (gleichbedeutend mit Biomassenproduktion bzw. Zellertrag).

Durch die Steigerung der EPS-Produktion wird die Bildung von Belebtschlammflocken verbessert. Vermutlich findet die EPS-Synthese bevorzugt während der Hungerphase im letzten Kaskadenbecken statt (WILDERER et al. 1986). Als Baustoffe für die EPS-Bildung dienen dann Reservestoffe, die zuvor im Kaskadenbecken 1 angelegt wurden. Durch die Zirkulation der Bakterien im System werden die Reservestoffspeicher in kurzen Zeitabständen immer wieder gefüllt. EPS reichert sich folglich an. Diese Hypothese erscheint aufgrund praktischer Erfahrungen plausibel. Ein lückenloser Nachweis der Gültigkeit der Hypothese fehlt jedoch noch.

Bewiesen ist dagegen, daß durch periodische Anhebung der Substratkonzentration fadenförmig wachsende Bakterienarten zugunsten flockenbildender Arten vermindert werden (CHUDOBA et al. 1985). Der Grund hierfür ist in den unterschiedlichen Wachstumsraten (u) der beiden Organismengruppen (Flockenbildner, Fadenbildner) zu sehen.

Zusammengenommen haben die unter Punkt 1 und 2 beschriebenen Phänomene unmittelbare Auswirkungen auf die Sedimentierbarkeit des Belebtschlamms und somit auf die langfristige Betriebsstabilität des Belebungsverfahrens. Quantifizierbar wird dieser Einfluß an den Werten für den Parameter "Schlammvolumenindex" (ISV). Abb. 4 zeigt den Verlauf des ISV-Werts in Abhängigkeit des Anstiegs der Substratkonzentration (gemessen als gesamter organisch gebundener Kohlenstoff, TOC) im ersten Kaskadenbecken gegenüber der Substratkonzentration im letzten Kaskadenbecken. Je höher der ISV-Wert liegt, um so schlechter sedimentiert der Belebtschlamm. Ganz offensichtlich muß in einer Belebungsanlage ein Mindest-Konzentrationsanstieg eingestellt werden, um ausreichend gute Absetzeigenschaften zu garantieren.

Eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Belebtschlammbiozönose in einer Kaskaden-Belebungsanlage gegenüber einer Biozönose, die in einem voll-durchmischten Rührkessel aufwächst, ist damit zu erklären, daß Bakterien, die häufig erhöhten Substratkonzentrationen ausgesetzt sind, ihr Enzymsystem stärker ausbauen als Arten, die ständig im Bereich niederer Substratkonzentrationen gehalten werden. Diese Erklärung gilt natürlich nur, wenn in der Rührkessel-Anlage einerseits und in der Kaskaden-Anlage andererseits gleiche Ablaufkonzentrationen erreicht werden. Dies ist gesetzlich

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

vorgeschrieben (z.B. Wasserhaushaltsgesetz der Bundesrepublik Deutschland) und daher eine Grundvoraussetzung.

Daß vergleichsweise weniger Biomasse entsteht, könnte auch damit erklärt werden, daß die Zellen mit dem Auffüllen von Reservestoffspeichern und der Umwandlung von Speichersubstanzen in EPS einen erhöhten Anteil des zugeführten Substrats zur Energiebereitstellung verwenden müssen. Diese Hypothese ist jedoch experimentell noch nicht ausreichend abgesichert.

Nun kann man noch einen Schritt weitergehen und nur Teile der Belebungsbeckenkaskade belüften, andere dagegen unbelüftet lassen. Die Belebtschlammorganismen werden dann periodisch anaeroben, anoxischen (Verfügbarkeit von Nitrat oder Nitrit als terminalem Elektronenakzeptor) und aeroben Milieubedingungen ausgesetzt. In der Praxis der biologischen Abwasserreinigung wird dies praktiziert mit dem Ergebnis, daß Nitrifikanten und Denitrifikanten sowie Mikroorganismen, die zur vermehrten Phosphateinlagerung befähigt sind, in eine Lebensgemeinschaft "gezwungen" werden.

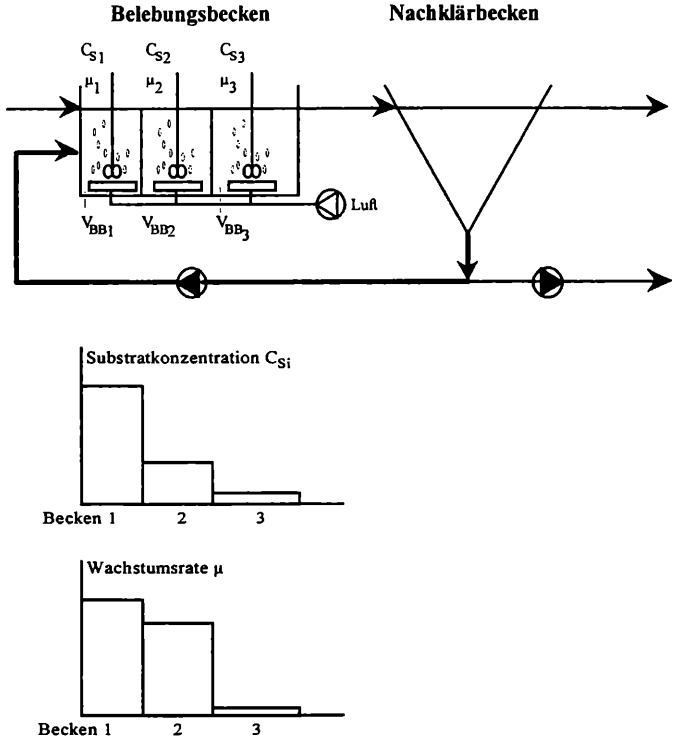

Abbildung 3

Einfluß der Kaskadierung des Belebungsbeckens auf die Entwicklung der Substratkonzentration und der mittleren Wachstumsrate der heterotrophen Bakterien im Belebtschlamm

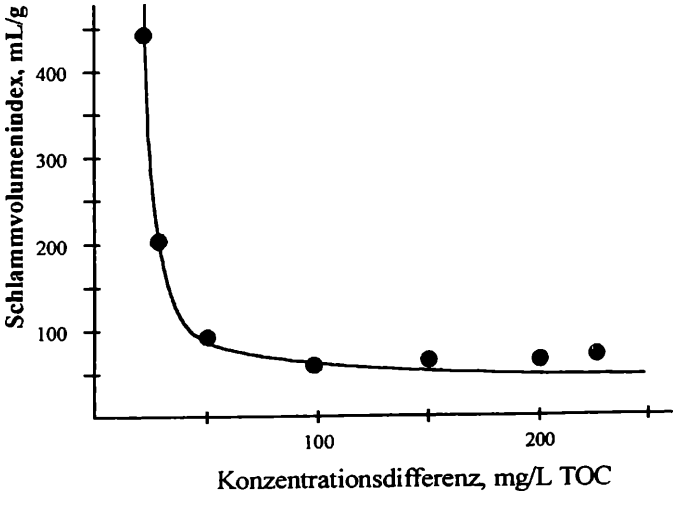

Abbildung 4

Zusammenhang zwischen Konzentrationsdifferenz zwischen dem ersten und letzten Becken einer Belebungsbeckenkaskade und dem Schlammvolumenindex

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

4. Probleme und Lösungsansätze

Die oben geführte Diskussion zeigt, daß moderne Anlagen zur biologischen Abwasserreinigung ganz offensichtlich auf dem Prinzip der periodischen Variation von Milieufaktoren aufbauen. Die periodische Veränderung von Milieufaktoren erweist sich nach unseren bisherigen Erkenntnissen als eine wirkungsvolle Methode, die Artenzusammensetzung und das physiologische Leistungsspektrum mikrobieller Lebensgemeinschaften gezielt zu beeinflussen. Durch kurzfristige instationäre Bedingungen wird die Grundlage für langfristige stationäre Betriebsverhältnisse in Abwasserreinigungsanlagen gelegt.

Daß die Periodizität von Milieufaktoren für den Erfolg der biologischen Abwasserreinigung verantwortlich ist, wird allerdings in der Abwasserfachwelt bisher nur schemenhaft erkannt. Ebenso hat diese Erkenntnis in der Mikrobiologie und in der mikrobiellen Ökologie bisher keinen nachhaltigen Eingang gefunden.

Periodische Veränderungen werden in der Mathematik mit den Parametern Frequenz und Amplitude beschrieben. Der Begriff Frequenz kennzeichnet im vorliegenden Fall die Häufigkeit, mit der die Mikroorganismen bestimmten Milieubedingungen (z.B. hohe oder niedere Substratkonzentration, Verfügbarkeit oder Mangel an gelöstem Sauerstoff etc.) ausgesetzt werden. Mit dem Begriff Amplitude lassen sich beispielsweise die Konzentrationsunterschiede kennzeichnen, die zur Ausbildung gut absetzbarer Belebtschlämme notwendig sind.

Die Möglichkeiten, Frequenz und Amplitude von Umweltfaktoren mit Schlüsselfunktion zu kontrollieren, sind in der Abwasserverfahrenstechnik allerdings begrenzt. Ursache hierfür sind beispielsweise die zu einem erheblichen Teil witterungsabhängigen Schwankungen des Volumenstroms im Zulauf biologischer Kläranlagen. Aufgrund der Variation des Zulaufvolumenstroms ändert sich die Verweilzeit in den einzelnen Kaskadenbecken einer Belebungsanlage und somit die für den Erfolg einzelner Maßnahmen erforderliche Frequenz der Änderung der Milieufaktoren.

Um hier einen Schritt weiterzukommen, wurde von IRVINE (1979) das sogenannte Sequencing Batch Reactor (SBR-Verfahren) vorgeschlagen, ein Verfahren, dessen Vorzüge zwischenzeitlich sowohl in der Technik wie auch in der Forschung vielfach nachgewiesen werden konnten.

Statt einer kontinuierlichen Beschickung wird das zu reinigende Abwasser chargenweise in den Bioreaktor eingeleitet. Nach Abschluß des Füllvorgangs werden in einer zeitlichen Sequenz Prozeßphasen wie Belüftung, Mischung unter Sauerstoffabschluß, Sedimentation und Abzug des gereinigten Abwassers durchgeführt (Abb. 5), wobei die Dauer der einzelnen Prozeßphasen und damit die Frequenz der Parameteränderung den jeweiligen Erfordernissen entsprechend eingestellt werden können.

Die Amplitude, mit der sich die Substratkonzentration im Verlauf eines Zyklus ändert, läßt sich durch Wahl der Füllgeschwindigkeit und der Volumenaustauschrate bestimmen (WILDERER et al. 1986).

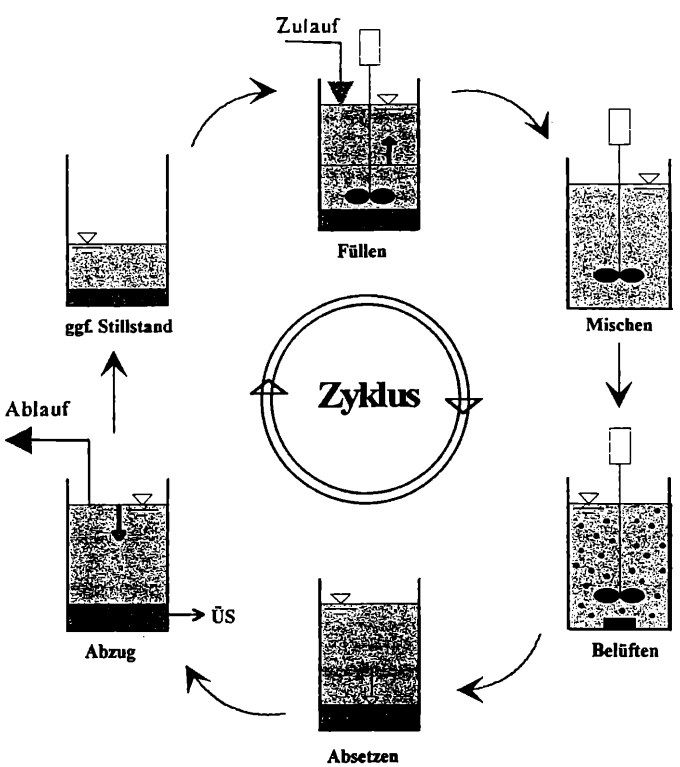

Abbildung 5

Prozeßschema des Sequencing Batch Reactor Verfahrens.
Im selben Becken werden nacheinander verschiedene Prozeßphasen durchlaufen. Durch zyklische Wiederholung der Prozeßphasen werden Wirkungen, die während eines einzelnen Zyklus auftreten, verstärkt.

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

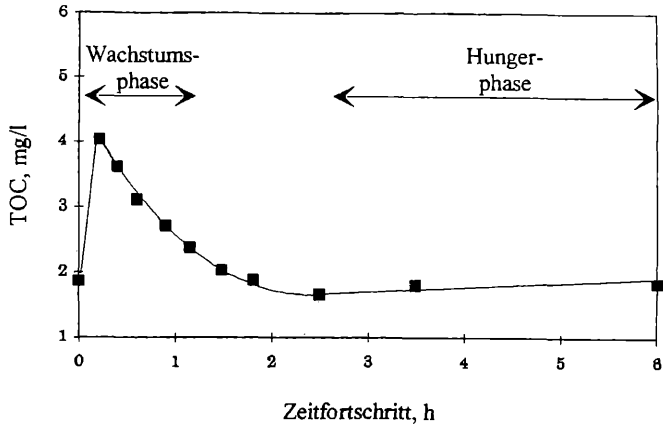

Abbildung 6

Typisches DOC-Profil, gemessen während eines SBR-Zykluses

Abbildung 6 zeigt einen typischen Verlauf der Konzentration gelöster organischer Abwasserinhaltsstoffe, gemessen als DOC (dissolved organic carbon) im Verlauf eines SBR-Zyklus. Deutlich ist die Konzentrationszunahme während der Füllphase zu erkennen sowie die im späteren Verlauf des Zyklus eintretende Hungerphase aufgrund Substratmangel.

Das SBR-Verfahren wird mittlerweile weltweit erfolgreich zur Reinigung kommunaler und industrieller Abwässer eingesetzt. In zahlreichen Abwasserlabors verwendet man das Verfahren, um Betriebsparameter für biologische Kläranlagen - auch für im Durchlauf betriebene Anlagen - zu gewinnen. Neuartig ist die Anwendung des SBR-Verfahrensprinzips zum Betrieb von Biofilm-Reaktoren (WILDERER 1992). Zur Entwicklung dieser Applikation werden derzeit auf der Kläranlage Ingolstadt Versuche im Pilotmaßstab durchgeführt.

Das Verfahrensprinzip wird vermehrt auch in der Grundlagenforschung eingesetzt, um neuartige Einblicke in das komplexe Wechselgeschehen zwischen Prozessen, Komponenten und Eigenschaften heterogener mikrobiologischer Systeme zu gewinnen. Eine systematische Anwendung zur Erforschung mikrobieller Lebensgemeinschaften steht aber noch aus. Gerade in diesem Bereich sind wichtige Erkenntnisse zu erwarten. Die Anwendung des SBR-Verfahrensprinzips in der mikrobiellen Ökologie wird als besonders vorteilhaft und gewinnbringend bewertet.

5. Zusammenfassung

Das Stoffumsatzgeschehen in Oberflächengewässern wie auch die Reinigungsleistung biologischer Kläranlagen wird maßgeblich von mikrobiellen Lebensgemeinschaften bestimmt. Der Lebensraum, innerhalb dessen solche Lebensgemeinschaften aufwachsen, wird durch eine Vielzahl sich wechselseitig beeinflussender Milieufaktoren festgelegt. Entsprechend ist das Leistungsspektrum, das eine bestimmte Lebensgemeinschaft kennzeichnet, ebenso wie deren morphologische Struktur durch die Konstellation der Milieufaktoren vorgegeben.
Die richtige Wahl der Faktorkonstellation ist für die erzielbare Reinigungsleistung biologischer Kläranlagen ausschlaggebend. Die meisten der Milieufaktoren sind in Kläranlagen allerdings nicht frei wählbar. Es zeigt sich jedoch, daß durch einen kurzeitigen periodischen Wechsel einzelner, manipulierbarer Milieufaktoren massiv auf die Struktur und Funktion von Lebensgemeinschaften eingewirkt werden kann.
Als besonders wirkungsvoll hat sich der Wechsel zwischen Verfügbarkeit und Mangel an organischen Nährstoffen sowie an gelöstem Sauerstoff bzw. Nitrit/Nitrat erwiesen. Beeinflußt wird einerseits die Bildung von Bioaggregaten (Belebtschlammflokken, Biofilmen) und deren Absetzbarkeit, andererseits die Vergesellschaftung und Aktivierung aerob und anaerob tätiger Organismenarten.
Um Mikroorganismen in Kläranlagen unter periodisch wechselnden Milieufaktoren aufwachsen zu lassen, sind bestimmte anlagen- und prozeßtechnische Voraussetzungen zu schaffen. Die Kreislaufführung von Belebtschlamm in einer kaskadierten Belebungsanlage bietet solche Voraussetzungen. Wegen des ständig wechselnden Zulaufvolumenstroms zu einer Kläranlage sind für diese Lösung die Kontrollmöglichkeiten aber begrenzt. Günstigere Bedingungen ergeben sich, wenn der biologische Reaktor chargenweise mit Abwasser beschickt, nach Beendigung des Füllvorgangs aber von dem Kläranlagenzulauf abgekoppelt wird. Anaerobe und aerobe Prozesse sowie der Trennung der Biomasse vom gereinigten Wasser können dann eigenen Gesetzen gehorchend in einer zeitlichen Reihenfolge ablaufen. Das Verfahren hat sich in der Praxis bewährt. Seine Nutzung für die Aufklärung ökologischer Fragestellungen wird angeregt.

Summary

Morphological structures and functions of microbial communities develop under force of a wide variety of milieu factors. For proper operation of

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

wastewater treatment plants specific structures and functions are required, but only a limited number of milieu factors can be controlled. Among the factors available for manipulation periodic variation of supply and lack of organic substrates and dissolved oxygen provides specifically strong influences. Effected are the formation of well settleable bioaggregates (activated sludge flocks, biofilms) as well as association and activation of groups of microorganisms such as nitrifiers and denitrifiers differing in their environmental requirements. Oscillation of feast-famine and/or aerobic/anaerobic conditions, respectively, can be achieved in practice by recirculation of biomass through a cascade of reactor basins. The Sequencing Batch Reactor (SBR) concept, however, provides even better possibilities of process control. Application of the SBR to study specific problems of microbial ecology is recommended.

6. Literatur

CHARACKLIS W.G. & P.A.WILDERER (eds.) (1989):
Structure and Functions of Biofilms. J.Wiley, Chichester.

CHUDOBA, J.; J.S. CZECH, J. FARKAC & P. GRAU (1985):
Control of Activated Sludge Filamentous Bulking - Experimental Verification of a Kinetic Selection Theory. - Wat.Res. 19, 191-196.

HARTMANN, L. (1960):
Die Beziehung zwischen Beschaffenheit, Leistungsfähigkeit und Lebensgemeinschaft der Belebtschlammflocke. Universität Karlsruhe, Habilitationsschrift.

HARREMOES P. & P.A. WILDERER (1993):
Fundamentals of Nutrient Removal in Biofilters.. Proc. 9th EWPCA-ISWA Symposium, Munich, 111-126.

IRVINE, R.L. & A.W. BUSCH (1979):
Sequencing Batch Biological Reactors - An Overview. - J.Wat.Poll.Contr.Fed. 57, 235-243.

WILDERER, P.A. & E.D. SCHROEDER (1986):
Anwendung des Sequencing Batch Reactor (SBR)-Verfahrens zur biologischen Abwasserreinigung. - Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Heft 4.

WILDERER, P.A. (1992):
Sequencing Batch Biofilm Reactor Technology. In: Harnessing Biotechnology for the 21st Century (M.R. Ladisch and A. Bose, eds.), Am.Chem.Soc., 475-479.

Anschrift des Verfassers:

Univ.Prof. Dr. Ing. Peter A. Wilderer
Lehrstuhl und Prüfamt für
Wassergüte- und Abfallwirtschaft
Technische Universität München
D-85748 Garching

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge (LSB)

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: 3_1997

Autor(en)/Author(s): Wilderer Peter

Artikel/Article: Einfluß periodischer Veränderungen von Milieubedingungen auf mikrobielle Lebensgemeinschaften 99-106