

## Belebungsverfahren ohne Nachklärbecken

Kh. Krauth

Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft  
der Universität Stuttgart

**Kurzfassung:** Es werden alle möglichen Belebungsverfahren ohne Nachklärbecken beschrieben. Einen Schwerpunkt bilden die Membranverfahren. Die Verfahrenstechnik der Rohrmodule, Kissenmembranen, Platten- und Hohlfasermodule wird ebenso beschrieben, wie die Leistung dieser Verfahren in Abhängigkeit vom Schlammalter und der zugehörigen Überschussschlammproduktion. Die Untersuchungsziele und das Versuchsprogramm eines Vergleichs von Platten- und Hohlfasermodulen im technischen Maßstab sind aufgeführt. Die Zukunftsperspektiven des Belebungsverfahrens mit Membranen zur Abscheidung der Biomasse sind in der Verwertung des gereinigten Abwassers und der minimalen Überschussschlammproduktion zu sehen.

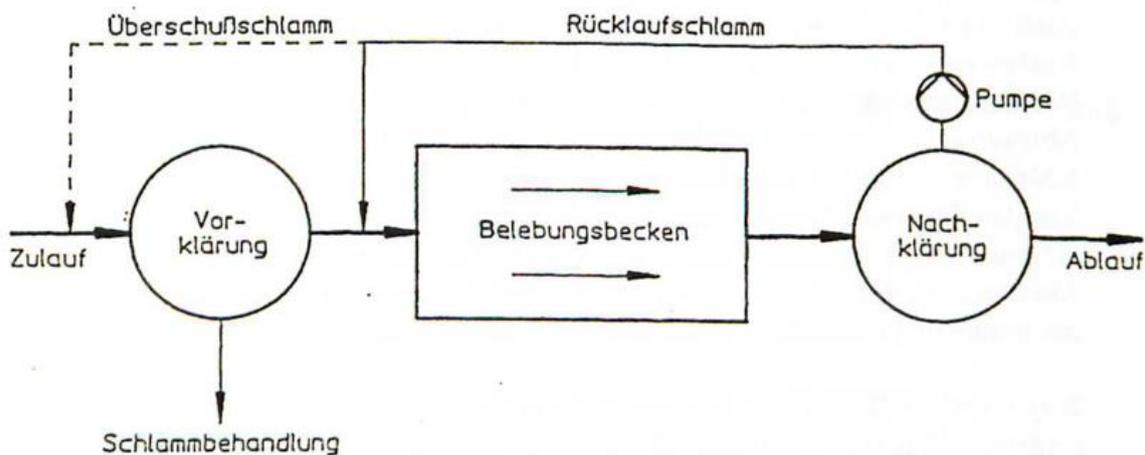
**Key words:** Belebungsverfahren, Ultrafiltration, Mikrofiltration, Überschussschlammproduktion, Kohlenstoffentfernung, Stickstoffelimination

### 1 Konventionelle biologische Verfahren

Das weltweit am häufigsten eingesetzte Verfahren zur biologischen Abwasserreinigung ist das Belebungsverfahren. Es hat aber folgende Nachteile aufzuweisen:

- Biomassenkonzentration über  $5 \text{ kg/m}^3$  sind nur selten realisierbar.
- Der Rücklaufschlamm belastet hydraulisch stark das Nachklärbecken.
- Eine vollständige Abtrennung der Biomasse vom gereinigten Abwasser ist nicht möglich, damit ist der Ablauf auch nicht keimfrei.

- Es entsteht behandlungsbedürftiger Überschussschlamm in erheblichem Umfang.
- Die O<sub>2</sub>-Zufuhr ist oft limitierend.
- Eine Abluftbehandlung ist nur schwer möglich.



**Abbildung 1:** Belebungsverfahren

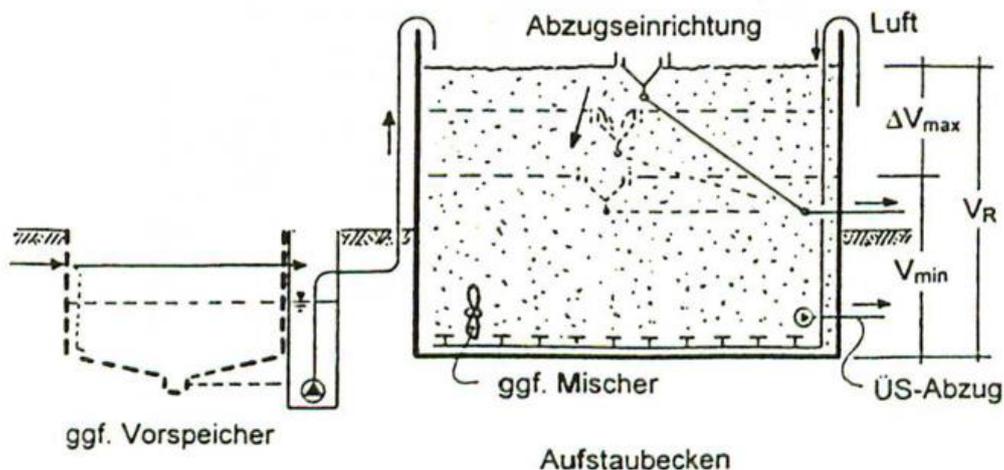
Diese Art der biologischen Reinigung führt zu einem relativ großen Flächenbedarf für die biologische Reinigung und erfordert zusätzliche Schlammbehandlungsanlagen. Bei allen konventionellen biologischen Verfahren enthält der Ablauf dieser Anlagen noch 5-15 mg/l an partikulärer Substanz und freischwimmende, nicht flockenbildende Organismen.

Problematisch zumindest teuer ist bei allen biologischen Verfahren die Einstellung eines hohen Feststoffgehaltes in der suspendierten oder in der immobilisierten Phase.

## 2 Ersatz der Nachklärung durch andere Verfahren

### 2.1 Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb

Bei dieser Sonderform des Belebungsverfahrens findet sowohl die biologische Reinigung als auch die Abtrennung des belebten Schlammes in einem Becken statt.



**Abbildung 2:** Prinzipschema einer Belebungsanlage mit Aufstaubetrieb

Das wichtigste ist hierbei die Einrichtung für den Klarwasserabzug.

### 2.2 Flotation

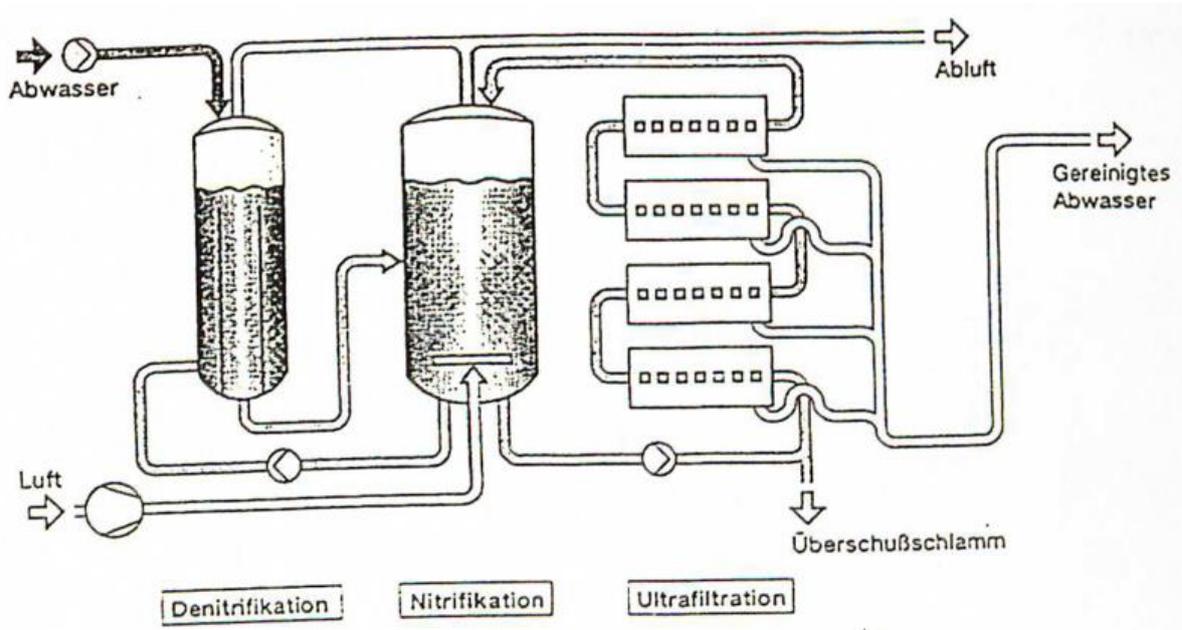
Bei einem belebten Schlamm mit einem hohen Index oder bei tiefen Belebungsbecken bietet es sich an, die Flotation auch zur Nachklärung einzusetzen. Obwohl die Versuche in unserem Institut im Jahre 1983 und die Versuche in Berlin in den letzten Jahren sehr erfolgversprechend waren, kam es bisher noch zu keiner Flotation bei kommunalem Abwasser, um damit die Nachklärung einzusparen.

### 2.3 Membranen

Basierend auf ersten Versuchen von Prof. Kayser begannen wir in Stuttgart im Jahre 1982 mit Vorversuchen über die grundsätzliche Eignung der Membrantechnik als Ersatz für die konventionelle Nachklärung.

Mitte 1985 hat uns das BMBF in Bonn erstmalig ein Forschungsvorhaben bewilligt, das sich mit dieser Thematik beschäftigt.

Im Jahre 1991 fand die erste technische Anwendung bei der biologischen Reinigung des Sickerwassers der Sonderabfalldedponie in Billigheim statt.



**Abbildung 3:** BIOMEMBRAT-Verfahren in Billigheim

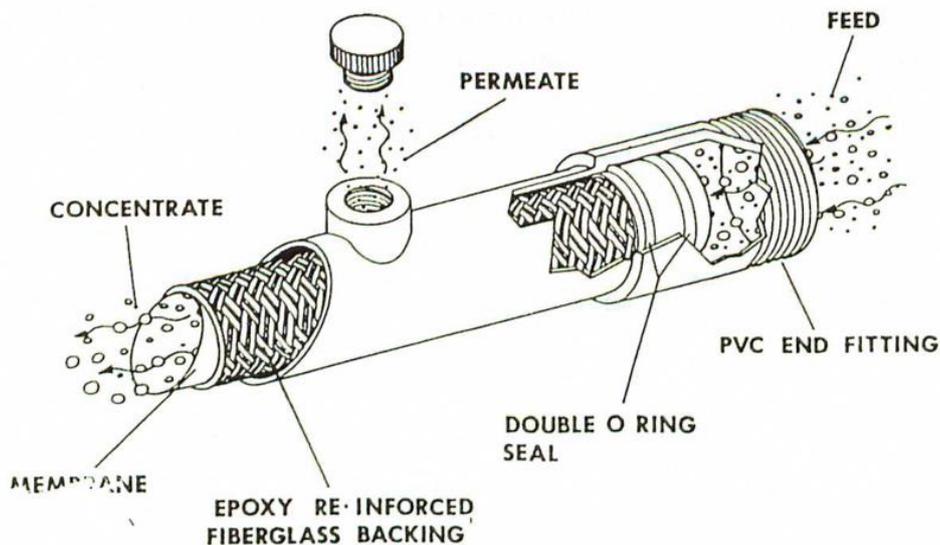
Inzwischen gibt es in Deutschland ca. 40 Belebungsanlagen, bei denen der belebte Schlamm durch Membranen vom gereinigten Abwasser abgetrennt wird, davon sind 25 Biomembrat-Anlagen. Bei diesen Anlagen wird Sickerwasser aus Abfallbehandlungsanlagen oder Industrieabwasser behandelt.

Der technische Einsatz im kommunalen Bereich wird derzeit angegangen.

Der Erftverband plant derzeit für eine 3000 EW Gemeinde mit Mischkanalisation eine Belebungsanlage mit einer Membrananlage zur Abtrennung des belebten Schlammes. Beim AZV Lipbach in Immenstaad (Bodensee) finden derzeit Versuche im technischen Maßstab mit zwei unterschiedlichen Membransystemen statt. Das Interesse der Siedlungswasserbauer an der Membrantechnik für den Einsatz im kommunalen Bereich hat explosionsartig zugenommen.

Im Jahre 1997 finden erstmalig vier Veranstaltungen in Aachen, Hannover, Esslingen und Stuttgart, alleine zu dieser Thematik statt.

Für die Abtrennung des belebten Schlammes vom gereinigten Abwasser kommen Porenmembranen zum Einsatz, die den Siebeffekt als Trennmechanismus ausnutzen. Um eine hohe und gleichbleibende Fluxrate zu erreichen, muß eine ausreichende Überströmgeschwindigkeit der Membranoberfläche gegeben sein.



**Abbildung 4:** Prinzipieller Aufbau von Einrohrmodulen

Bei den Rohrmodulen ist die Geschwindigkeit mit 3-7 m/s am höchsten und gewährleistet bei einem Transmembrandruck von 2 bis 5 bar Fluxraten bis zu  $0,3\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ . Eine Spülung oder Reinigung ist bei den Rohrmodulen nicht notwendig. Bei den im Belebungsbecken installierten Membranen erfolgt die Aufrechterhaltung der Fluxraten durch die Strömung infolge der Belüftung des Beckens. Die hier erreichten wesentlich geringeren Überströmgeschwindigkeiten, verbunden auch mit einem wesentlich geringeren Transmembrandruck, lassen eine Fluxrate in der Größenordnung von 10 bis  $60\text{ l}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  zu.

Bei den im Belüftungsbecken installierten Modulen, muß das Permeat abgepumpt oder ein entsprechender Überstau erzeugt werden. Eine Spülung der Module ist grundsätzlich vorgesehen.

Durch den Einsatz von Membranen zur Abtrennung des belebten Schlammes lassen sich folgende Vorteile erzielen:

- Die Biomassenkonzentration läßt sich bis um das 5 bis 10fache steigern.
- Der Ablauf enthält keine partikulären Stoffe und auch keine Bakterien oder Viren.
- Es muß kein Überschußschlamm entnommen werden, wenn der Anlage nur hydrolisierbare Stoffe zugeführt werden.
- Durch das mögliche extrem hohe Schlammalter ist der weitestgehendste biologische Stoffumsatz gegeben.
- Durch die Keimfreiheit ist eine Wiederverwendung des gereinigten Abwassers möglich.

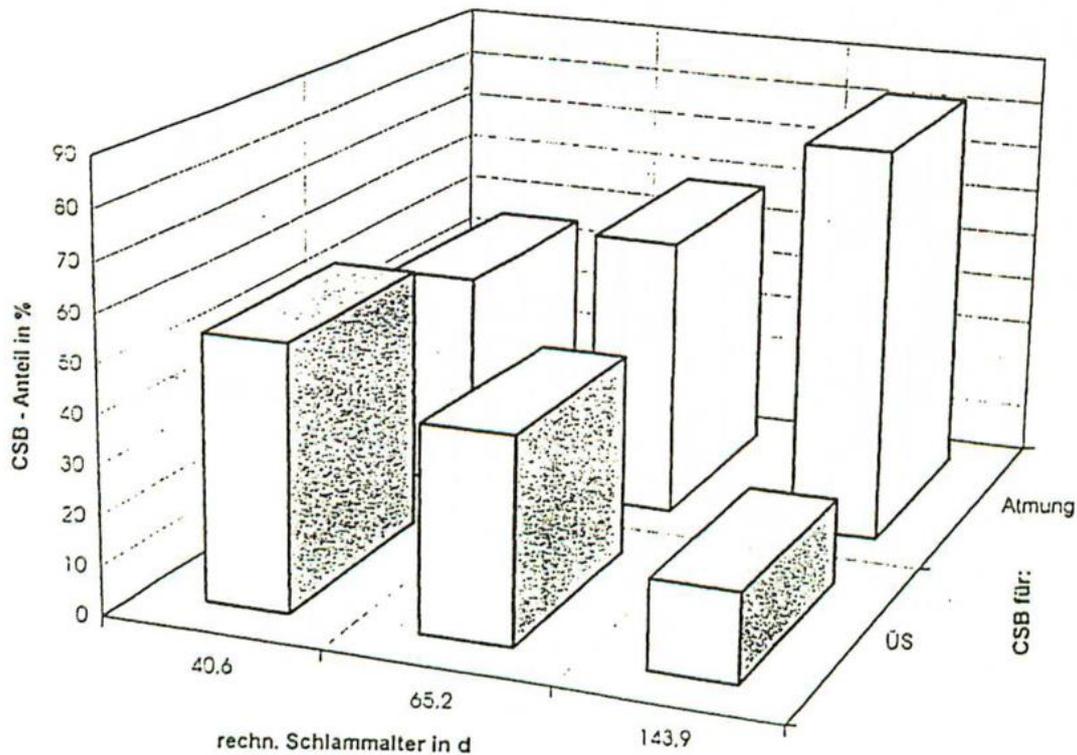
### 3 Überschußschlammproduktion

Bei konventionellen Belebungsanlagen entsteht pro kg zugeführtem BSB<sub>5</sub> ein Überschußschlammfall von 0,5 bis 1 kg TS. Bereits 1986 - 1988 hatten wir bei Versuchsabschnitten mit kommunalem Abwasser über mehrere Monate eine ÜS-Produktion unter 0,1 kg/kg. Der höchste Monatsmittelwert lag bei 0,5 kg/kg. Wir führten diese geringe ÜS-Produktion auf den Überdruck in unserer Druckbelebungsanlage zurück.

Bei genauer bilanzierten Versuchen mit Abwasser aus der Lederherstellung stellten wir bei einem Anstieg des rechnerischen Schlammalters von 40 auf 150 Tage fest, daß die Veratmung des zugeführten CSB von 40% auf 80% zunimmt bei entsprechender Abnahme des Biomassenwachstums.

Auch bei vielen Deponiesickerwasserbehandlungsanlagen mit und ohne Überdruck sowie bei Industrieabwasserbehandlungsanlagen mit Überdruck, wird immer wieder von einer extrem geringen Überschußschlammproduktion berichtet.

Erst nach den Versuchen von Muller (1994) mit vorgeklärtem häuslichen Abwasser ist eindeutig klargeworden, daß die geringe ÜS-Produktion nicht auf den Überdruck in der Belebungsanlage, sondern auf ein Schlammalter über 150 d zurückzuführen ist.



**Abbildung 5:** Lederabwasser, Verteilung des elim. CSB auf die einzelnen Fraktionen

Bei häuslichem gut vorgeklärtem Abwasser geht bei einer CSB-Schlammbelastung von 0,02 bis 0,04 kg/(kg.d), die ÜS-Produktion gegen Null. Bei konventionellen Belebungsanlagen (N/DN) beträgt die CSB-Schlammbelastung ca. 0,14 kg/(kg.d). Bei einem Feststoffgehalt von 4 g/l entspricht dies einer CSB-Raumbelastung von 0,56 kg/(m<sup>3</sup>.d). Bei einem Feststoffgehalt von 25 g/l ergibt sich eine zulässige CSB-Raumbelastung von 0,5 bis 1 kg/(m<sup>3</sup>.d) bei minimaler ÜS-Produktion. Wir können somit bei gleichem Belebungsbeckenvolumen, wie heute eine wesentlich weitergehende Entnahme der Kohlenstoff- und Stickstoffelimination erreichen bei gleichzeitiger minimierter ÜS-Produktion.

**Abbildung 6** zeigt den Zusammenhang zwischen der Schlammproduktion und der CSB-Schlammbelastung im Verlauf über 220 Tage. Die dazugehörige Flußleistung und Überströmgeschwindigkeit sind aus **Abbildung 7** zu ersehen.

Ein höherer Feststoffgehalt als 25 g/l ist somit technisch ohne Probleme möglich. Die Flußrate nimmt dadurch aber signifikant ab, oder es muß eine höhere Überströmgeschwindigkeit erzeugt werden, was aber einen wesentlich höheren Energieverbrauch zur Folge hat.

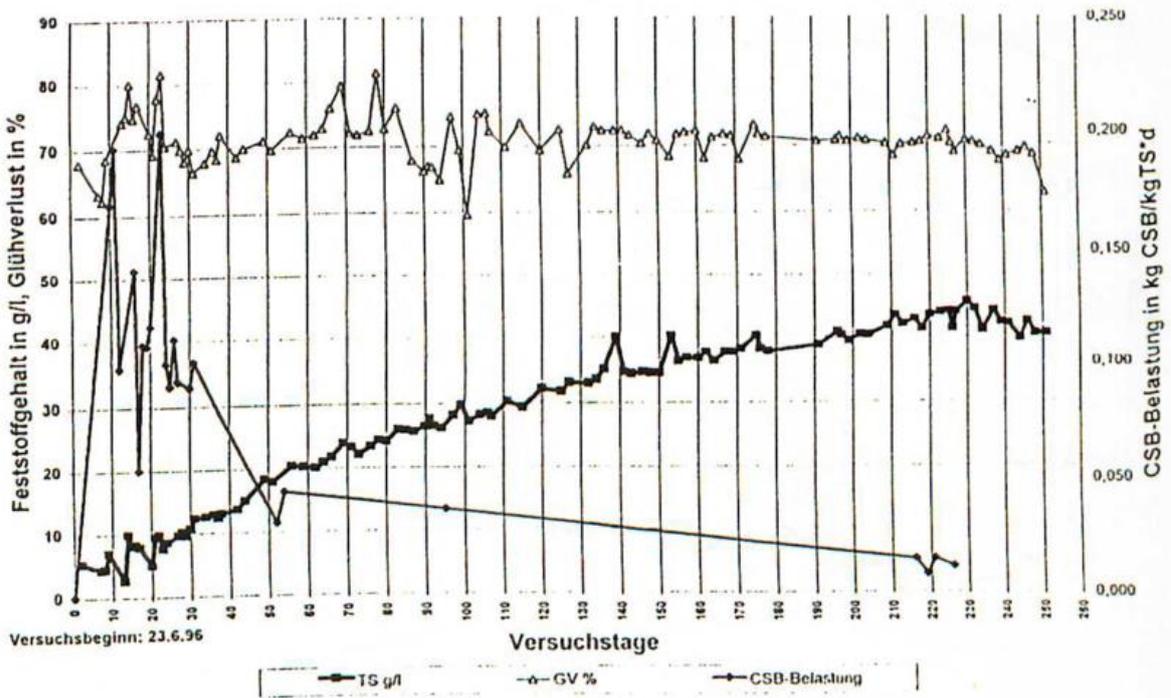


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen CSB-Belastung und Schlammproduktion

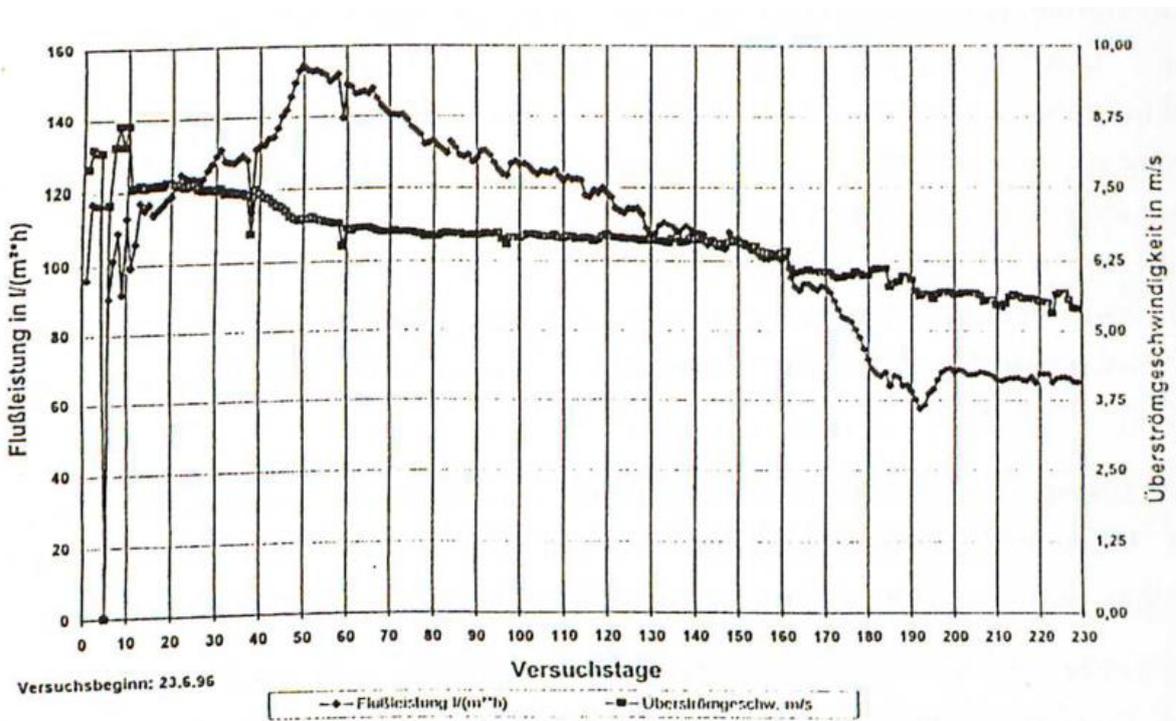
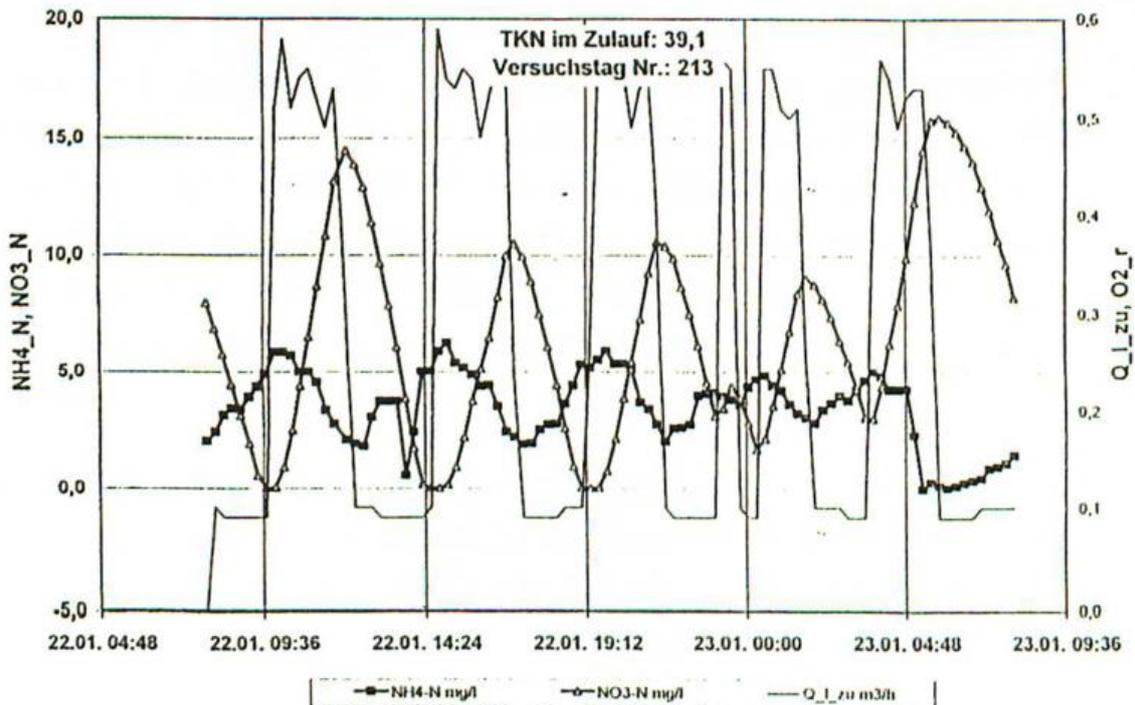


Abbildung 7: Veränderung der Flußleistung über einen langen Zeitraum

Die Stickstoffelimination - da kein ÜS-Schlamm abgezogen wird, ist diese ausschließlich auf die Denitrifikation zurückzuführen - mit der intermittierenden Fahrweise zeigt beispielhaft der Versuchstag 213 in **Abbildung 8**.



**Abbildung 8:** Stickstoffentfernung bei intermittierender Denitrifikation

Die minimalen Gehalte an anorganischem Stickstoff im Ablauf liegen bei 5 mg/l und die maximalen Werte bei 15 mg/l. Eine biologische Phosphatentfernung scheint ebenso realisierbar, wie die Simultanfällung bei einem Schlammalter bis zu 30 d. Bei einem wesentlich höheren Schlammalter muß auf eine Vorfällung übergegangen werden.

Der Betrieb einer Membrananlage mit minimiertem Überschußschlammanfall führt selbstverständlich zu einem höheren Sauerstoffverbrauch für die Kohlenstoffveratmung als bei einer konventionellen Belebungsanlage.

Pro kg abgebautem CSB werden hier ca. 1 kg O<sub>2</sub> benötigt. Das ist der doppelte Wert gegenüber der konventionellen Belebung.

## 4 Verfahrenstechnik der Membranen

### 4.1 Ultrafiltration mit Rohrmodulen

Die Abscheideanlage für den belebten Schlamm besteht aus Modulen mit Tubularmembranen, die in Blöcken gebündelt sind und den Umwälzpumpen.

Die Pumpenbeschickung führt zum Transmembrandruck von 2 bis 6 bar und einer Strömung an der Oberfläche der Membranen von 4 bis 6 m/s. Die Überströmung ist erforderlich um zu verhindern, daß die Membrane belegt wird und der Permeatstrom zurückgeht. Bei richtigem Betrieb verändert sich der Permeatstrom innerhalb eines Jahres nicht. Soll eine Moduleinheit außer Betrieb genommen werden, so sind die Membranen mit Permeat zu spülen und in gefülltem Zustand bis zur Wiederinbetriebnahme zu belassen.

Die Rohrmodule haben einen Durchmesser von 6 bis 25 mm und eine Baulänge bis 6 m. Die Module sind in Modulblöcken parallel oder in Reihen geschaltet. In der Regel sind mindestens 3 Blöcke vorhanden, um sich einem variablen Volumenstrom anpassen zu können.

Nach unserer Erfahrung sind Membranen aus Polysulfon mit folgenden Eigenschaften am besten geeignet.

Porosität	in %	1,1
max. Porenweite	in mm	40
max. Transmembrandruck	in bar	10,0
max. Temperatur	in °C	90

Für den üblichen Einsatzfall bei kommunalem Abwasser ist bei einem Feststoffgehalt von 20 bis 30 kg/m<sup>3</sup>, einer Überströmgeschwindigkeit der Membranen von 4 bis 6 m/s, ein Flux von 0,1 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.h) für die Bemessung anzusetzen.

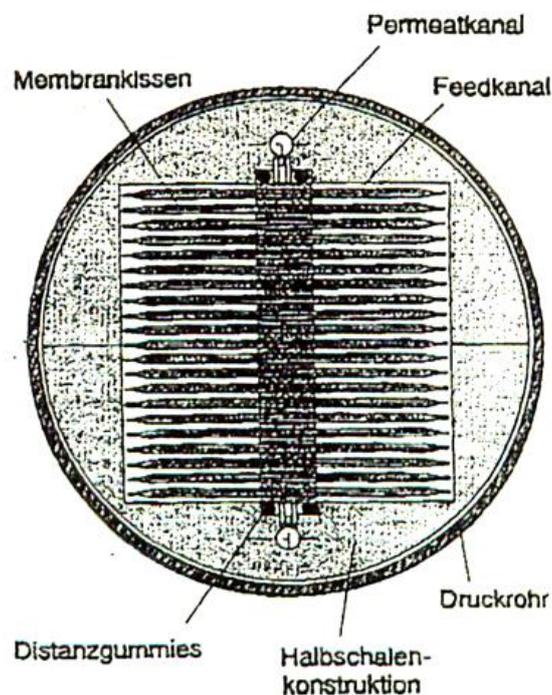
Insbesondere bei Industrieabwasser ist der Betrieb einer Versuchsanlage vor Auslegung der Anlage empfehlenswert.

Der Stromverbrauch für den Antrieb der Membranen liegt bei 2 bis 4 kWh/m<sup>3</sup> Permeat.

## 4.2 Ultrafiltration mit Kissenmodulen

Wegen des hohen Energieverbrauchs sind Rohrmodule bisher für den Einsatz im kommunalen Bereich weniger geeignet, da eine Wiederverwendung des gereinigten Abwassers in der Regel nicht angestrebt wird. Eine vielversprechende Neuentwicklung könnten die Kissenmodule sein.

Sie bestehen - **Abbildung 9** - aus zwei Membranen, zwei Permeatspacern und einer eingearbeiteten Trägerplatte.



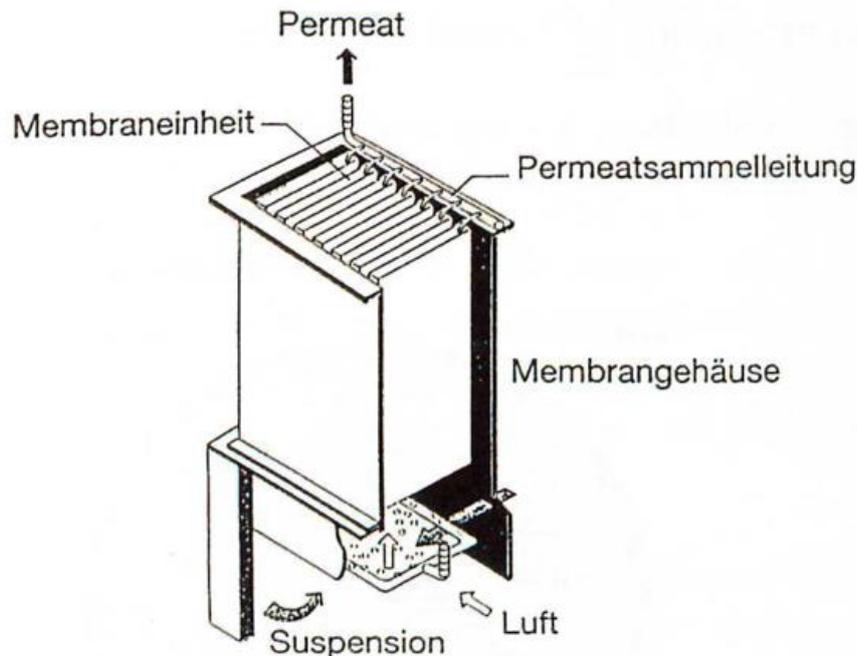
**Abbildung 9:** Querschnitt eines Kissenmoduls

Die Platten werden mit Distanzgummi aufeinander- gestapelt. Zwei Führungsstifte dienen der Fixierung des Stapels und ermöglichen gleichzeitig die Abfuhr des Permeats. Die Erprobungsphase für diese Art der Ultrafiltration ist noch nicht abgeschlossen.

## 4.3 Mikrofiltration mit getauchten Plattenmodulen

Die einzelnen Platten werden zu Modulen - **Abbildung 10** - zusammengefasst und direkt im Belebungsbecken über den Belüftungsaggregaten angeordnet. Durch das Anlegen eines Unterdruckes auf der Filterseite wird das gereinigte Wasser aus dem Prozess entnommen.

Das Membranmaterial besteht aus chloriertem Polyethylen. Die aufsteigenden Luftblasen und die Strömung sollen für die reinigenden Cross flow Strömung sorgen. Zur Unterstützung des Reinigungseffektes wird die Filtration periodisch für kurze Zeit unterbrochen.

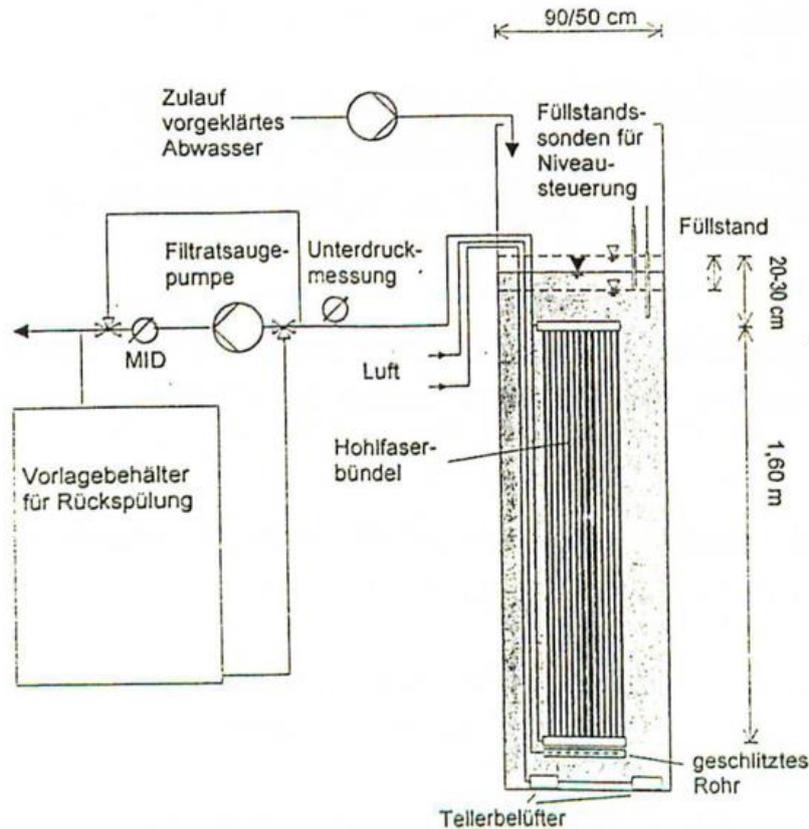


**Abbildung 10:** Anordnung der Plattenmodule

Eigene Versuche im Labormaßstab ergaben bei einem Feststoffgehalt von ca. 25 g/l einen Flux von  $0,40 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ .

#### 4.4 Mikrofiltration mit Hohlfasermodule

Bei diesem Verfahren bestehen die Membranen aus dünnen Rohren (Hohlfasern) von ca. 3 mm Außen- und 1,5 mm Innendurchmesser. Die Hohlfasern von ca. 2 bis 3 m Länge werden zu Bündeln zusammengefasst und an beiden Enden in die Permeatsammelrohre eingeklebt. Die unter den Membranmodulen eingetragene Luft erzeugt die notwendige Anströmung der Membranen.



**Abbildung 11:** Anordnung der Hohlfasermodule

Eigene Versuche im Labormaßstab ergaben bei einem Feststoffgehalt von ca. 25 g/l einen Fluß von ca.  $0,15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ .

## 5 Untersuchungsprogramm in Immenstaad

### 5.1 Untersuchungsziele

Dem Einsatz von Membranen als Ersatz der Nachklärung und der Möglichkeit hohe Feststoffgehalte im Belebungsbecken zu erreichen, wird als zukunftsorientierte Variante des bewährten Belebungsverfahrens betrachtet.

Das Land Baden-Württemberg und das BMBF in Bonn unterstützen daher Versuche im technischen Maßstab in Immenstaad/Bodensee.

Diese Versuche verfolgen folgende Ziele:

- Hydraulische Leistungsfähigkeit der Membranen bei Mischwasserzuflüssen (die hierzu notwendige Membranfläche bzw. das notwendige Membranvolumen darf das vorhandene Belebungsbeckenvolumen nicht überschreiten),
- dynamische Flexibilität der Membranen zur Bewältigung der stark variablen Zuflüsse (die Variation des Zuflusses beträgt bei Mischkanalisationen ca. 1:10),
- Langzeitstabilität und Betriebssicherheit der Systemkonfiguration (Membranen, Permeatextraktion, Rückspülung etc.),
- Energieverbrauch für die Filtration (der zusätzliche Energieverbrauch für die Filtration muß so gering wie möglich gehalten werden),
- Gesamtkosten des Membransystems im Vergleich zu heute üblichen Verfahren (Sandfiltration und Hygienisierung). Der Planungs- und Kostenvergleich erfolgt durch die SAG, Ulm.

Aufgrund der Betriebsweise der Versuchsanlagen mit dem Ziel der weitergehenden Nährstoffelimination sowie einer erwünschten Entkeimung des Ablaufs bei gleichzeitiger Ausnutzung des vorhandenen Belebungsvolumens, ergeben sich weitere Problemkreise, die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens zu untersuchen sind:

- Realisierung der Nährstoffelimination (vorgeschaltete, simultane oder intermittierende Denitrifikation, Phosphatfällung),
- Anreicherung von Schwermetallen bzw. von schwer abbaubaren Stoffen in den Membrananlagen
- Entkeimungswirkung im Vergleich zur nachgeschalteten Membranfiltration,
- Zusammenhang zwischen maximaler Feststoffkonzentration, Fluxleistung der Membranen und minimaler Kontaktzeit des Abwassers.

## 5.2 Aufbau der Versuchsanlagen

Die Versuchsanlagen werden von den Firmen WABAG und MEMBRAIN auf der Kläranlage Immenstaad aufgebaut und in Betrieb genommen. Der Betrieb der Versuchsanlage der Firma WABAG erfolgt durch einen Mitarbeiter des Instituts für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart. Der Betrieb der Versuchsanlage der Firma MEMBRAIN wird von der Lieferfirma selbst vorgenommen.

In der folgenden Abbildung ist schematisch der Aufbau und die Anordnung der Versuchsanlagen zu sehen. Hierbei können jedoch noch Änderungen, insbesondere hinsichtlich der Gestaltung der Denitrifikation, vorgenommen werden.

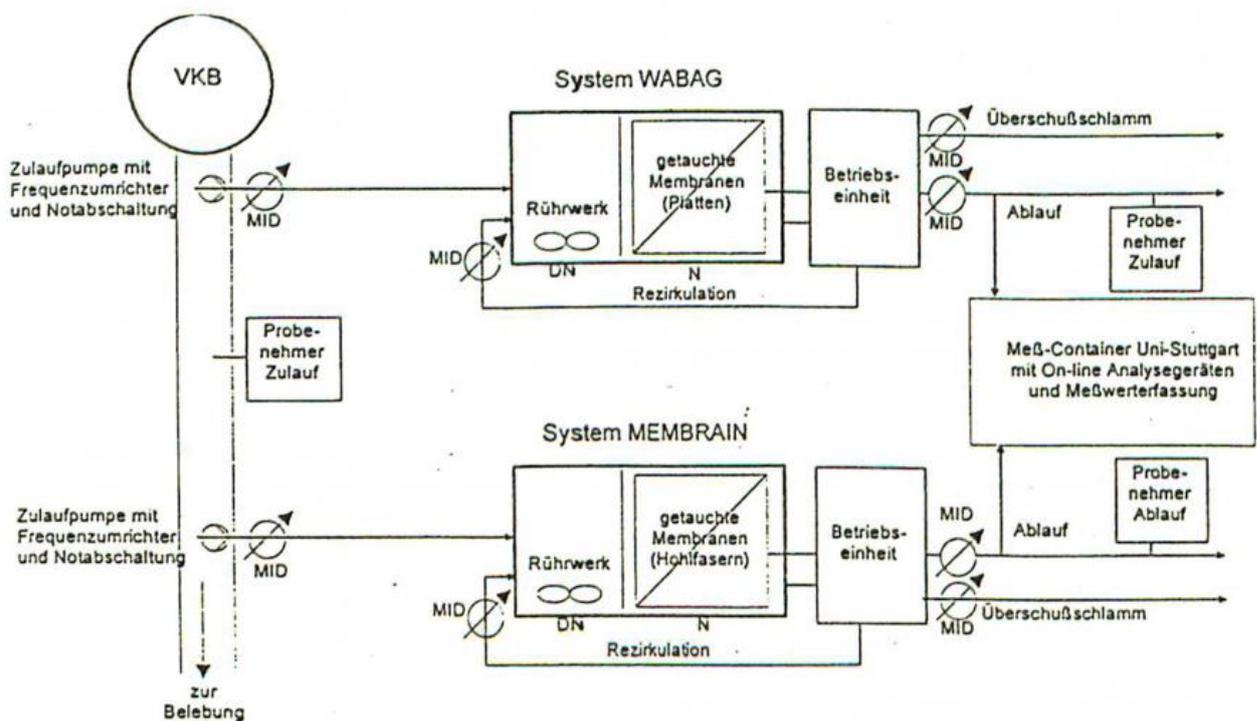


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Versuchsanlage

Die beiden Versuchsanlagen werden mit dem Ablauf der Vorklärung beschickt.

Zum Schutz der Versuchsanlagen von Grobstoffen wird ein Schutzsieb installiert. Die Beschickungsmenge wird nach den eingebauten Membranflächen festgelegt.

### 5.3 Versuchsprogramm

Das möglichst praxisnahe Versuchsprogramm wird in insgesamt fünf Versuchsabschnitten durchgeführt. Dabei kann zwischen einer Anfangsphase mit konstanter Beschickung und einer zweiten Phase mit variabler Beschickung unterschieden werden. In einem ersten Versuchsabschnitt sollen bei konstanter hydraulischer Beschickung die Anlagen störungsfrei betrieben werden. Die Beschickungsmenge wird auf den Nennzufluß für Trockenwetter  $Q_t$  ausgelegt. Der Feststoffgehalt wird auf ca. 10 bis 15 g/l gesteigert. Zusätzlich wird in diesem Versuchsabschnitt die Stickstoffelimination optimiert. Die Versuchsanlage der Firma WABAG wird zuerst mit simultaner und bei unzureichender Stickstoffelimination mit intermittierender oder vorgeschalteter Denitrifikation betrieben. Bei der Anlage der Firma MEMBRAIN wird die Rezirkulationswasserführung aus dem Nitrifikationsbecken und/oder dem Membranbecken hinsichtlich der Stickstoffelimination optimiert. Am Ende des ersten Versuchsabschnittes wird eine Intensivuntersuchungsphase durchgeführt. Über einen Zeitraum von drei Wochen werden die hydraulischen Eigenschaften sowie die Reinigungsleistungen näher analysiert. Im Anschluß an einen Versuchsabschnitt mit künstlich erzeugten Zulaufschwankungen werden die Versuchsanlagen proportional zum Kläranlagendurchfluß beschickt (Messung des Abwasserdurchsatzes im Ablauf der Kläranlage).

Schwerpunkt wird in diesem Versuchsabschnitt auf die erzielbare Feststoffkonzentration und auf die Stickstoffelimination gelegt. Auch am Ende dieses Versuchsabschnittes wird wieder eine Intensivuntersuchungsphase durchgeführt. Über einen Zeitraum von drei Wochen werden neben den hydraulischen Eigenschaften auch die Kohlenstoff- und Stickstoffbilanzen überprüft.

Zusätzlich wird noch die Phosphorelimination mit untersucht.

Während bei den vorigen Versuchsabschnitten die Rückhaltung der Biomasse, der Fällprodukte und der Keime sowie der Viren durch die Membranen im Vordergrund standen, sollen im Versuchsabschnitt 5 mögliche Auswirkungen erforscht werden, die sich bei einem Betrieb der Anlagen bei hohem Schlammalter und ohne Überschußschlammabzug (keine Phosphatelimination) ergeben. Diese Betriebsweise kann mit der getauchten Membrantechnologie ohne Vergrößerung von Belegungsvolumen durch hohe

Belebtschlammkonzentrationen und damit verbundene geringere Schlammbelastungen eingestellt werden.

Es gibt bereits Hinweise, daß durch das Membranverfahren bestimmte, nicht biologisch abbaubare polymere, organische Stoffe aufkonzentriert werden. Es besteht also die Gefahr, daß die üblicherweise nur in sehr geringen Konzentrationen anfallenden, schädlichen Abwasserinhaltsstoffe kritische Konzentrationen erreichen.

In diesem Versuchsabschnitt soll deshalb geprüft werden, um welche Stoffe bzw. Stoffklassen es sich hier handelt. Hierzu soll zunächst untersucht werden, ob sich summarisch analytische Parameter, wie der TOC im Reaktor, signifikant verändern. Sollte hierbei eine Zunahme beobachtet werden, müssen die verantwortlichen organischen Stoffen eingegrenzt und charakterisiert werden.

Über Gelchromatographie sollen die Proben dazu als erstes nach Molekülgröße fraktioniert werden. Falls niedermolekulare Verbindungen anfallen, können diese weiter über Dünnschichtchromatographie oder Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) charakterisiert und weiter fraktioniert werden.

Bei auffälligen Fraktionen (größere Mengen organischer Substanz, "einheitlichere" Fraktionen), soll sich - gegebenenfalls nach Aufschluß (z.B. saure oder basische Hydrolysen) - eine detaillierte Einzelsubstanzanalytik anschließen. Hierzu kann das gesamte Repertoire an instrumenteller Analytik eingesetzt werden, wie Gaschromatographie (GC; gegebenenfalls mit Atomemissions

detektion zur direkten Bestimmung von stickstoff- oder schwefelhaltigen Verbindungen), HPLC mit Diodenarraydetektion, Kapillarelektrophorese (CE), Elektrochromatographie, Supercritical-Fluid-Chromatographie (SFC), Electrospray-Massenspektrometrie, Kopplung von chromatographie und elektrophoretischen Methoden mit Massenspektrometrie (GC-MS, HPLC-MS, CE-MS), Tandem-Massenspektrometrie sowie Fourier-Transform-Infrarotspektroskopie.

Mit den genannten modernen Ionisierungsverfahren, wie der Electrospray-Massenspektrometrie können besonders auch höhermolekulare, polare Ver-

bindungen, die mit herkömmlichen Methoden unterivatisiert schlecht oder gar nicht zugänglich sind, nachgewiesen werden. Auf diese Verbindungen wird jedoch in Zukunft aufgrund ihrer Umweltrelevanz in vermehrtem Maße ein Augenmerk zu richten sein. Diese Verbindungen werden möglicherweise auch bei dem beschriebenen Verfahren akkumuliert.

## 6 Zukunftsperspektiven

Die Druckbiologie in der Ausführung des Biomembrat-Verfahrens und auch die anderen Belebungsverfahren mit Membranen kommen der idealen Abwasserreinigung sehr nahe, wie nachfolgende Auflistung zeigt.

- Der Biomassegehalt stellt sich automatisch so ein, wie es die jeweilige Situation erfordert.
- Die Abgasmenge ist beim Biomembrat-Verfahren sehr klein und damit, wenn erforderlich, wirtschaftlich behandelbar.
- Die Biomasse reagiert extrem schnell auf einen Anstieg der biologisch verwertbaren Substanz.
- pH-Wert-Absenkung infolge der Nitrifikation führen zu keiner Verschlechterung des Ablaufs.
- Der Ablauf ist feststofffrei und nicht mit Keimen belastet. Dies hat für alle eventuell noch erforderlichen weiteren Reinigungsschritten große Vorteile.
- Bei hydrolysierbarer Substanz fällt bei einem Schlammalter über 10 d nahezu kein Überschussschlamm an. Der gesamte biologisch verwertbare organische Kohlenstoff wird in CO<sub>2</sub> übergeführt. Das gleiche gilt für den Stickstoff. Das gebildete CO<sub>2</sub> trägt nicht zu einer Belastung der Umwelt bei, da das CO<sub>2</sub> aus dem Abwasser durch Pflanzen der Atmosphäre entzogen wurde.

Die EG-Richtlinie "Kommunales Abwasser" fordert eine umfassende Wiederverwendung des gereinigten Abwassers. Heute wird dieses Ziel noch nicht verfolgt, weil die Qualität des Ablaufs von konventionellen Klärwerken dafür in der Regel nicht ausreicht.

Der Ablauf einer Belebungsanlage mit Membranen erreicht dagegen eine Wasserqualität, die eine direkte Versickerung oder ein Recycling auch für den Lebensmittelbereich zuläßt.

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz zwingt zur Vermeidung der Produktion von Abfällen. Darunter fallen auch alle Klärwerke. Das größte Problem stellt somit die Produktion von biologischem Überschußschlamm dar.

Eine Belebungsanlage mit Membranen läßt sich so betreiben, daß praktisch kein Überschußschlamm mehr anfällt. Zukünftig bleibt nur noch der energiereiche Primärschlamm übrig.

Im Industrieabwasserbereich wird sich die Belebungsanlage mit Membranen durchsetzen, wenn das Abwasser im Betrieb wieder verwertet werden soll. Ob sich die Belebungsanlage mit Membranen auch im kommunalen Bereich, insbesondere bei Gemeinden mit Mischkanalisationen einsetzen läßt, ist in erster Linie eine Frage der Wirtschaftlichkeit und der Betriebssicherheit.

Diese Punkte lassen sich heute noch nicht beantworten.

Nach den Versuchen in Immenstaad und der nachfolgenden Ausschreibung und Wertung der Angebote Mitte 1998, werden wir eine Aussage treffen können, ob wir mit der Jahrtausendwende auch einen Quantensprung bei der Abwasserreinigung einleiten können.

Prof. Dr.-Ing. Kh. Krauth

Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft  
der Universität Stuttgart  
Bandtäle 2  
D-70569 Stuttgart

Tel: (0711) 685 3723  
Fax: (0711) 685 3729  
E-mail: [kh.krauth@iswa.uni-stuttgart.de](mailto:kh.krauth@iswa.uni-stuttgart.de)