

Reinigung von Prozess- und Sickerwasser mit ZeeWeed®-UF Membranen

Martin Brockmann, Heribert Möslang, Thomas Buer

Zenon GmbH, Hilden

Abstract

Membranbioreaktoren (MBRs) werden schon seit einigen Jahren zur Aufbereitung von Prozess- und insbesondere Deponiesickerwasser eingesetzt. Diese trennen durch Membranfiltration bei einer biologischen Abwasserreinigung den belebten Schlamm vom gereinigten Abwasser.

Die hier vorgestellten ZeeWeed®-UF Hohlfasermembranen werden direkt in die Biomasse eingetaucht und erfordern daher keine internen Umwälzpumpen zur Erzeugung hoher Fließgeschwindigkeiten auf der Membranoberfläche. Die Betriebskosten sinken dadurch ganz erheblich. Gleichzeitig kann die Prozess-Stabilität der Abwasserbehandlungsanlage erhöht werden. Anhand verschiedener Beispiele wird aufgezeigt, mit welcher Anlagenkonfiguration welche Ablaufwerte erreicht werden können.

Keywords

Deponiesickerwasser, Prozesswasser, Membranbelevungsverfahren, Nitrifikation, Umkehrosmose, Leachate, Process Water Treatment, Membrane Bioreactor, Nitrification, Reverse Osmosis

1 Einleitung und Problemstellung

Membranbioreaktoren werden schon seit einigen Jahren zur Aufbereitung von Prozesswässern und Deponiesickerwasser eingesetzt. MBRs zeichnen sich dadurch aus, dass beim Belevungsverfahren die die Biomasse (Belebtschlamm) nicht durch Sedimentation in einem Nachklärbecken vom Reinwasser getrennt wird, sondern durch Membranfiltration. Zu diesem Zweck wurden in der Vergangenheit in Deutschland meist UF-Rohrmembranen mit einem Fließkanalquerschnitt von 12 - 25 mm eingesetzt, wobei die Biomasse unter Druckeinwirkung von circa 2 - 6 bar im Cross-Flow Prinzip teilweise mit hoher Fließgeschwindigkeit (3 - 6 m/s) durch die Membranrohre gepumpt wird.

Trotz sehr guter Abbauleistungen haben solche Anlagen einen systembedingten Nachteil: der elektrische Energiebedarf ist wegen der großen Umwälzpumpen, welche die Fließgeschwindigkeit (Cross-Flow) an der Membranoberfläche erzeugen, mitunter empfindlich hoch (3 bis 5 kWh/m³ Permeat).

Die hier vorgestellten ZeeWeed® Hohlfasermembranen werden dagegen direkt in die Belevungsstufe eingetaucht und erfordern daher keine internen Umwälzpumpen zur Erzeugung hoher Fließgeschwindigkeiten auf der Membranoberfläche. Die Betriebsko-

sten, insbesondere der Membrantrennstufe, sinken dadurch ganz erheblich auf Werte kleiner 1 kWh/m³ Permeat.

2 Zenon Membranbelebungsstufe

2.1 Anlagenaufbau und Funktionsweise

Die Membranbelebungsstufe besteht im Wesentlichen aus:

- einer Vorfiltration (Schutzsieb mit 1 - 3 mm Maschenweite)
- einem aeroben Bioreaktor mit feinblasiger Belüftungseinrichtung
- ggf. einer anoxischen Denitrifikationszone mit Dosierung einer C-Quelle
- einer integrierten Ultrafiltration mit getauchten ZeeWeed® Hohlfasermodulen

Die Prozess- oder Sickerwässer werden zunächst zwischengespeichert und dann über einen Schutzfilter (Maschenweite ca. 1 mm) dem Bioreaktor zugeführt wird. Die Denitrifikationszone wird meist vorgeschaltet, so dass der zugeführte Kohlenstoff zum Nitratabbau verwertet wird. Nach der Denitrifikation und Nitrifikation erfolgt im letzten Teil des Bioreaktors, dem Filtrationsteil, schließlich die Trennung des gereinigten Abwassers von der Biomasse mittels Ultrafiltrations-Hohlfasermembranen, welche vertikal direkt in die Biomasse eingetaucht werden. An der Unterseite dieser ZeeWeed® Hohlfasermodule wird grobblasige Luft eingeblasen, die eine Überströmung des Mediums an der Membrane erzeugt und die Membrane zur Vermeidung von Belagbildung in Bewegung hält. Das Reinwasser (Permeat) wird durch Anlegen eines geringen Unterdruckes auf der Innenseite der Membranen kontinuierlich abgezogen. Sind die Membranen in einer separaten Filtrationskammer eingebaut, so wird die Biomasse in die Nitrifikation bzw. zur Denitrifikation zurückgeführt. Aus dieser Rücklaufleitung wird der Überschuss-Schlamm abgezogen. Bedingt durch die kompakte Bauform der ZeeWeed® Module nimmt der komplette Filtrationsteil nur etwa 10 - 15 % des gesamten Belebungsbeckenvolumens ein.

2.2 Besonderheiten gegenüber herkömmlichen Belebungsanlagen

Eine konventionelle Belebungsstufe wird üblicherweise bei einer Biomassekonzentration von 3 - 6 g/L TS betrieben. Bei höheren Konzentrationen setzt der Schlamm im Nachklärbecken nicht mehr ab, und es kommt zu Schlammabtrieb in den Vorfluter. Die Membranbelebungsanlage erfordert kein Nachklärbecken. Vielmehr wird die Biomasse vollständig an der Ultrafiltrationsmembrane zurückgehalten und kann mit einem Feststoffgehalt im Belebungsbecken von etwa 12 – 15 g/L deutlich höher konzentriert werden.

Beim Membranbelevungsverfahren sind die Mikroorganismen in kleineren Aggregaten zusammengeschlossen. Dadurch entsteht eine hervorragende Sauerstoff- und Nährstoff-Verfügbarkeit. Eine weitere Reduzierung der Flockendurchmesser wird im Vergleich zu Cross-Flow Verfahren mit dem ZeeWeed® Verfahren vermieden, so dass eine gute Filtrierbarkeit der Biomasse beibehalten wird. Auch bei kalten Außentemperaturen werden hohe Abbauraten (z.B. der Stickstoff-Fraktionen) erreicht. Dies ist auf die konsequente Rückhaltung aller Mikroorganismen an der Membran zurückzuführen.

Durch den Einsatz einer ZeeWeed® Ultrafiltrationsmembrane wird Wasser hoher Qualität gewonnen. Das Permeat zeichnet sich durch weitestgehende Keimfreiheit aus und ist frei von Feststoffen. Nachgeschaltete, weitergehende Aufbereitungsanlagen (z.B. Aktivkohle, Umkehrosmose, Ozonbehandlung) erreichen höhere Standzeiten.

3 ZeeWeed®-UF Hohlfasermembran

3.1 Spezifikation

- Bauform: Hohlfasermembrane, Innendurchmesser ca. 0,9 mm
- Filtrationsrichtung: von außen nach innen
- Membranfläche: je nach Kassette, ca. 440 m²
- Trenngrenze: ca. 0,01 Mikron
- pH-Beständigkeit: 2 - 10,5
- Chlorbeständigkeit: 1.500 ppm Aktivchlor
- Differenzdruck: 0,1 - 0,5 bar

3.2 Besonderheiten von ZeeWeed®-UF Hohlfasermembranen

ZeeWeed®-UF Hohlfasermodule werden im Saugbetrieb betrieben, mit der Filtrationsrichtung von außen nach innen. Ein Verstopfen der Fließkanäle ist nicht möglich, da in den Kanälen nur sauberes Permeat fließt. Insofern sind auch an die Abwasservorbehandlung keine besonderen Anforderungen zu stellen.

Ein Verstopfen der Membranporen wird durch die intermittierende Rückspülung mit Permeat sicher verhindert. ZeeWeed® Membranen sind also rückspülbar. Diese Rückspülbarkeit ermöglicht auch schwierige Aufgabenstellungen bei der Abwasserreinigung, z.B. bei der Reinigung von Prozess- und Deponiesickerwasser, da über die Rückspülung gezielt Membranbeläge verhindert werden können.

Eine chemische Reinigung wird in regelmäßigen Abständen im CIP-Verfahren durchgeführt. Dabei werden bei der Rückspülung dem Permeat bestimmte Chemikalien (Säuren, Oxidationsmittel) zugemischt. Damit werden Ausfällungen und Anhaftungen auf der Membranoberfläche abgelöst. Einmal jährlich wird die Durchführung einer Intensivreini-

gung empfohlen. Diese Grundreinigung wird – je nach Anlagenkonfiguration - in einem separaten Tauchbecken oder in den Filtrationsbecken (falls die Membranen vom Belebungsbecken getrennt aufgestellt wurden) durchgeführt.

4 Anwendungen in der Prozess- und Deponiesickerwasseraufbereitung

4.1 Landgraaf, NL, Inbetriebnahme August 1995

Die Deponie Landgraaf war die erste Deponie, welche entsprechend den damals neuen niederländischen Richtlinien zum weitergehenden Umweltschutz als "Deponie 2000" ausgeführt wurde. Der erste Abfall wurde bereits 1994 eingebaut. In den nachfolgenden Monaten wurden die Bauwerke der Deponie fertig gestellt. Die Schütthöhe der Deponie beträgt ca. 30 m, insgesamt besteht eine Aufnahmekapazität von ca. 1,6 Mio. m³ Abfall, die bis zum Jahr 2006 eingebracht sein werden.

Das in der Bodendrainage gesammelte Sickerwasser wird nach kurzer Verweilzeit in einem Pufferbecken der Membranbelebungsanlage zugegeben. Das gereinigte und feststofffreie Permeat kann für den internen Bedarf auf der Deponie (Waschwasser) genutzt werden. Ansonsten wird es als Indirekteinleiter abgegeben.

Die Membranbelebungsstufe ist in die Kellerräume des Betriebsgebäudes eingebaut. Dabei sind die Membrankassetten direkt in das Belebungsbecken eingetaucht. Die Reinigungsziele der Abwasserreinigung sehen einen bestmöglichen CSB-Abbau bei einer weitgehenden Nitrifikation vor. Die Denitrifikation war und ist bis heute kein Reinigungsziel. Während in den Anfangsjahren ca. 66 m³/d behandelt wurden, ist die Menge aktuell auf etwa 35 m³/d zurückgegangen.

Tabelle 1 Auslegungswerte der Deponie Landgraaf, Angaben in [mg/L]

	Zulauf	Ablauf
CSB	600 - 1.600	300 - 500
BSB ₅	20 - 120	< 5
TKN	500 - 1.000	10 - 25
NH ₄ -N	450 - 900	< 10

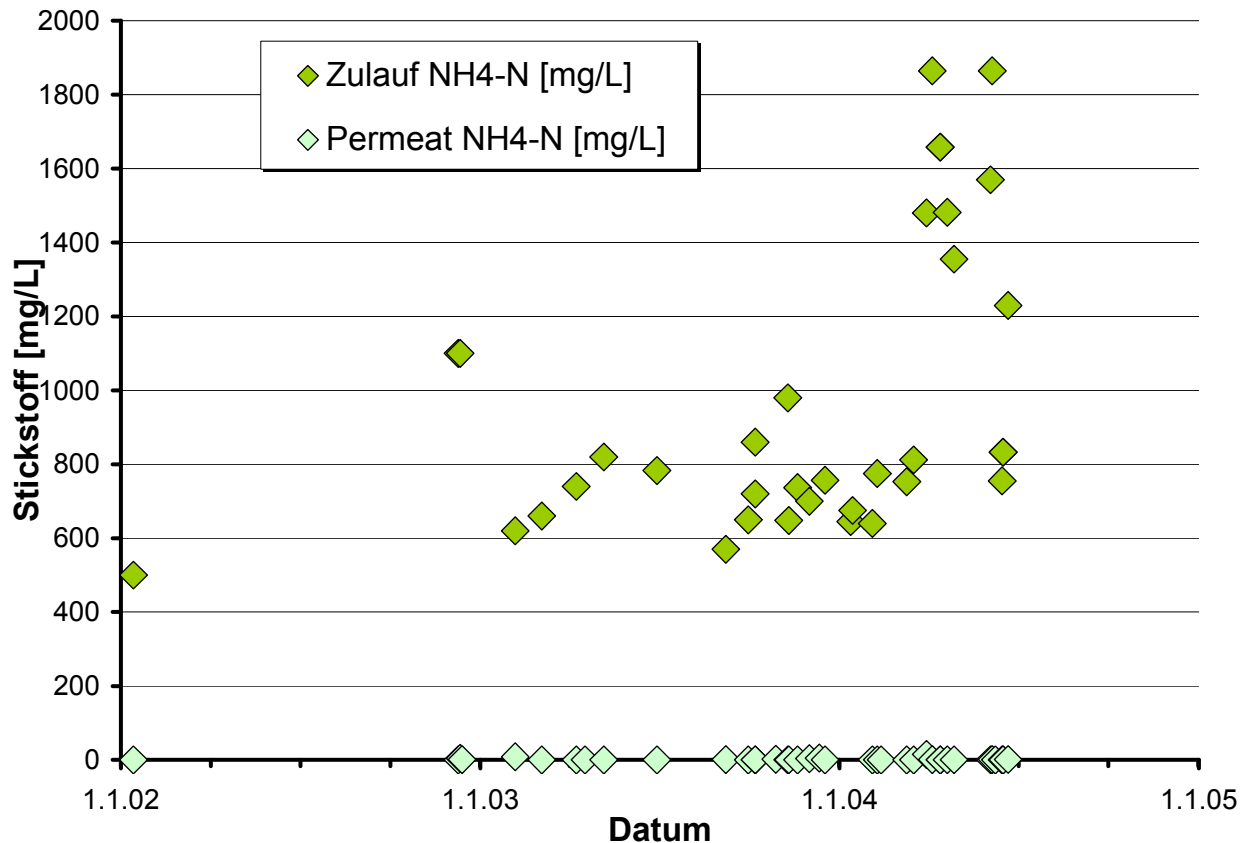


Abbildung 1 Verlauf der Ammoniumzulauf und –ablaufwerte

4.2 Montfort, NL, Inbetriebnahme September 1996

Wie die oben vorgestellte Deponie muss auch die Deponie in Montfort den niederländischen Richtlinien zum weitergehenden Umweltschutz genügen. Zusätzlich war hier eine gezielte Denitrifikation vorzusehen, um die Anforderungen an die gesamte Stickstoffablauffracht einhalten zu können.

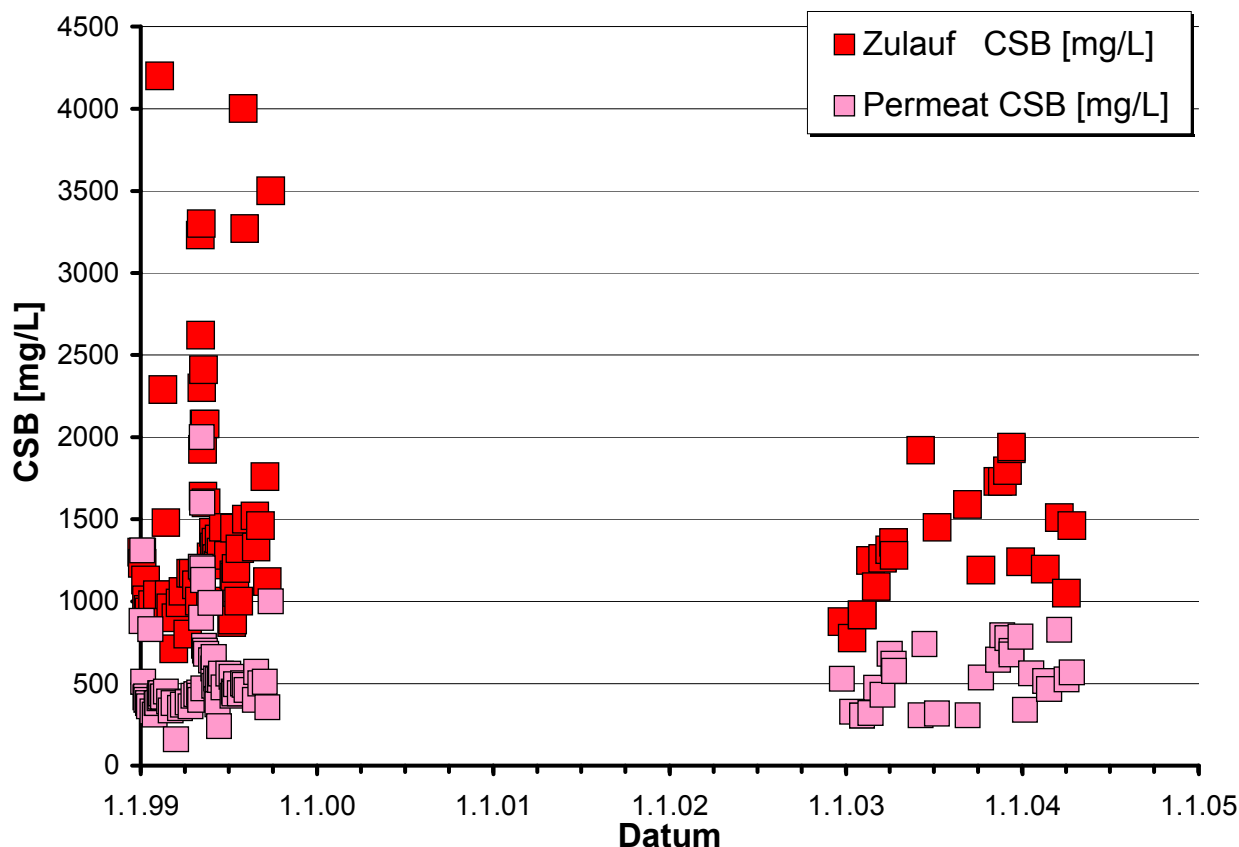
Das im Fußbereich der Deponie anfallende Sickerwasser wird in einem 1.500 m³ fassenden Zwischenspeicher gepuffert. Aus diesem Tank wird die Belebungsstufe beschickt. Die Anlage ist für eine tägliche Wassermenge von ca. 240 m³/d ausgelegt.

ZENON hat für die Belebungsstufe einen Nitrifikationsbehälter von 540 m³ und einen Denitrifikationsbehälter von 150 m³ geliefert. Die Membranmodule sind in einem separaten Filtrationsbehälter eingebaut. Nebenstehend und ebenfalls im Container befindet sich die gesamte Maschinen- und Prozessleittechnik.

Um die erforderliche Denitrifikationsrate sicherzustellen, wird neben der internen Rezirkulation (Nitri zur Deni) auch die rückgeführte Schlammmenge aus der Filtrationskammer in die Deni eingespeist. Zur Unterstützung der Denitrifikation wird Methanol zugegeben, da das C:N-Verhältnis im Zulauf zur Anlage nicht ausreichend ist, um die Stickstoffablaufanforderungen zu erfüllen. Das Permeat wird als Indirekteinleiter abgegeben.

Tabelle 2 Auslegungswerte der Deponie Montfort, Angaben in [mg/L]

	Zulauf	Ablauf
CSB	2.500 - 3.500	400 - 800
BSB ₅	20 - 120	< 5
NH ₄ -N	500 - 800	< 5
NO ₃ -N	0	< 60

**Abbildung 2** Abbau des CSB auf der Deponie Montfort

4.3 Mechernich, D, Inbetriebnahme Oktober 1998

Die Überlastung der bestehenden biologischen Sickerwasseranlage und der Feststoffabtrieb erforderten eine verfahrenstechnische Anpassung zur Behandlung des Sickerwassers vor allem in Hinblick auf die nachgeschaltete Umkehrosmose. Die Anlage war auf einen täglichen Abwasseranfall von ca. 400 m³ auszulegen.

Hierfür wurde die bestehende biologische Reinigungsstufe durch Neubau von Belebungsbeckenvolumen (Nitrifikation 400 m³, Denitrifikation 140 m³) und Integration einer Membranbelebungsstufe ertüchtigt. Dadurch entsteht eine Verbesserung der biologischen Abbauleistung und Abtrennung aller ungelösten Stoffe als bestmögliche Vorbe-

handlung für die nachfolgende Umkehrosmose. Der Ablauf der erweiterten Anlage wird einer kommunalen Kläranlage zugeleitet. Die Becken sind in Betonbauweise ausgeführt und zusammen mit der Prozesstechnik in einer Halle installiert.

Die Anlage ist die erste Deponiesickerwasseranlage mit einer ZeeWeed® Membranbelebungsanlage in Deutschland. Die Nitrifikation ist mit Füllkörpern ausgerüstet, um den damals neu entdeckten Prozess der direkten Deammonifikation durch sessile Mikroorganismen zu etablieren. Das Permeat wird zur Nachbehandlung einer Umkehrosmose zugeleitet.

Tabelle 3 Auslegungswerte der Deponie Mechernich, Angaben in [mg/L]

	Zulauf	Ablauf
CSB	ca. 4.000	700 - 1.100
BSB ₅	650	< 10
TKN	1.600	< 10
NH ₄ -N	< 20	< 30

4.4 DSW Steinhof, D, Inbetriebnahme Frühjahr 2003

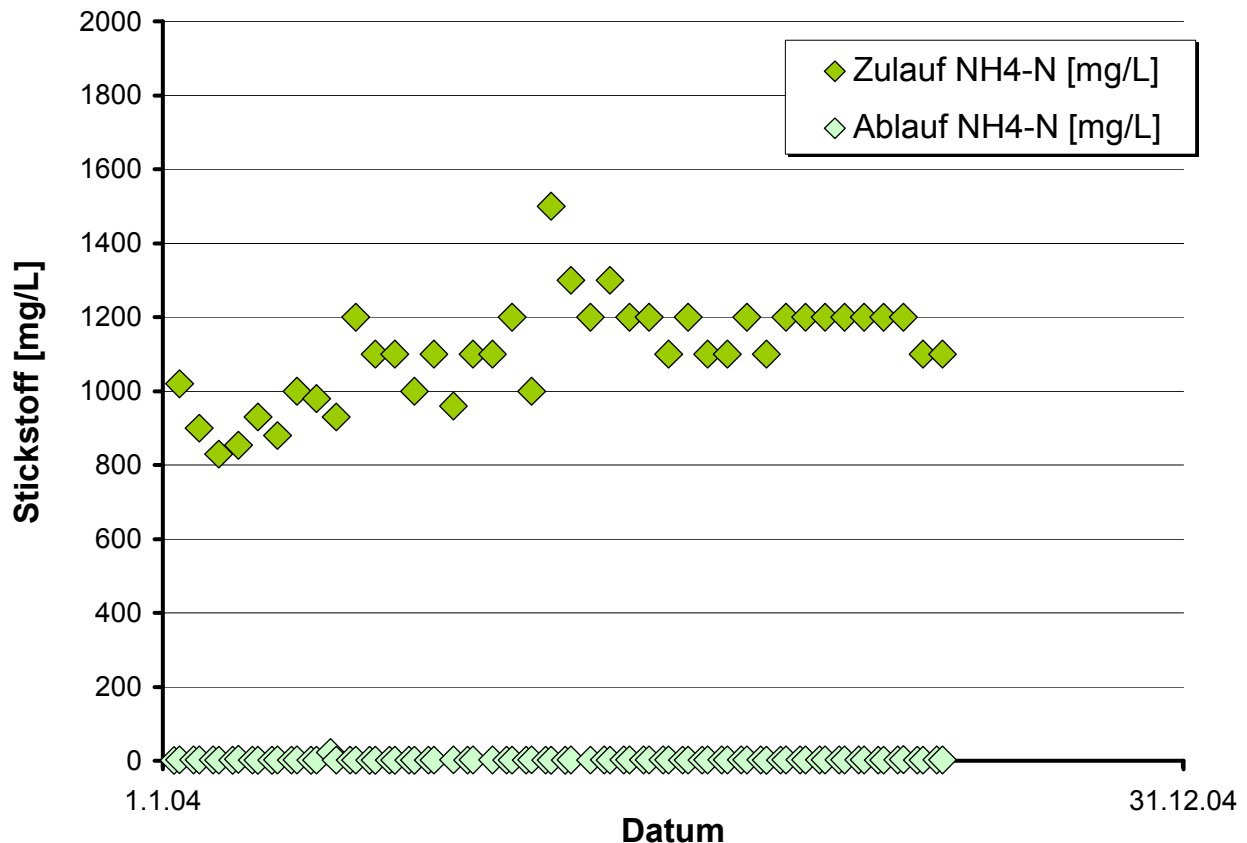
Die Überlastung der bestehenden biologischen Sickerwasseranlage und der Feststoffabtrieb aus den konventionellen Nachklärbecken erforderten eine verfahrenstechnische Anpassung zur Behandlung des Sickerwassers vor allem im Hinblick auf hydraulische Stossbelastungen. Die Anlage ist zur Behandlung von ca. 250 m³/d ausgelegt.

Die ehemalige vorgeschaltete Denitrifikation wurde zu einer Membranbelebungsanlage umgebaut. Die ZeeWeed® Module sind direkt im Belebungsbecken integriert. Durch diese Maßnahme konnte eine Verbesserung der biologischen Abbauleistung und die Abtrennung aller ungelösten Stoffe als optimale Vorbehandlung zur nachgeschalteten Ozonbehandlung erreicht werden.

Der Ablauf der Anlage wird der betriebseigenen kommunalen Kläranlage zugeleitet. Das Belebungsbecken, ausgeführt in Betonbauweise, wurde mit den Kassetten zur Membranfiltration und einer feinblasigen Druckbelüftung ausgerüstet. Die Prozesstechnik der Filtrationsanlage befindet sich in einem Container, welcher direkt neben dem Belebungsbecken steht.

Tabelle 4 Auslegungswerte der Deponie Steinhof, Angaben in [mg/L]

	Zulauf	Ablauf
CSB	ca. 2.500	1.050
BSB ₅	200	< 10
TKN	1.100	< 10

**Abbildung 3** Verlauf der Ammoniumzulauf- und -ablaufwerte der Deponie Steinhof

4.5 Rhein-Main Biokompost Frankfurt, Inbetriebnahme Herbst 1999

Zur Behandlung der bei der biologischen Behandlung von Bioabfällen anfallenden Prozesswässer setzt die Rhein-Main Biokompost seit November 1999 eine Membranbelebungsanlage nach dem ZENON-Verfahren ein.

Das organisch stark belastete Rohabwasser setzt sich aus Abwasser einer Vergärungsanlage (6.000 - 10.000 m³/a) sowie Sickerwasser aus der Befeuchtung des Rottegutes und dem Ablauf aus der Bodenreinigung (5.000 m³/a) einer Kompostierungsanlage zusammen. Die ZeeWeed®-MBR-Anlage besteht im Wesentlichen aus einer mechanischen Vorbehandlung (Rotationssieb), einem Bioreaktor mit einem Gesamtvolumen von 361 m³ und einer Ultrafiltrationseinheit. Der Bioreaktor-Rundbehälter beinhaltet einen kleinen innenliegenden Denitrifikationsbereich mit 19 m³. Die Prozesstechnik ist in zwei Containern untergebracht.



Abbildung 4 Ansicht des Bioreaktors (linkes Bild) und der Membranfiltrationseinheit (rechtes Bild) der Rhein-Main Biokompost

Tabelle 5 Betriebswerte der Rhein-Main Biokompost, Angaben in [mg/L]

	Zulauf	Ablauf
CSB	18.200	< 1.000
BSB ₅	8.500	< 20
N _{ges}	2.500	
NH ₄ -N	1.800	< 200

5 Zusammenfassung

Bislang wurden mehrere hundert Membranbelebungsanlagen mit ZeeWeed® Modulen ausgeliefert. Allein in Nordwesteuropa sind bislang über 70 industrielle Membranbelebungsanlagen mit einer ZeeWeed®-UF Membranfiltration ausgerüstet. Hohe Betriebssicherheit unter wechselnden Betriebsbelastungen und lange Standzeiten der eingesetzten Membran gewährleisten einen kostenoptimierten Betrieb über mehrere Jahre.

Die problemlose Integration der Membranbelebungsstufe in Neu- oder Altanlagen, in Anlagen mit Nitrifikation oder mit zusätzlicher Denitrifikation, in Anlagen mit nachgeschalteten Behandlungsstufen zur Ozonisierung oder zur UO-Filtration, zeigt die universellen Einsatzmöglichkeiten dieser Technik auf.

6 Literatur

- Firk, W. 1997 Integration der Membranfiltration in das Belebungsverfahren, Vortrag auf der "Essener Tagung" 19.3. - 21.3.1997
- Glutek, B. 1995 ZeeWeed™ microfiltration membrane modules, Zenon Environmental Inc. Burlington, Canada
- Jordan, E.J. 1995 Membrane bioreactor technology for high strength wastewater from : industrial facilities, municipal landfill leachate, and commercial development, Abstract in In-Building Wastewater treatment and Water Recycling, Ann Arbor, Michigan, USA
- Senthilnathan, PR. 1996 Advanced wastewater treatment with integrated membrane biosystems, Presented at AIChE 1996 Spring National Meeting, New Orleans, Feb. 27th, 1996

Anschrift der Verfasser(innen)

Dr.-Ing. Martin Brockmann

Dr.-Ing. Thomas Buer

Zenon GmbH

Nikolaus-Otto-Straße 4

D-40721 Hilden

Telefon +49 2103-5703-0

Email m**brockmann@zenon.com**, tbuer@zenon.com

Website: www.zenon-europe.de