

EINSATZMÖGLICHKEITEN UND GROßTECHNISCHE ERFAHRUNGEN MIT DER BIOFILTRATION ZUR NITRIFIKATION UND DENITRIFIKATION

**ERIK BUNDGAARD, I. KRÜGER
VIBEKE REIMER ANDERSEN, I. KRÜGER
JENS PETER KERN-JESPERSEN, I. KRÜGER**

EINFÜHRUNG

Infolge der verschärften Anforderungen des dänischen Gewässerschutzplans an den Ablauf von stickstoffhaltigem Abwasser war es Ende der 80-iger Jahre notwendig für die meisten der dänischen Kläranlagen die angewandten Reinigungsverfahren entweder zu verbessern oder zu erneuern.

Zwei dieser Anlagen, die Kläranlage Hundested und die Kläranlage Nyborg, waren vor der Erweiterung mechanisch/chemische Anlagen mit beschränktem Platz für einen Ausbau.

Wegen der sehr begrenzten Flächenverhältnisse war eine Erweiterung der vorhandenen Anlage zu einer traditionellen Belebungsanlage nicht zweckmäßig. Die jeweiligen Kommunen haben deshalb untersucht, welche der vorliegenden alternativen Möglichkeiten einer biologischen Reinigung den Anforderungen an Effizienz und Kompaktheit genügen können.

Es wurde der Beschluß gefaßt, das Festbettverfahren zu untersuchen, teils weil hier die Umsatzgeschwindigkeit je m^3 Reaktorvolumen größer ist als im Belebungsverfahren, teils weil ein separates Nachklärbecken nicht nötig ist, was Fläche erspart. In der Kläranlage Hundested wurden Abstromfilter, das BIOCARBONE-Verfahren, und in der Kläranlage Nyborg wurden Aufstrom-Schwimmfilter, das BIOSTYR-Verfahren, gewählt (Rogalla et al, 1992 (a)). Um die Anforderungen des dänischen Gewässerschutzplans einzuhalten, mußten beide Anlagen für Nitrifikation und Denitrifikation ausgebaut werden.

Diese zwei Anlagen sind jetzt seit mehr als einem Jahr in Betrieb, und das Einfahren wurde 1992/1993 abgeschlossen. Gleichzeitig wurden in anderen Ländern ähnliche Anlagen gebaut.

Die untenstehende Tabelle 1 gibt eine Übersicht über andere BIOCARBONE- und BIOSTYR-Anlagen, die heute mit Nitrifikation und Denitrifikation in Betrieb sind. Weitere BIOSTYR-Anlagen sind im Bau in Herford (D), Toulouse (F) und Melun (F). Der Übersichtlichkeit halber werden im folgenden nur die Betriebserfahrungen der dänischen Anlagen beschrieben.

Tabelle 1 Referenzliste über BIOSTYR- und BIOCARBONE-Anlagen mit Nitrifikation und Denitrifikation

Anlage	Fläche/ Filter m ²	Anzahl Filter	Durchfluß m ³ /d	Inbetrieb- nahme	Anforderungen
BIOSTYR					
Rambouillet (F) (Prototyp) (Großtechnisch)	22	1 10	800 8.000	1988 1995	
St. Jean d'Illac (F)	16	5	2.500	1990	Ges-N < 20 mg/l
Nyborg (DK)	63	8	13.000	Dez. 1992	N _{ges} < 8 mg/l, P _{ges} < 1,5 mg/l
BIOCARBONE					
Hundested (DK)	24	12 (6)	4.400	1991	Ges-N < 8 mg/l, P _{ges} < 1,5 mg/l
Valbonne (F)			3.200	1982	Ges-N < 15 mg/l, NH ₄ -N < 5 mg/l
St. Thibault des Vignes (F)	84	18 (8)		1993	Ges-N < 20

() Denitrifikation

STICKSTOFFELIMINATION IN BIOCARBONE-FILTTERN IN DER KLÄR-ANLAGE HUNDESTED

Anlagenaufbau

Die Abwasserreinigung in der Stadt Hundested, Dänemark, bestand früher aus einer rein mechanischen und chemischen Behandlung, d.h. Rechen, Sand- und Fettfang sowie Klärbecken mit Phosphorfällung. Als Fällmittel wurde FeCl₃ in den

Sandfang dosiert. Die Fällung sollte ausschließlich die Entfernung suspendierter Stoffe verbessern.

Mit den neuen Reinigungsanforderungen an die Stickstoffelimination wurde für die Anlage wegen Platzmangels eine Festbetтанlage des BIOCARBONE-Typs gewählt. Die neue Anlage ist der ursprünglichen Anlage nachgeschaltet, d.h. daß das Abwasser bereits vorgefällt ist, wenn es in die Filter geleitet wird. Bei der Vorfällung werden BSB, Phosphor und ein Großteil der suspendierten Stoffe entfernt.

Vom Klärbecken wird das Abwasser in die BIOCARBONE-Anlage gepumpt, die aus 6 anoxischen Filtern zur Denitrifikation und 12 aeroben Filtern zur Nitrifikation besteht. Die Anlage wird nach dem Rezirkulationsprinzip mit Vordenitrifikation betrieben. Die anoxischen Filter und die Hälfte der aeroben Filter sind in einer Reihe stillgelegter Emscherbecken untergebracht. Durch die Wiederverwendung der Emscherbecken konnte die Kommune den Aufwand für den Abbruch alter und für den Bau neuer Becken sparen. Bild 1 zeigt ein Fließbild der Kläranlage Hundested.

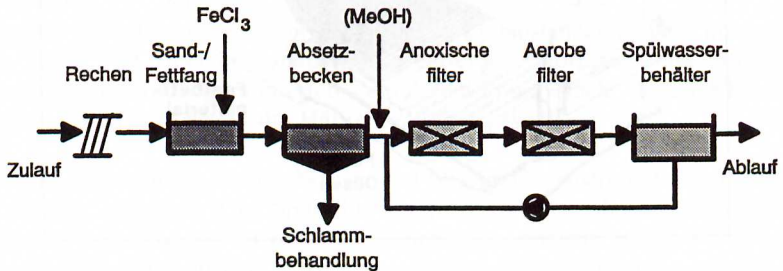


Bild 1 Fließbild der Kläranlage Hundested

In der BIOCARBONE-Anlage wird vorbehandeltes Abwasser mit dem Rezirkulationswasser gemischt und auf die 6 anoxischen Filter verteilt, in denen die Denitrifikation stattfindet. Danach wird das Abwasser in die 12 aeroben Filter geleitet. Das gereinigte Abwasser wird durch einen Spülwasserbehälter zum Ablauf geführt.

Der Spülwasserbehälter dient in erster Linie als Speicher für das Rückspülen der Filter, während dem die Rezirkulation über diesen Behälter abläuft.

Bei der Vorfällung wird das BSB/Stickstoffverhältnis (C/N-Verhältnis) relativ niedrig im Zulauf zur biologischen Stufe. Es ist deshalb notwendig, zusätzlichen Kohlenstoff zuzugeben, damit die Denitrifikation ausreichend sichergestellt ist. Dies erfolgt durch Zusatz von Methanol im Zulauf zu den anoxischen Filtern. Der Zusatz von Methanol wird über On-Line-Messung des im Ablauf vorhandenen Nitrats gesteuert.

Aufbau der BIOCARBONE-Filter

Die aeroben bzw. anoxischen Filter sind grundsätzlich gleich aufgebaut. Der einzige Unterschied ist die Körnung des Filtermaterials sowie die Belüftungsausrüstung in den aeroben Filtern. Bild 2 zeigt einen Schnitt einer Filterzelle und aus Tabelle 2 gehen die Hauptdaten der Filterzellen hervor.

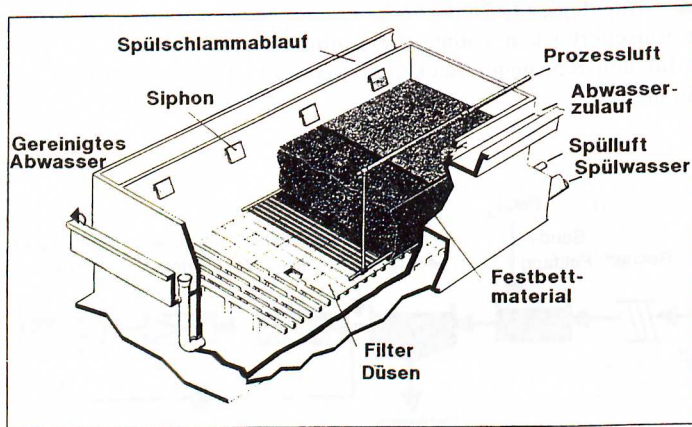


Bild 2 Schnitt durch einen BIOCARBONE-Filter

Tabelle 2 Technische Daten der BIOCARBONE-Filter, Kläranlage Hundested

Parameter	Anoxische Filter	Aerobe Filter
Stückzahl	6	12
Oberfläche (m ²)	24	24
Körnung (mm)	3-6	2-5
Schicht (m)	2,2	2

Das Abwasser wird zum oberen Teil des Filters geführt, strömt durch das Filtermaterial, das die Bakterienkulturen trägt, und verläßt den Filter durch den Düsenboden.

Das Filtermaterial besteht aus einem expandierten Blähton-Granulat mit einer Dichte von 1,1 - 1,3 g/cm³. Wie aus der Tabelle hervorgeht, wird in den anoxischen Filtern ein groberes Filtermaterial verwendet als in den aeroben, da in den anoxischen Filtern die größte Belastung suspendierter Stoffe vorhanden ist. Gleichzeitig soll der SS-Gehalt im Ablauf der aeroben Filter niedrig sein, was durch ein feinkörniges Material erzielt wird. Am Boden der Filter ist der Anschluß für Spülwasser und -luft angeordnet, der für die Filterspülung benutzt wird.

Am Boden der aeroben Filter ist außerdem noch ein Belüftungs-System angeordnet, das über die Gesamtfläche des Filters die Luft verteilt. Da das Wasser abwärts durch den Filter strömt, erfolgt die Filtration, ehe das Wasser an die Belüfter gelangt. Dabei wird der Großteil der Biomasse und eventuelle Fällmittel zurückgehalten, ehe das Wasser in Kontakt mit den Belüftern und den Filterdüsen gelangt.

Rückspülung

Die biologischen Filter werden in regelmäßigen Zeitabständen gespült, um suspendierte Stoffe und Überschussschlamm zu entfernen. Normalerweise erfolgt die Rückspülung in vorprogrammierten Zeiträumen in der Nacht. In der Kläranlage Hundested wird jede Nacht die Hälfte der Filter gespült.

Beim Rückspülvorgang werden Wasser und Luft im Gegenstrom durch den Boden in den Filter gepumpt. Der Spülschlamm wird von der Oberfläche des Filters mittels eines Saughebers entfernt, der während des Spülens gefüllt wird und der Schlamm vom Filter absaugt. Danach wird er zu einem Schlammwasserbehälter geführt und zum Zulauf des Klärbeckens gepumpt, in dem der Biofilterschlamm sich mit dem Primärschlamm absetzt.

Belastung

In der Kläranlage Hundested wird hauptsächlich häusliches Abwasser behandelt. Es wird der Anlage nur eine geringe Menge Industrieabwasser u.a. aus der Fischindustrie zugeleitet.

Tabelle 3 zeigt die durchschnittliche Belastung der Anlage.

BSB ₅	=	547 kg/d
CSB	=	1285 kg/d
N _{ges}	=	104 kg/d
P _{ges}	=	20 kg/d
SS	=	821 kg/d

Tabelle 3 Belastungen in der Kläranlage Hundsted

Vorfällung

Bei der Vorfällung werden ca. 62% des BSB₅ und 10% des Stickstoffes entfernt. Dadurch ändert sich das Verhältnis zwischen organischen Stoffen und Stickstoff von 5,3 im Zulauf auf 2,2 nach der Vorfällung (Basis: BSB₅:N). Phosphor wird auf 2 mg P/l reduziert.

Betriebsergebnisse

Bild 3 zeigt die Zu- bzw. Ablaufkonzentrationen sowie die prozentuale Reduktion der Gesamtanlage

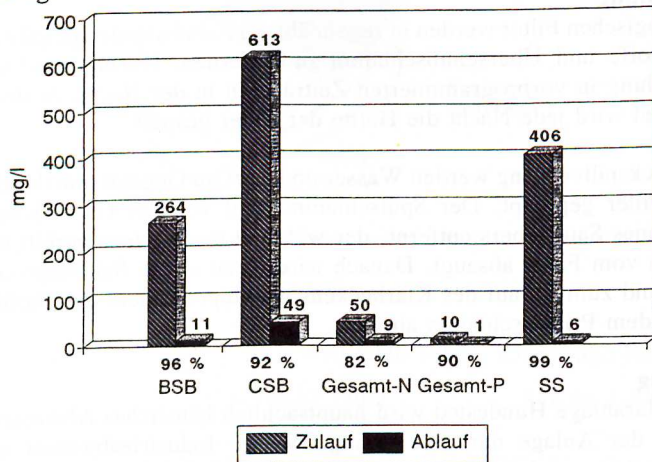


Bild 3 Zu- bzw. Ablaufkonzentrationen sowie prozentuale Reduktion, Kläranlage Hundsted.

Stickstoff wird um 82% reduziert, und die übrigen Parameter um zwischen 90% und 99%. Durch den niedrigen SS-Gehalt von 6 mg/l wird illustriert, daß in den Filtern eine effiziente Rückhaltung der suspendierten Stoffe gewährleistet ist.

Bild 4 zeigt die Ablaufwerte für Ammoniak und Nitrat während des Winters 1993/1994.

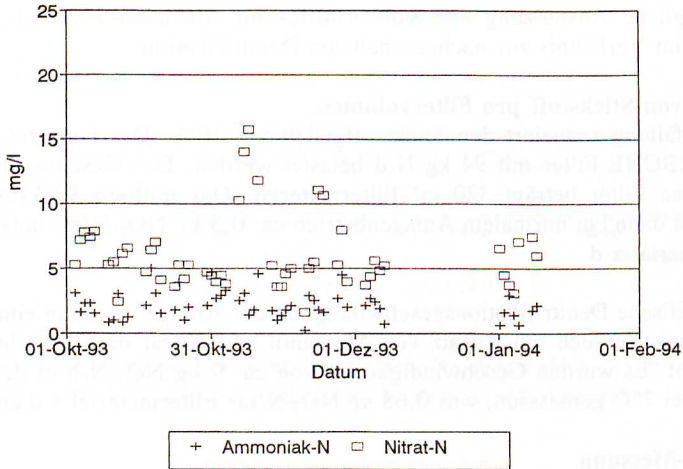


Bild 4 Ablaufwerte für $\text{NH}_3\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$ (Zulauf ca. $50 \text{ mg/l N}_{\text{ges}}$)

Die Nitrifikation war in der ganzen Periode stabil. Der Ammoniakwert ist immer $< 5 \text{ mg NH}_3\text{-N/l}$ mit einem Durchschnitt von $2,2 \text{ mg NH}_3\text{-N/l}$. Der typische Nitratwert befindet sich unter $10 \text{ mg NO}_3\text{-N/l}$ mit einem Durchschnitt von $6,0 \text{ mg NO}_3\text{-N/l}$.

In mehreren Fällen war der Nitratgehalt sehr hoch. Dies lag zunächst an einem Fehler in der Steuerung des Methanolzusatzes. Ferner war das betreffende Nitratmeßgerät nicht stabil. Wenn von diesen Unregelmäßigkeiten in Verbindung mit der Inbetriebnahme abgesehen wird, hat die Anlage gezeigt, daß sie die dänischen Anforderungen an Gesamt-N $< 8 \text{ mg/l}$ als Mittelwert berechnet auf Jahresbasis einhalten kann.

Die Messung von Sauerstoff im Ablauf der aeroben Filter zeigt ferner, daß die Belüftung zur Sicherung einer vollen Nitrifikation unnötig hoch war. Die Belüftung wird deshalb in Zukunft wesentlich reduziert und somit auch der Strom- und Methanolverbrauch. Man konnte ferner feststellen, daß das Wasser beim Überlauf über die Überfallkanten auf dem Weg von den aeroben Filtern zu den anoxischen

belüftet wird. Bei der Konzeption neuer Anlagen werden in der Zukunft Überfallkannten weitgehend vermieden.

Durch die Optimierung der vorgeschalteten Denitrifikation erzielt man sowohl die größtmögliche Ausnutzung des Kohlenstoffes im Abwasser als auch eine Ersparung im Verhältnis zur nachgeschalteten Denitrifikation.

Umsatz von Stickstoff pro Filtervolumen

Die Vorfällung reduziert den Stickstoffgehalt um 10%. Das bedeutet, daß die BIOCARBONE-Filter mit 94 kg N/d belastet werden. Das Gesamtvolumen der anoxischen Filter beträgt 320 m³ Filtermaterial. Der mittlere Stickstoffumsatz entspricht dann bei normalem Anlagenbetrieb ca. 0,3 kg NO₃-N/m³ unbelüftetem Filtermaterial x d.

Die spezifische Denitrifikationsgeschwindigkeit der Anlage wurde in einem großtechnischen Versuch mit Zusatz von Methanol und Nitrat im Überschuß näher untersucht. Es wurden Geschwindigkeiten von ca. 9 kg NO₃-N/h in der ganzen Anlage bei 7°C gemessen, was 0,68 kg NO₃-N/m³ Filtermaterial x d entspricht.

On-Line-Messung

Ein mobiler Meßwagen zur On-Line-Messung von u.a. NH₃-N, NO₃-N und P wurde beim Probetrieb der Anlage eingesetzt.

Die Bilder 5 und 6 zeigen Beispiele dieser On-Line-Messungen in Dezember 1993 bei einer Temperatur von 7°C. Die Kurven zeigen den Ammoniak-, Nitrat- und Phosphorgehalt im Ablauf der aeroben Filter. Bild 5 zeigt eine Erhöhung des Ammoniak- und Nitratgehaltes im Laufe des Nachmittags und am frühen Abend. Die Erhöhung der Werte ist darauf zurückzuführen, daß die Belastung der Anlage zunimmt, da in diesem Zeitraum die Filter gespült wurden. Bild 6 zeigt einen Tagesverlauf, bei dem die Rückspülung im Zeitraum von 21:00 bis 6:00 erfolgt. Nachdem die Rückspülung begonnen hat, erhöhen sich die Ammoniak- und Nitratwerte weniger im Vergleich zu Zeiten mit Spitzenbelastung der Anlage.

Ein Teil der Ursache liegt darin, daß die Leistung der Spülwasserpumpe sehr hoch war und sich nur schwer regulieren ließ. Es wurde danach nochmals versucht die Betriebsform zu optimieren, besonders mit bezug auf die Rückspülung. Bild 6b zeigt das Ergebnis von On-Line-Messungen vom 6.-7. Januar 1994, nach der Optimierung. Es geht daraus hervor, daß die Schwankungen in NH₃-N jetzt < 1 mg/l und in NO₃-N < 2 mg/l sind.

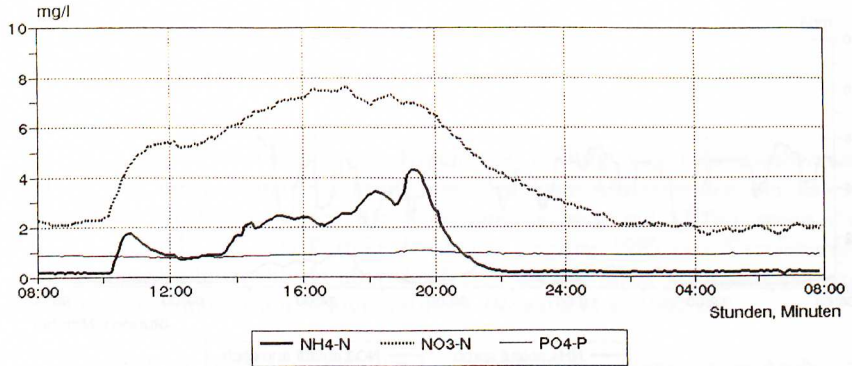


Bild 5 On-Line-Messung von Ammoniak ($\text{NH}_3\text{-N}$), Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) und Phosphat (PO_4) im Ablauf von den Aeroben Filtern. 17-18. Dezember 1993.

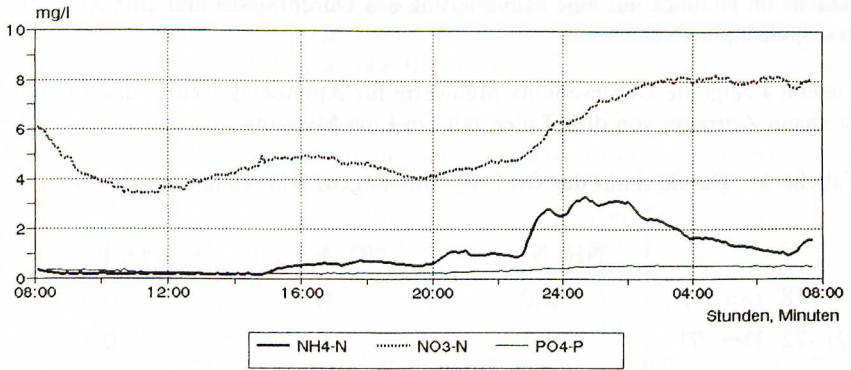


Bild 6 On-Line-Messung von Ammoniak ($\text{NH}_3\text{-N}$), Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) und Phosphat (PO_4) im Ablauf von den Aeroben Filtern. 2-3. Januar 1994

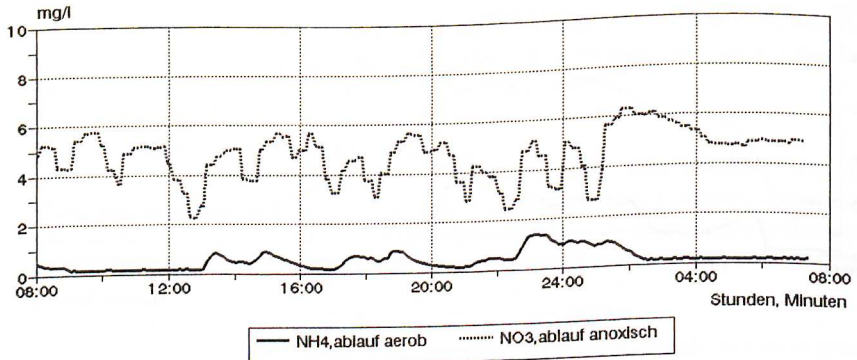


Bild 6b On-Line-Messung von Ammoniak ($\text{NH}_3\text{-N}$), Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) und Phosphat (PO_4) im Ablauf von den Aeroben Filtern. 6.-7. Januar 1994

Aufgrund dieser Erfahrung arbeitet man jetzt mit einer Verbesserung des Spülverfahrens im Hinblick auf eine Minimierung des Durchflusses und eine Anpassung des Spülzeitpunktes.

Tabelle 4 zeigt die Durchschnitts-Meßwerte für Ammoniak, Nitrat und Phosphor in einem Zeitraum von drei Tagen mit On-Line-Messung.

Tabelle 4 Durchschnitt der On-Line-Messungen, Kläranlage Hundested

	$\text{NH}_3\text{-N}$ mg/l	$\text{NO}_3\text{-N}$ mg/l	$\text{PO}_4\text{-P}$ mg/l
17.-18. Dez. 93	1,0	4,2	0,9
21.-22. Dez. 93	1,2	4,5	0,3
02.-03. Jan. 94	1,1	5,5	0,4

Die On-Line-Messungen sind in guter Übereinstimmung mit den Laboranalysen und zeigen, daß die Anlage die Anforderungen einhalten kann.

Das Ergebnis der Messungen zeigt ferner, daß außer einer zufriedenstellenden Ablaufgüte eine gewisse Dynamik in der Anlage vorhanden ist, daß aber diese durch Betriebsoptimierung kontrolliert werden kann. Es ist in diesen Anlagentypen deshalb besonders zweckmäßig On-Line-Messung und -Steuerung einzusetzen, um

eventuelle Schwankungen auszugleichen. Als Alternative ist die Anlage so groß zu bemessen, daß die Schwankungen auf diese Weise ausgeglichen werden.

KLÄRANLAGE NYBORG

Pilotanlage

Weil ca. 50% der Belastung der Kläranlage Nyborg von Industrieabwasser stammen und noch wenig Erfahrung mit niedrigen Ablaufwerden bei kaltem Temperaturen vorlagen, trafen die Kommune Nyborg mit COWIconsult und ENVI-TEC (KRÜGER) als Partner deshalb in Februar 1989 eine Vereinbarung mit der Umweltschutzbehörde über die Durchführung eines Forschungsprojekts zur Abwasserreinigung mit Schwimmfiltern (Rogalla et al 1992 (b)).

Bei den Industrien handelt es sich um Lebensmittelunternehmen, eine Asphaltfabrik und eine Chemiemüllbehandlungsanlage.

Versuche mit Nitrifikation und Denitrifikation wurden in zwei separaten vorgeschalteten Reaktoren gemäß dem Rezirkulationsprinzip durchgeführt, d.h. ein anoxischer Reaktor mit nachgeschaltetem aerobem Reaktor. Der anoxische Reaktor war mit einem kombinierten Filtermaterial bestehend aus 0,75 m³ Blähton und 0,25 m³ Polystyrol-Kugeln gefüllt (das dem im BIOSTYR-Konzept angewandten Typ entspricht). Der aerobe Reaktor war mit Polystyrol-Kugeln gefüllt.

Versuche mit mechanisch/chemisch gereinigtem Abwasser wurden durchgeführt, in denen Abwasser als Kohlenstoffquelle für die Denitrifikation angewandt wurde. Das BSB/Ges-N-Verhältnis im Ablauf der mechanischen Anlage schwankte zwischen 1,9 und 2,3, was für die Durchführung einer Denitrifikation nicht ausreicht. Um einen größeren Teil des Abwassers ausnutzen zu können, versuchte man deshalb rohes Abwasser, das nach den Rechen entnommen wurde, zuzuführen. Dies ergab ein BSB/Ges-N-Verhältnis, das zwischen 3,4 und 4,7 schwankte. Unter diesen Verhältnissen erhielt man bei 10°C und 14°C Denitrifikationsgeschwindigkeiten von 0,27 kg N/m³ anoxischem Volumen × d bzw. 0,38 kg N/m³ anoxischem Volumen × d.

Gleichzeitig wurde eine Nitrifikation mit Ablaufkonzentrationen von durchschnittlich zwischen 0,6 und 2,6 mg NH₄/l in den verschiedenen Rohwasserperioden erzielt. Die Nitrifikationsgeschwindigkeiten wurden zu 0,51 bzw. 0,54 kg N/m³ × d bei 10°C bzw. 14°C gemessen.

Das C/N-Verhältnis reichte immer noch nicht für eine volle Denitrifikation aus, weshalb während der letzten Rohwasserperiode Zusatz von Methanol stattfand.

Weil die bestehende Vorfällung erhalten werden sollte, wurden dann Versuche mit mechanisch gereinigtem Abwasser sowie Zugabe einer externen Kohlenstoffquelle in der Form von Methanol durchgeführt.

Der Betrieb wurde auf die Erreichung der Ablaufanforderungen des dänischen Gewässerschutzplans hin ausgelegt.

Bei Temperaturen von 17°C und 10°C wurden Nitrifikationsgeschwindigkeiten von 0,85 bzw. 0,43 kg N/(m³ aerobes Volumen × d) beobachtet. Diese Ergebnisse wurden für die Konzeption der großtechnischen Anlage benutzt.

ANLAGENAUFBAU

Angesichts der letzten Phase der Pilotversuche wurde dann beschlossen, eine auf dem BIOSTYR-Verfahren basierende Festbettanlage zu errichten, in der eine Biofiltration im Aufstrom und Rückspülung im Gegenstrom das Hauptprinzip sind.

Die Anlage wurde für eine Belastung gemäß Tabelle 5 konzipiert.

Tabelle 5: Bemessungsdaten für die Kläranlage Nyborg (BIOSTYR)

Wassermengen			
Q _{Trockenwetter}	(m ³ /d)	13.000	
Q _{max.Stunde}	(m ³ /h)	870	
Q _{max.Stunde Regen bio.Behand.}	(m ³ /h)	1.400	
		Zulauf BIOSTYR (Festbett)	Ablaufanforderungen
CSB	mg/l	230	-
BSB	mg/l	90	15
Ges.-N	mg/l	46	8
NH ₄ -N	mg/l		3
Ges.-P	mg/l	2	1,5
TS	mg/l	50	20

Nach dem Rechen durchströmt das Abwasser den Sand- und Fettfang unter Zusatz von FeCl₃. In den Absetzbecken werden der Phosphor und die organischen Partikel gefällt.

Die BIOSTYR-Anlage ist der vorhandenen mechanisch/chemischen Anlage nachgeschaltet. Die Anlage besteht aus 10 Filtern von je 63 m^2 , von denen zwei - obwohl ohne maschinelle Ausrüstung - installiert worden sind, falls ein Ausbau der Anlage in Zukunft notwendig ist. 5 Zellen sind auf jeder Seite des Filtergangs unter den Zu- und Ablaufleitungen angebracht. Siehe Schnittzeichnung, Bild 7.

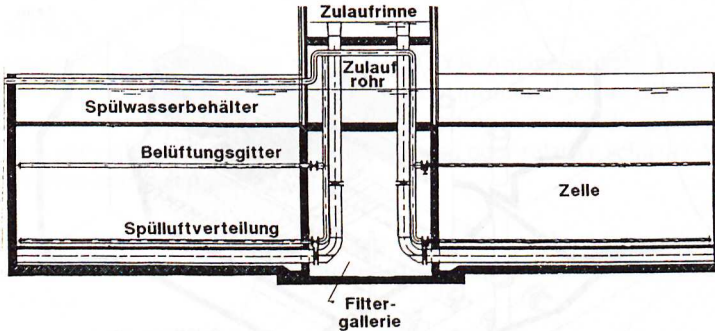


Bild 7 Schnitt durch die BIOSTYR-Anlage

Das Material, auf dem die Bakterien sich ansetzen, besteht aus Polystyrol-Kugeln mit je einem Durchmesser von ca. 3 mm und einer Oberfläche von ca. $1050 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (Boller et al 1993).

Jede Zelle besteht aus einer anoxischen Zone von 1 m und einer aeroben Zone von 1,5 m Tiefe. Die zwei Zonen sind mittels eines Belüftungsgitters getrennt. Ein Wasservolumen von ca. 125 m^3 unter dem Material ermöglicht eine Ausdehnung des Materials während der Spülung. Bei der Volumenbemessung wird sichergestellt, daß bei einer Belastungserhöhung allen Zellen zusätzliches Material von $\frac{1}{2} \text{ m}$ zugeführt werden können. Dies beruht auf ein eventuelles Vorhandensein von relativ großen Nitratkonzentrationen im Rohwasser, besonders was Nyborg betrifft.

Bild 8 zeigt einen Schnitt durch eine BIOSTYR-Zelle.

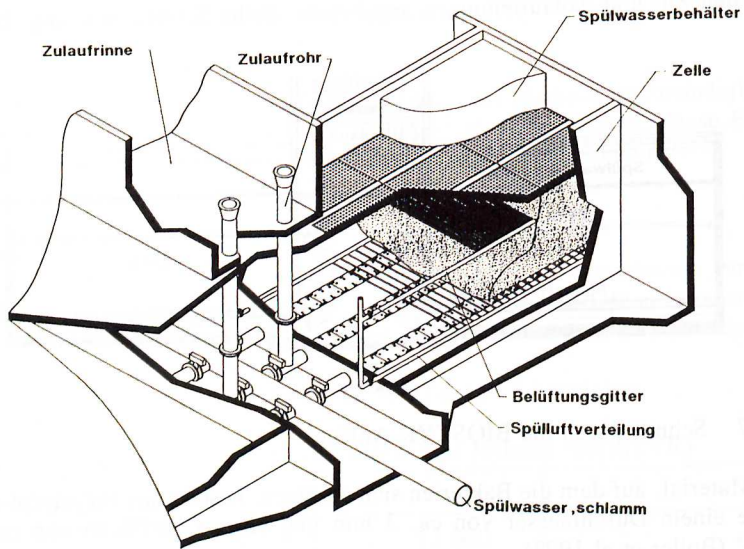


Bild 8 Schnitt durch eine BIOSTYR-Zelle

Die Anlage ist für Rezirkulationsverfahren im Aufstrom gebaut, bei dem das Abwasser und das nitrathaltige Rezirkulationswasser einer hochliegenden Verteilungsrinne zugeleitet und dann durch Verteilerrohre zum Filterboden geleitet werden. Auf Grund des Druckunterschieds zwischen dem Zu- bzw. Ablaufkanal wird das Wasser durch den Filter nach oben geleitet.

Da im Falle Nyborg eine externe Kohlenstoffquelle erforderlich ist, wird in der Verteilungsrinne Methanol zugegeben. Das kohlenstoff- und nitrathaltige Wasser wird zuerst durch die anoxische Zone geleitet, in der Filtration von suspendierten Stoffen, Sauerstoffreduktion und Denitrifikation erfolgt. Der anfallende Stickstoff (N_2) wird automatisch in Durchlaufrichtung aufwärts mitgenommen und dann an die Atmosphäre freigegeben.

Das Abwasser durchströmt dann das Belüftungsgitter, dem Luft von zwei zwei-stufigen Kapselgebläsen zugeführt wird. In diesem Teil der Anlage werden

während der Nitrifikation auch eventuelle organische Stoffe oxidiert. Das gereinigte Abwasser durchströmt die Düsendecke, die die Polystyrol-Kugeln zurückhält. Über der Düsendecke ist ein Klarwasserspeicher von insgesamt 1350 m³ integriert, von dem das Wasser entweder in dem Ablauf gegeben oder für Spülungen verwendet wird.

STEUERUNG

Die hydraulische Aufenthaltszeit in der BIOSTYR-Anlage ist sehr kurz im Vergleich zur Belebungsanlage. Dies stellt strenge Anforderungen an die Bemessung oder Steuerung der Anlage, weil große Schwankungen in der Zusammensetzung des Zulaufs entweder aufgefangen werden müssen oder relative schnelle Änderungen in der Steuerung erfordern.

Da die Anlage einer der ersten dieses Typs ist, mußten während der Inbetriebnahme laufende Justierungen und Änderungen vorgenommen werden, um den Betrieb zu optimieren.

Die Kläranlage Nyborg ist einer PDV-Anlage (Prozeßdatenverarbeitungsanlage) angeschlossen, die aus einem Hauptspeicher und zwei SPS (speicherprogrammierten Steuerungen) besteht. Die Funktion der einen SPS ist ausschließlich die Steuerung der BIOSTYR-Anlage. Die Funktion der zweiten SPS ist die Kontrolle der mechanisch/chemischen Anlage.

In Verbindung mit der Steuerung wurde ein On-Line-UV-Meßgerät installiert, das auf die Zulaufschwankungen des CSBs reagiert (Roudon et al, 1990). Auf Basis dieser Messung lassen sich die Gebläsegeschwindigkeit, die Methanoldosierung und der Rezirkulationsgrad regeln. Falls das Meßgerät außer Betrieb ist, wird ein alternatives Steuerprogramm eingekuppelt.

FILTERSPÜLUNG

Während der Abwasserreinigung erhöht sich der Druckverlust über den Filtern aufgrund der Rückhaltung von suspendierten Stoffen sowie des biologischen Wachstums. Deshalb wird über jedem Filter der Druckverlust kontinuierlich gemessen, und bei Erreichung der festgelegten Druckniveaus wird mittels der PDV-Anlage gespült. Generell erfolgt die Spülung bei einem erhöhten Druckverlust von 2,5 mWS.

Das Spülverfahren ist ein wesentlicher Betriebsparameter der Anlagensteuerung. Aus betriebstechnischen Gründen soll nur rückgespült werden, wenn erforderlich.

Jedoch darf der Zeitraum zwischen den Spülungen auch nicht zu lang sein, da dann Verstopfungen und Kanalbildungen im Material entstehen können.

Das gebrauchte Spülwasser (ca. 470 m³/Spülung) wird zuerst dem Spül-Schlammbecken von 350 m³ zugeleitet und dann zurück zum Zulauf des Sand- und Fettfangs gepumpt. Die Entnahme von biologischem und Primärschlamm erfolgt in den Absetzbecken. Der Schlamm wird mittels Polymeren in einem Voreindicker entwässert, ehe er dem Faulbehälter zugeleitet wird. Das Schlammwasser der Schlammbehandlung wird zum Zulauf des Sand- und Fettfangs zurückgeleitet.

Es handelt sich um zwei unterschiedliche Rückspülverfahren:

1. Hauptspülung
2. Mini-Spülung

Die Hauptspülung erfolgt in festgelegten Abständen, die von der Belastung der suspendierten Stoffen und der biologischen Aktivität abhängen. Die Hauptspülung erfolgt jeden Tag in allen Filtern, falls der maximale Druckverlust nicht vorher erreicht worden ist.

Die Hauptspülung besteht aus einer Reihe Phasen, in denen mit Wasser bei 60 m/h (insgesamt ca. 6,5 Min.) gespült oder mit Luft bei 17 m/h (insgesamt ca. 4,5 Min.) gereinigt wird. Die angeführten Zeiten sind vom gewählten Spülprogramm abhängig. Die Wasserspülung erfolgt im Gegenstrom und die Luftspülung erfolgt mit einem Spülluftgitter am Filterboden. Dadurch wird sichergestellt, daß der im Filter angehäuften Schlamm sowie zurückgehaltene Partikel sich ablösen und ausgespült werden.

Mini-Spülung ist eine reduzierte Ausgabe der Hauptspülung, indem nur mit Wasser gespült wird, um die Anhäufungen am Boden des Filtermaterials auszuspülen.

BETRIEB DER BIOSTYR-ANLAGE

Die BIOSTYR-Anlage wurde November 1992 verfahrensmäßig in Betrieb genommen. Die Anlage wurde mit niedriger hydraulischer Belastung (7800 m³/d) in Betrieb gesetzt, und der ganze Filter wurde belüftet, um ein Wachstum nitrifizierender Bakterien auf den Polystyrol-Kugeln zu schaffen.

Trotz Temperaturen zwischen 9°C und 13°C wurde innerhalb weniger Wochen volle Nitrifikation erreicht. Danach wurde die Belastung allmählich erhöht.

Bild 9 zeigt den Verlauf der Inbetriebnahme der Nitrifikation.

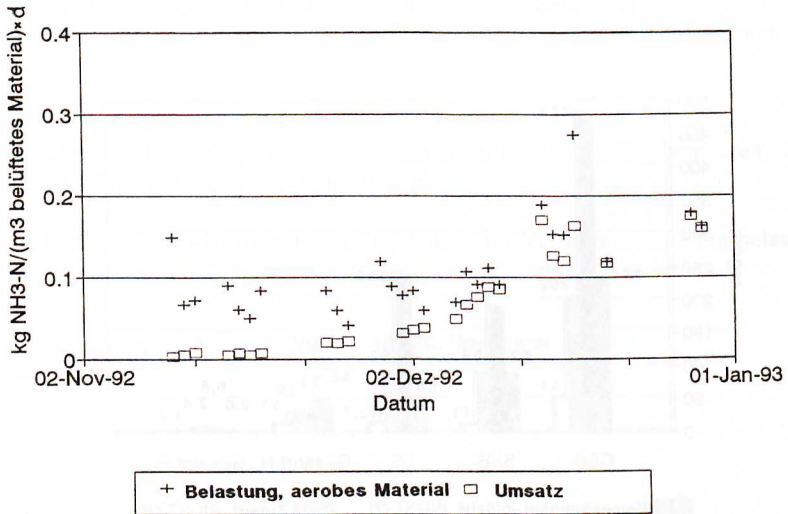


Bild 9 Inbetriebnahme der Nitrifikation November/Dezember 1992. Der ganze Filter ist belüftet. BIOSTYR, Nyborg.

Die Rezirkulation und Inbetriebnahme der Denitrifikation fanden Anfang Februar 1993 statt. Es muß hier berücksichtigt werden, daß im Zulauf zur Kläranlage wesentliche Nitratmengen im Abwasser häufig vorkommen können.

BELASTUNG

Die Belastung der Anlage ist im großen ganzen wie erwartet mit Ausnahme der Feststoffe, die fast den zweifachen Bemessungswert erreichen. Bild 10 zeigt mittlere Zu- und Ablaufkonzentrationen in zusammengehörigen Proben sowohl vor und nach der Fällung als auch im Ablauf der Anlage. Die bei der Bemessung des Zulaufs zur BIOSTYR angewandten Werte sind auch ersichtlich.

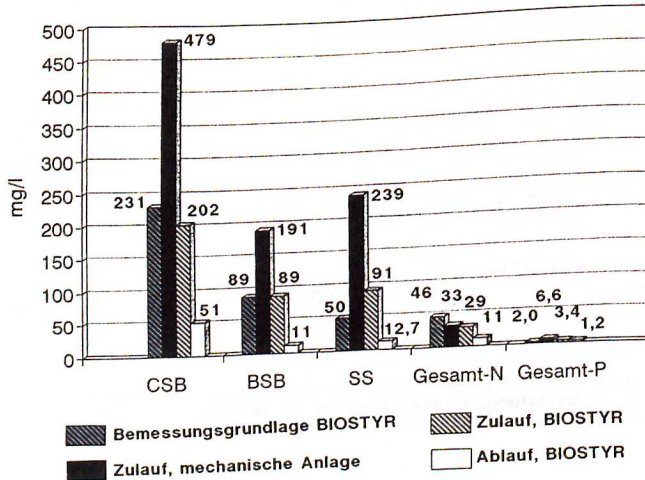


Bild 10 Belastung und mittlere Konzentrationen während der Inbetriebnahme im Zulauf zur mechanischen Anlage, Zulauf und Ablauf zur BIOSTYR-Anlage.

Das BSB/N-Verhältnis beträgt im Zulauf durchschnittlich 5,5. Nach der Vorfällung ist das Verhältnis auf ca. 2,5 reduziert. Als zusätzliche Kohlenstoffquelle werden deshalb durchschnittlich ca. 1270 l Methanol pro Tag zugeführt.

Der Bedarf an Methanol hängt nicht nur vom C/N-Verhältnis und der Menge an leicht zugänglichem Kohlenstoff im Zulauf ab, sondern auch vom Sauerstoffgehalt im Rezirkulationswasser. Was die Entfernung von 1 mg $\text{NO}_3\text{-N}$ betrifft, ist jedoch zu bedenken, daß die Entfernung von 1 mg O_2 nur 30% der für die Stickstoffreduktion notwendigen Kohlenstoffmenge erfordert. Die Methanol-Dosierung erfolgt bis zu einem CSB/N-Verhältnis von ca. 10. Z.Z. erfolgt noch eine weitere Optimierung dieses Verhältnisses.

Bei der Anlagenkonzeption wurde maximal 1,5 mg/l gelöster nicht abbaubarer organischer N vorausgesetzt. In der Praxis hat es sich aber erwiesen, daß dieser Parameter bis zu 3,5 mg/l betragen kann, was sich vermutlich auf die Industrie-

belastung zurückführen läßt. Dies trägt zu einer Erhöhung des N-Gehalts im Ablauf bei, die durch biologische Verfahren nicht verringert werden kann.

SS-REDUKTION

Der Filter ist zum Zurückhalten von suspendierten Stoffen bemessen. Diese Funktion hängt aber von der Belastung ab.

Bild 11 zeigt die SS-Konzentration im Ablauf im Verhältnis zur Filterbelastung.

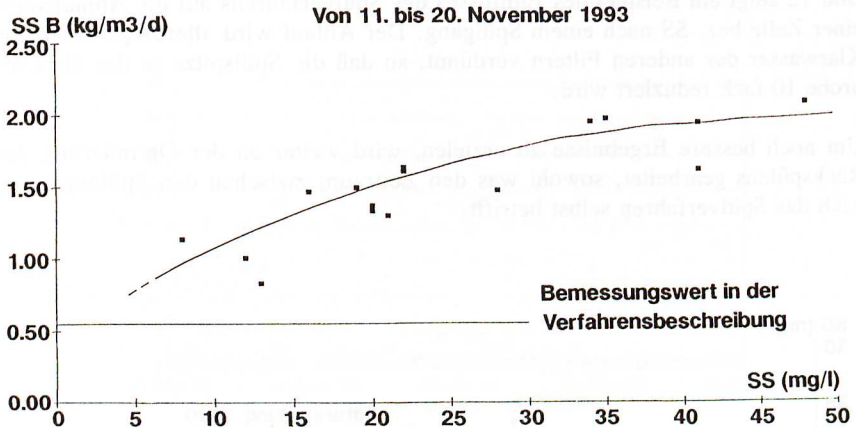


Bild 11 Die SS-Konzentration im Ablauf im Verhältnis zur Belastung BIOSTYR, Nyborg

Es geht aus Bild 11 hervor, daß mit zunehmender Belastung auf dem Material die Ablaufgüte verringert wird. Dies hat Bedeutung für die erzielten Ergebnisse, weil nach der Inbetriebnahme von BIOSTYR eine wesentliche Verringerung der Effizienz des Absetzbeckens im Verhältnis zu den während der Betriebsperiode der Pilotanlagen erzielten Reduktionen festgestellt wurde. Die erzielte SS-Reduktion beträgt ca. 60% gegen früher ca. 80%. Die Streuung der Zahlen ist auch erhöht, was natürlich auf mehrere Faktoren zurückgeführt werden kann:

- physikalische Faktoren (Räumerkapazität, Flockung u.a.m.)
- geänderte Rohwasserzusammensetzung
- Rezirkulation des Schlammwassers von BIOSTYR

Diese Faktoren werden zur Zeit untersucht. Es wurden keine physikalischen Fehler bei den Längs-Absetzbecken gefunden. Um den zweiten Faktor untersuchen zu können, wurden Laborfällungsversuche durchgeführt. Diese Versuche zeigten, daß das Rohwasser seine Zusammensetzung offensichtlich geändert hatte, weil FeCl_3 in heutigen Perioden nicht immer zur Fällung des Abwassers geeignet ist.

Was den dritten Faktor betrifft, ist - wie bei anderen Filtrationsverfahren - die SS-Konzentration einer Zelle direkt nach einer Spülung doppelt so groß wie vor der Spülung. Je nach Effizienz der Spülung und der vorhergehenden Belastung wird nach $\frac{1}{2}$ bis $1\frac{1}{2}$ Stunden die Ablaufgüte den vorherigen Wert erreichen.

Bild 12 zeigt ein Beispiel des Einflusses des Spülverfahrens auf die Ablaufwerte einer Zelle bez. SS nach einem Spülgang. Der Ablauf wird allerdings durch das Klarwasser der anderen Filtern verdünnt, so daß die Spülspitze in der Gesamprobe 10-fach reduziert wird.

Um noch bessere Ergebnisse zu erzielen, wird weiter an der Optimierung des Rückspülens gearbeitet, sowohl was den Zeitraum zwischen den Spülungen als auch das Spülverfahren selbst betrifft.

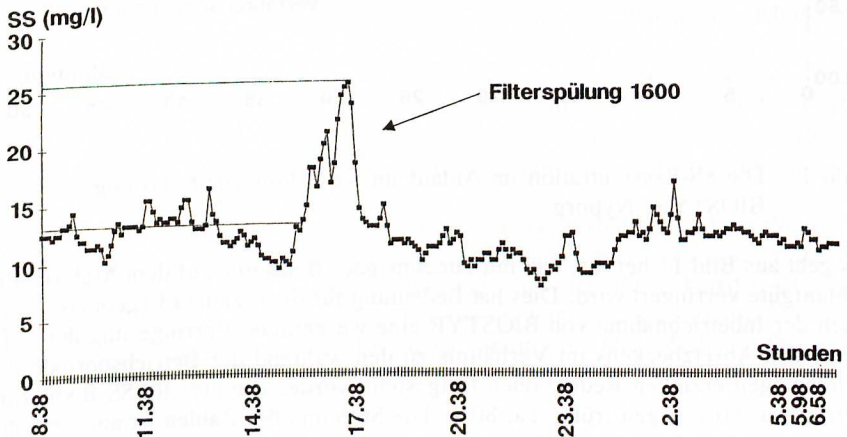


Bild 12 Trübung gemessen im Ablauf einer Zelle und in SS umgerechnet.

STICKSTOFFELIMINATION

Bild 13 und Bild 14a zeigen die 1993-iger Ergebnisse mit Bezug auf Nitrifikation und N-Eliminierung durch die BIOSTYR-Anlage im Verhältnis zur Zulaufkonzentration bzw. Materialvolumen.

Die Belastung ist angegeben als die Summe von $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$. Das Verhältnis zwischen $\text{NH}_4\text{-N}$ /Ges-N im Zulauf ist im Durchschnitt 0,65, mit einer Streuung von 0,08. Deshalb ist die Gesamtbelastung über 1,5 mal größer als die sich aus den Bildern 13 und 14 ergebende Belastung.

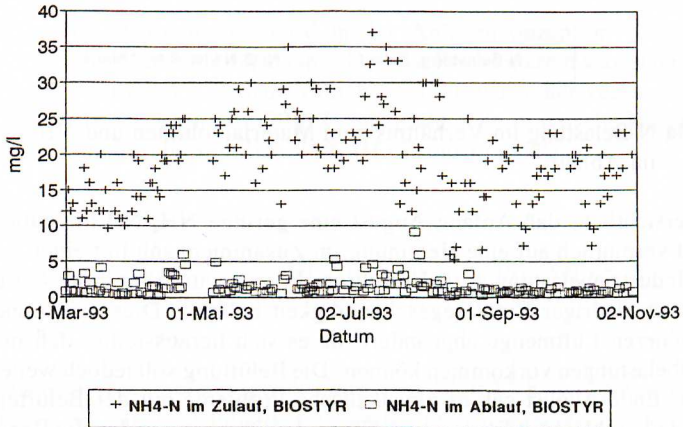


Bild 13 Ammoniak-Reduktion in der BIOSTYR-Anlage (Temperatur 8-17°C) Nyborg 1993

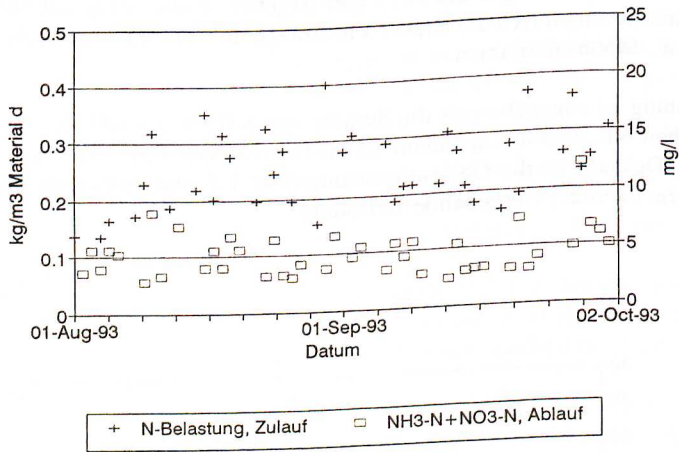


Tabelle 6 Mittelwerte im Ablauf, Kläranlage Nyborg

Parameter	Mittelwert	Standardabweichung
NH ₄ -N mg/l	1,2	0,8
NO ₃ -N mg/l	3,9	1,7
Ges-N* mg/l	7,2	2,2
Ges-P mg/l	0,9	0,2
CSB mg/l	55	15
SS mg/l	12	8

* Ges-N berechnet ($\text{Ges-N} = (\text{NO}_3^- + \text{NH}_4\text{-N}/0,73)$)

Eine 80%-ige NO₃-N-Reduktion wird in der Anlagenkonzeption vorausgesetzt (was einer 5-fachen Rezirkulation entspricht). Die Rezirkulation war in der ganzen Periode durchschnittlich 4,9 (Normabweichung 1,4), was einer voraussichtlichen Effizienz der Denitrifikation von 79,6% entspricht. Die praktische Effizienz der Denitrifikation war durchschnittlich 74% (H. Toettrup 1993).

ON-LINE-MESSUNGEN

Während des 1-jährigen Betriebes der Kläranlage Nyborg war es, wie aus dem obigen ersichtlich möglich, bei Anwendung des BIOSTYR-Prinzips gute Reinigungsergebnisse zu erzielen.

Da die Anlage eine der ersten großtechnischen BIOSTYR-Anlagen mit sowohl Nitrifikations- als auch Denitrifikationsverfahren in derselben Filterzelle ist, erfolgt laufend eine Entwicklung und Erfahrungssammlung im Hinblick auf eine Verfahrensoptimierung. Versuche in der Pilotanlage, die Grenzen für die Anlagebelastungen zu finden, insbesondere unterschiedliche Kombinationen von Industrieabwasser, laufen weiter.

Um einen Überblick über die Dynamik und Belastungsschwankungen der Anlage zu erhalten, wurden On-Line-Messungen mit einem mobilem Meßwagen gemacht. Der Meßwagen, der mit Meßgeräten für NH₄-N, NO₃-N, Redox und Trübung sowie Datenerfassung ausgerüstet ist, wurde Anfang November 1993 für zwei Wochen aufgestellt.

Zusätzlich wurden folgende Parameter vom Meßwagen registriert:

- Druckverlust in allen Biofiltern
- Gebläsebetrieb
- Pumpenbetrieb

Die Messungen zeigten, daß eine große Belastung nachmittags um ca. 16 Uhr vorkommt, was für die Kläranlage Nyborg sehr typisch ist. Zu diesem Zeitpunkt kann die $\text{NH}_3\text{-N}$ -Belastung mehr als $1 \text{ kg NH}_3\text{-N/m}^3$ belüfteten Material \times Tag betragen. Während der übrigen Zeit kommt eine niedrige Belastung vor. Man hat ferner gefunden, daß das Ammonium im Ablauf sich eine Stunde nach maximaler Belastung erhöht, wenn die Gebläse nicht kontinuierlich gesteuert werden. Dies entspricht der Aufenthaltszeit der Anlage.

Die On-Line-Messungen können jetzt bei der Steuerung der Gebläse, der Optimierung der Rezirkulation und der Methanol-Dosierung benutzt werden.

Bild 14b stellt ein Beispiel der On-Line-Messungen von $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ und PO_4P im Ablauf der Anlage dar.

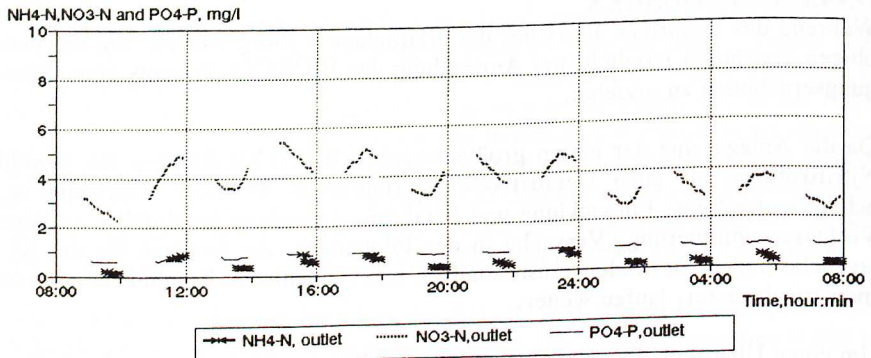


Bild 14b On-Line-Messungen 12-13. November 1993, Ablauf.
Kläranlage Nyborg

KÜNFTIGE BIOSTYR-ANLAGEN

Außer der Kläranlage Nyborg werden zur Zeit in Dänemark noch 4 BIOSTYR-Anlagen errichtet oder geplant, deren Bemessungsdaten aus Tabelle 7 ersichtlich sind.

Tabelle 7 Bemessungsdaten für neue dänische BIOSTYR-Anlagen mit N-Elimination

	Frederikshavn	Hobro	Mariager	Assens
Zellenanzahl	6	6	4 (2)	3
m ² /Zelle	63	24	24 (7)	14
Durchfluß _{mittel} m ³ /d	10.000	9.100	2.800	2.000
Durchfluß _{max.} m ³ /h	620	550	175	85
N-Belastung kg/d	395	216	85	56
BSB-Belastung kg/d	1.515	207	380	240

() Den Denitrifikationszellen nachgeschaltet

Kläranlage Frederikshavn

Man hat die BIOSTYR-Anlage wegen Platzmangel gewählt. Die Anlage soll nach einer Belebungsanlage in Serie betrieben werden, weshalb periodisch externer Kohlenstoff dosiert werden muß. Um den Kohlenstoffverbrauch zu minimieren, ist es durch die Steuerung möglich, die Anlage entweder als Rezirkulationsanlage oder als Rezirkulationsanlage mit Nach-Denitrifikation zu betreiben. Für NH₄ und NO₃ ist eine On-Line-Messung vorhanden. Die Anlage wird voraussichtlich 1995 in Betrieb genommen.

Kläranlage Hobro

Die Anlage wird hauptsächlich zur Nitrifikation verwendet, da eine Nach-Denitrifikation mit vorhandenen Dyna-Sand-Filtern durchgeführt wird. Wie in der Kläranlage Frederikshavn wird eine On-Line-Messung für sowohl NH₄ als auch NO₃ installiert. Eine aktive Steuerung von sowohl Kohlenstoffdosierung, Rezirkulation als auch Belüftung wird ebenfalls vorhanden sein. Die Anlage wird voraussichtlich 1994 in Betrieb genommen.

Kläranlage Mariager

Die Anlage wird durch 4 Rezirkulationszellen und 2 Nach-Denitrifikationszellen erweitert und voraussichtlich 1995 in Betrieb genommen.

Kläranlage Assens

Die Anlage wird durch 3 Nitrifikationszellen erweitert und voraussichtlich 1995 in Betrieb genommen.

Die genannten Anlagen, außer der Kläranlage Assens, haben alle Anforderungen an 8 mg/l Ges-N im Ablauf.

Wie aus Obigem hervorgeht, können Biofilmsysteme zur Stickstoffelimination weitgehend - oft im Zusammenhang mit dem Anlagenausbau - eingesetzt werden. Es ist deshalb wichtig, in der Konzeptionsphase die verschiedenen Möglichkeiten des Systems zu beurteilen.

Phosphorelimination - Festbettanlagen

Die bisherige Praxis der Phosphorelimination in Biofilteranlagen mit Stickstoffelimination ist wie vorstehend beschrieben die Vorfällung. Es gibt offensichtliche Vorteile der mechanischen Elimination von partikulären und organischen Stoffen, die sonst zur Biomasse beitragen. Es gibt aber auch Nachteile in dieser Verfahrenskonzeption in bezug auf das reduzierte C/N-Verhältnis und den zusätzlichen Chemikalienverbrauch.

Es werden deshalb zur Zeit alternative P-Eliminationsverfahren untersucht. Es handelt sich in diesem Zusammenhang um eine Simultanfällung im Filter (Sammut et al 1992) und um eine biologische Phosphorelimination. Nur die biologische Phosphorelimination wird im folgenden beschrieben. Die Voraussetzungen der biologischen Phosphorelimination sind von der Erfahrung mit Belebungsverfahren her bekannt, und die biologischen Verfahren sind eingehend untersucht worden. Damit die erforderlichen Verfahrensbedingungen vorhanden sind, muß eine Wechselwirkung zwischen anaeroben und aeroben Verhältnissen mit Zusatz von Kohlenstoff in den anaeroben Phasen/Becken gewährleistet sein.

Neue Untersuchungen (Kern-Jespersen et al 1994) haben gezeigt, daß auch ein anaerob-anoxischer-Verlauf das Wachstum der P-akkumulierenden Biomasse sicherstellen kann. Auf diesem Hintergrund wird heute mit der praktischen Entwicklung von Biofilter-Konzeptionen zur biologischen P-Elimination gearbeitet. Mit diesen Verfahren wird der Gehalt an organischen Stoffen im Abwasser effektiv genutzt, gleichzeitig wird die Bildung von chemischem Überschußschlamm minimiert.

Das Prinzip geht aus Bild 15 hervor. Die Anlage auf Bild 15 besteht aus 3 Filtern, von denen zwei zwischen anaeroben und anoxischen Verhältnissen wechseln, während der dritte Filter, von dem das Wasser in die anoxischen Filter zurückgeführt wird, immer aerob betrieben wird.

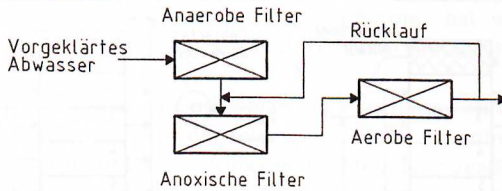
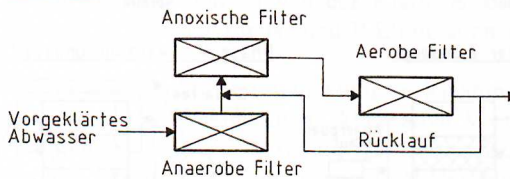
Phase 1Phase 2

Bild 15 Anlage zur biologischen Phosphorelimination im anaerob/anoxischem Verfahren.

In den zwei Filtern, die zwischen anaeroben und anoxischen Betriebsverhältnissen wechseln, werden die P-akkumulierenden Bakterien selektiert (Kern-Jespersen et al., 1994). Der Phosphor wird bei der Rückspülung am Ende der anoxischen Phasen aus dem System eliminiert.

Bild 16 zeigt eine andere Möglichkeit (Gonzalves et al., 1993). Es wird hier in einer alternierenden Betriebsform gearbeitet, in der jeweils ein Filter abwechselnd anaerob betrieben wird. Die bisherigen Ergebnisse stellen die Grundlage für die weitere Entwicklung dar, und man ist jetzt für großtechnische Anwendung reif. Der Vorteil der Festbettsysteme ist die Möglichkeit anaerobe und anoxische/aerobe Zeiten genau zu steuern und so dem Bedarf der Biomasse anzupassen.

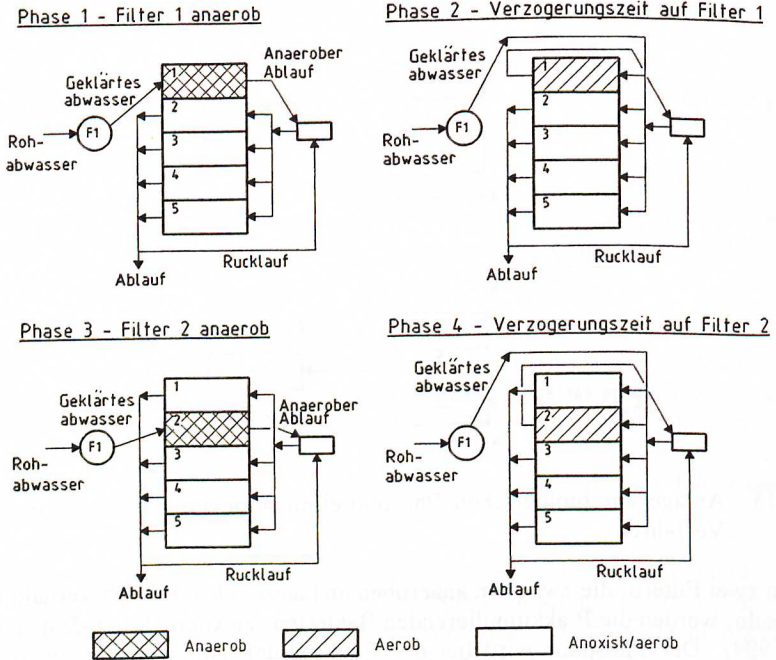


Bild 16 Anlage zur biologischen Phosphorelimination im anaerob/aeroben Verfahren.

ANLAGENKOSTEN

Die Kläranlage Nyborg wurde in einem Joint-Venture mit dem französischen Unternehmen OTV (CGE) ausgebaut. Die Anlagenkosten betragen rund DKK 50 Mio. (~ ÖS 90 Mio.). Dieser Betrag umfasst die schlüsselfertige BIOSTYR-Anlage einschl. neuer Betriebseinrichtungen, Straßenanlagen und Garagen.

Die Kläranlage Hundested wurde mit der Fa. Envi-tec (I. Krüger) als Generalunternehmer und OTV als Verfahrensberater ausgeführt. Die Anlagenkosten betragen rund DKK 30 Mio. (~ ÖS 55 Mio.) einschl. neuer Straßenanlagen.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Inbetriebsetzung von zwei Festbetтанlagen vom Typ BIOCARBONE und BIO-STYR, Filterung im Abwärtsstrom bzw. Aufstrom, hat wertvolle Erfahrung sowohl in bezug auf Biofiltration als auch Betriebsoptimierung gebracht.

Beide Anlagentypen leisten eine effiziente Stickstoffelimination. Aufgrund der für die Phosphor-Elimination erforderlichen Vorfällung ist infolge eines niedrigen C/N-Verhältnis im Zulauf zu den Anlagen die Methanolzugabe notwendig. Kleine Änderungen des Anlagenaufbaus und neue Steuerungsmethoden kombiniert mit On-Line-Messungen werden dieses Verhältnis verbessern. Wenn die geschilderten Verhältnisse beurteilt worden sind, stehen der Klärtechnik hochleistungsfähige Verfahren und kompakte Anlagen zur N- und P-Elimination zur Verfügung.

In der Phosphorelimination geht die Entwicklung in Richtung biologischer Verfahren ohne Anwendung von Chemikalien. Alternative Verfahren werden z.Z. untersucht, und wenn diese zwei Verfahren im großtechnischen Betrieb eingesetzt werden, werden u.a die Probleme mit niedrigem C/N-Verhältnis nach der chemischen Fällung vermieden.

LITERATURANGABEN

Boller M., Gujer W., and Tschui M. (1993). Parameters affecting nitrifying biofilm reactors. 2nd IAWQ Biofilm Conf. Paris, Sept. 1993, Wat. Sci. Tech., pp. 15-25.

Kerrn-Jespersen J.P., Henze M. and Strube R. (1994). Biological phosphorus release and uptake under anaerobic respectively anoxic conditions in a fixed-film reactor. Wat. Res. In press.

Rogalla F., Meunier, Penillard P., and Pedersen P. (1992 (a)). Aerated Biofilters: Ten Years old and full of future. Advanced techniques for wastewater treatment. Ghent October 8, 1992.

Rogalla F., Badard M., Hansen F., and Dansholm P. (1992 (b)). Upscaling of compact nitrogen removal process, 1992. Wat. Sci. Tech. Vol. 26, No. 5-6, pp. 1067-1076.

Roudon G., Rogalla F., Ravarini P., and Bourdon F. (1990). Follow-up of aerated filters with on line sensors. Adv. Wat. Pol. Ctrl. 10, pp. 89-96 (5th ICA Workshop, Kyoto) ed. R. Briggs, Oxford, Pergamon.

Sammut F., Rogalla F., Gonçalves R.F., Penillard P. (1992). Practical experiences with removing nitrogen and phosphorus on aerated biofilters. European Conference, Nutrient Removal from Wastewaters, England, September 2-4 1992.

Toettrup H., Rogalla F., Vidal A., and Harremoes P. (1993). The treatment trilogy of floating filters. From pilot to prototype to plant. 2nd IAWQ Biofilm Conf. Paris Sept. 1993, pp. 51-60.

Verfasser

Erik Bundgaard, Forschungsmanager
Forschungsdivision
I. Krüger Systems
Gladsaxevej 363
DK-2860 Søborg - Dänemark

Vibeke Reimer Andersen, Verfahreningenieur
Forschungsdivision
I. Krüger Systems
Gladsaxevej 363
DK-2860 Søborg - Dänemark

Jens Peter Kerrn-Jespersen, Verfahreningenieur
Forschungsdivision
I. Krüger Systems
Gladsaxevej 363
DK-2860 Søborg - Dänemark