

Trübwasserbewirtschaftung und -behandlung im Zusammenhang mit dem Stickstoffmanagement einer mehrstufigen Großkläranlage

C. Günner¹, I. Kleffner¹, E. Sickert²

¹ Hamburger Stadtentwässerung ² Blomkamp 223, D-22607 Hamburg

Kurzfassung: Der Klärwerksverbund Köhlbrandhöft/Dradenau wird wie auch andere Kläranlagen mit einer Faulschlammentwässerung in starkem Maße mit Stickstoff rückbelastet. Die Aufstockung der Ammonium-Zulaufkonzentration von im Mittel 35 % führt bei der Denitrifikation zu Schwierigkeiten, wenn bei betriebsbedingter annähernd konstanter Rückbelastung die Zufuhr ausreichender Kohlenstoffmengen, z.B. an Wochenenden, ausbleibt. Durch Zwischenspeichern von Zentrat und dessen gezielte Zugabe in die Belebungsanlage des Klärwerkes Dradenau konnte das Problem weitgehend gelöst werden. Unabhängig hiervon wird im Hinblick auf steigende Abwassermengen seit etwa einem Jahr Trübwasser in einer halbtechnischen biologischen Versuchsanlage separat behandelt. Die Nitrifikation des Zentrats erfolgt in einem Abstromfließbett unter Einsatz von reinem Sauerstoff. Die Ammoniumkonzentrationen werden bei 35°C von i.M. 1350 mg NH₄-N/l auf Werte unter 100 mg/l vermindert, und zwar bei Nitrifikationsleistungen von ca. 5 kg NH₄-N pro Tag und m³ Fließbettvolumen. Das ist etwa 35fach höher als in einer Belebungsanlage.

Key words: Trübwasser aus der Faulschlammentwässerung, Zwischenspeicherung und biologische Separatbehandlung

1 Abwasserbeseitigung in Hamburg

Von den ca. 1,7 Millionen Hamburgern sind heute über 97% ans Sietnetz und an zwei Großklärwerke angeschlossen (Bild 1). Im Klärwerksverbund Köhlbrandhöft/Dradenau werden fast 90 % des hamburgischen Abwassers entsprechend den derzeitigen Anforderungen behandelt, während dem über 30 Jahre alten und nur vollbiologisch arbeitenden Klärwerk Stellingner Moor etwa 11 % des Abwassers zufließen. Das Einzugsgebiet der letztgenannten Anlage wird in den nächsten

Jahren an den noch Reserven aufweisenden Klärwerksverbund angeschlossen. Diese Lösung ist wirtschaftlicher als ein eigenständiger Ausbau für Nitrifikation/Denitrifikation und führt schneller zu einer weiteren Gewässerentlastung /3/. Der Stellingener Klärschlamm wird schon seit zwei Jahrzehnten zum Klärwerk Köhlbrandhöft gefördert und dort mitbehandelt, d.h. ausgefault, mit Zentrifugen entwässert und auf 55% TS getrocknet /3/.

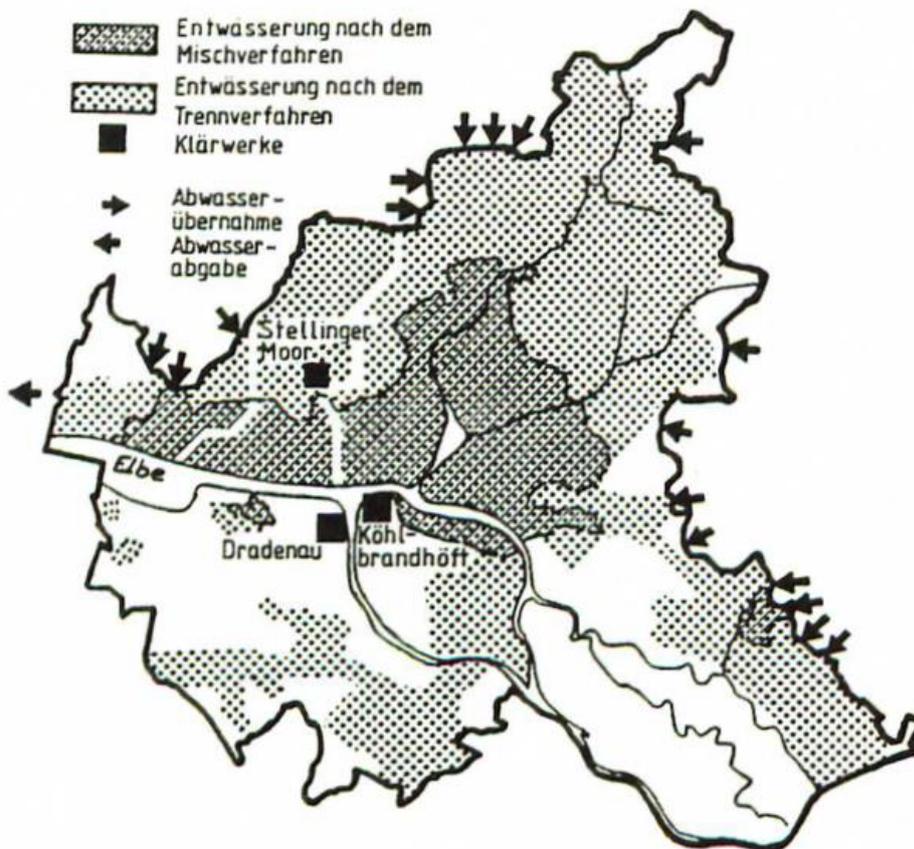


Bild 1: Einzugsgebiete und Abwasserbehandlungsanlagen in Hamburg

Der Klärwerksverbund (Bild 2) ist das Ergebnis eines über Jahrzehnte erfolgten schrittweisen Ausbaus. 1961 wurde das Klärwerk Köhlbrandhöft als Hauptklärwerk in Betrieb genommen. Finanzielle Gründe erlaubten seinerzeit nur einen 2/3-Ausbau. Die „Hamburg-Becken“, eine auf Prof. von der Emde zurückgehende Hochlastbiologie für teilbiologischen Betrieb, werden heute als Regenkläranlage genutzt. Die erste Erweiterung, das jetzige Klärwerk Köhlbrandhöft-Nord, wurde 1973 fertiggestellt. 1983 folgte das Klärwerk Köhlbrandhöft-Süd, das u.a. im Zusammenhang mit der Neuordnung des hamburgischen Entwässerungssystems notwendig geworden war /1/.

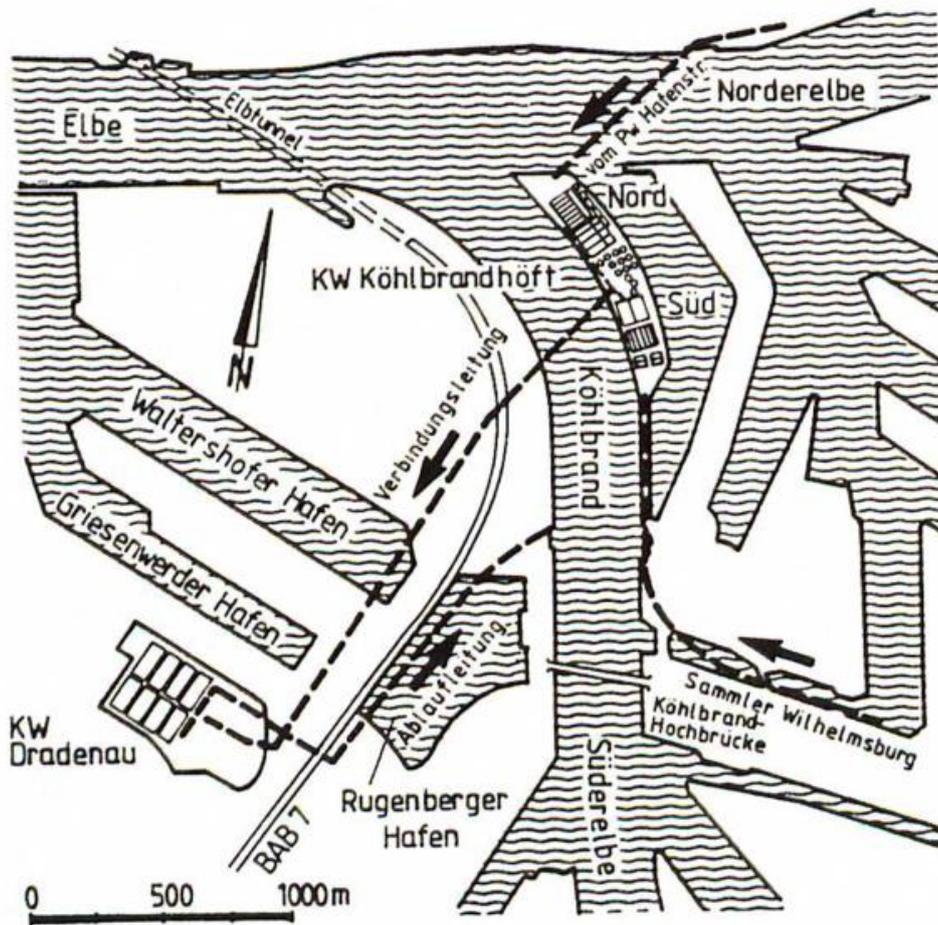


Bild 2: Klärwerksverbund Köhlbrandhöft/Dradenau

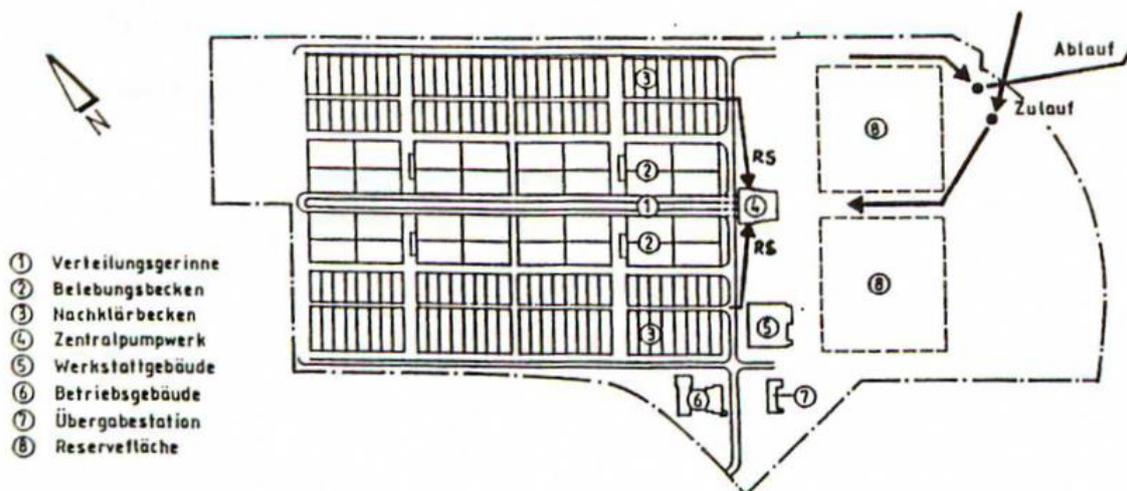


Bild 3: Klärwerk Dradenau, Lageplan

Jede Ausbaustufe steigerte zwar den Schmutzrückhalt in beachtlichem Maße, ein positiver Effekt in der Elbe war jedoch nicht auszumachen. Erst später wurden die gewaltige Vorbelastung aus dem Osten (DDR, CSSR) und die besonderen hydrologischen Gegebenheiten der in Hamburg beginnenden Tide-Elbe als Gründe hierfür erkannt. Die in der Elbe inner- und unterhalb von Hamburg ablaufenden intensiven Selbstreinigungsvorgänge mit sehr hoher Sauerstoffzehrung waren für die Wasserbehörde dann auch der Anlaß, bei der letzten Klärwerkserweiterung eine weitestgehende Nitrifikation zu fordern, und zwar lange bevor die Nitrifikation Eingang in den Abwasserverwaltungsvorschriften (AbwVwV) fand /1/. Dieser Forderung wurde mit dem Klärwerk Dradenau entsprochen. Dem Bau gingen umfangreiche Untersuchungen und mehrjährige Versuche durch die Universität Braunschweig (Prof. Kayser) voraus /1/.

Das Klärwerk Dradenau besteht im wesentlichen aus einer großen Schlammbelebungsanlage (Tabelle 1, Bild 3), die die beiden mechanisch/biologischen Anlagen auf Köhlbrandhöft ergänzt. Im Klärwerk Dradenau, der zweiten biologischen Stufe des Klärwerksverbundes Köhlbrandhöft/Dradenau, sollte in erster Linie nitrifiziert werden. Das ist vollen Umfanges gelungen, wie den Tabellen 2 und 3 zu entnehmen ist.

Tabelle 1: Klärwerksverbund Köhlbrandhöft /Dradenau Klärwerksdaten

	Klärwerk Köhlbrandhöft		Klärwerk
	- Nord	- Süd	Dradenau
Volumen in m ³			
- Vorklärbecken	11.400 ⁺	17.200 ⁺	-
- Regenkläranlage	25.000	-	-
- Belebungsbecken	12.000	37.000	124.800
- Verteilungsgerinne	-	-	18.600
- Nachklärbecken	25.000	31.300	164.800

⁺ Aus verfahrenstechnischen Gründen nicht voll genutzt.

Tabelle 2: Klärwerksverbund Köhlbrandhöft/Dradenau, Trockenwetterablaufwerte gem. ATV-Leistungsvergleich der Kläranlagen (Mittelwerte aus 24 h-Mischproben v. 1.05. bis 31.10.)

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Q _t	10 ³ m ³ /d	343	338	338	350	352	346	323
BSB ₅ (ATH)	mg O ₂ /l	4	5	6	4	5	6	5
CSB	mg O ₂ /l	47	48	50	40	46	46	49
NH ₄	mg N/l	0,7	0,7	1,1	0,6	0,7	0,9	0,6
Nox	mg N/l	11,2	13,3	14,3	10,2	12,4	10,0	10,2
P _{ges}	mg N/l	1,0	1,5	0,9	0,4	0,6	0,6	0,5

Tabelle 3: Klärwerksverbund Köhlbrandhöft/Dradenau, Betriebsdaten 1996 und Anforderungen (Behandelte Abwassermenge: 131,43 Mio. m³)

Konzentrationen		Betriebswerte 1996		Anforderungen an Ablauf gemäß		
		Zulauf ⁺	Ablauf ⁺	EG-RiLi ⁺	AbwV wV ⁺⁺	WRE ⁺⁺
BSB ₅	mg/l	358	8	25	15	10
CSB	mg/l	951	56	125	75	75
NH ₄ -N	mg/l	37 (50*)	1,2		10**	2/8***
N _{anorg}	mg/l	37	14,3		18**	18**
N _{ges}	mg/l	75 (88*)	16,4	18 (70 %)		
P _{ges}	mg/l	10	0,6	1,7 (80 %)	1	1

⁺ Jahresmittelwerte aus 24 h-Mischproben

⁺⁺ 2 h-Mischprobe, 4 von 5-Regelung

*

einschl. Zentrat aus Schlammwässerung

** Mai bis Okt. bzw. > 12° C Abwassertemperatur

*** Mai bis Okt./Nov. bis April

Ein Vergleich der Tabellen 2 und 3 spiegelt u. a. den negativen Einfluß der innerstädtischen Mischkanalisation wider. Wesentlich erhöhte Zuflußmengen bei Regen beeinträchtigen das gute Reinigungsergebnis des Klärwerksverbundes.

Während der mittlere Trockenwetterzufluß knapp $5 \text{ m}^3/\text{s}$ (ca. $350.000 \text{ m}^3/\text{Tag}$) beträgt, können bei Regen bis zu $17 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1,2 \text{ Mio m}^3/\text{Tag}$) in die Anlagen gelangen. Es hat sich gezeigt, daß das Klärwerk Dradenau nur bis zu $12 \text{ m}^3/\text{s}$, d. h. die 2,5fache Trockenwettermenge, ohne drastischen Leistungsabfall verkraften kann. Die auf Köhlbrandhöft darüber hinaus ankommenden Abwassermengen werden nach Behandlung in den dortigen mechanischen Stufen direkt in die Elbe abgeleitet.

2 Stickstoffentfernung und Stickstoffproblematik

Für das Klärwerk Dradenau war eine Denitrifikation nicht vorzusehen; weder gesetzliche Vorgaben noch die Gewässergütesituation in der Elbe erforderten eine Stickstoffentfernung. Trotzdem werden seit der Inbetriebnahme des Klärwerkes im Jahre 1988 die offen gehaltenen Möglichkeiten einer Denitrifikation aus betrieblichen Gründen, nämlich wegen der Energieeinsparung und des Pufferwiedergewinns, genutzt. Denitrifiziert wird im Verteilungsgerinne des Klärwerkes Dradenau. Dieses Gerinne (Bild 3), das hauptsächlich aus hydraulischen Gründen angeordnet wurde, nimmt den Zufluß von Köhlbrandhöft sowie den Rücklaufschlamm der Belebungsanlage auf. Im anoxischen Milieu wird das Gemisch mit Rührern in Bewegung gehalten.

Bei einem Verhältnis des Denitrifikationsvolumens zum Gesamtbelebungsbeckenvolumen V_D/V_{BB} von 0,13 und einem Rücklaufschlammverhältnis RV von 145 % hat sich im Jahresmittel eine Denitrifikationsrate von knapp 60 % eingestellt. Um dieses Ergebnis sicher zu erzielen, war es notwendig, das Kohlenstoffangebot zu erhöhen. Dies geschieht durch direkte Zuführung von Vorklärbeckenablauf (Bild 4). Der BSB_5 wird auf diese Weise in der Regel von ca. 50 auf $100 \text{ mg O}_2/\text{l}$ angehoben. Das hat sich als ausreichend erwiesen.

Darüber hinaus ist es gelungen, die Schlammbelebungsanlage des Klärwerkes Köhlbrandhöft-Süd in die Stickstoffentfernung einzubeziehen. Seit Aufnahme des Klärwerksbetriebes auf der Dradenau wird ein beachtlicher Teil des Stickstoffs auf Köhlbrandhöft entfernt, und zwar durch Einleitung des Überschussschlammes vom Klärwerk Dradenau in den Schlammkreislauf der Belebungsanlage des Klärwerkes Köhlbrandhöft-Süd (Bild 4). Hier wirken die Nitrifikanten noch solange, bis sie mit dem Überschussschlamm dieser Anlage aus dem System

abgezogen werden. Wegen des geringen Schlammalters von etwa zwei Tagen findet keine nennenswerte Nitrifikanten-Vermehrung mehr statt. Das bei der Nitrifikation gebildete Nitrat wird in der biologischen Stufe des Klärwerkes Köhlbrandhöft-Süd - quasi simultan - weitgehend denitrifiziert, allerdings in einer großen Schwankungsbreite. Bei günstigen Betriebsbedingungen werden im Klärwerk Köhlbrandhöft-Süd bis zu 20 mg/l Gesamtstickstoff eliminiert /2/.

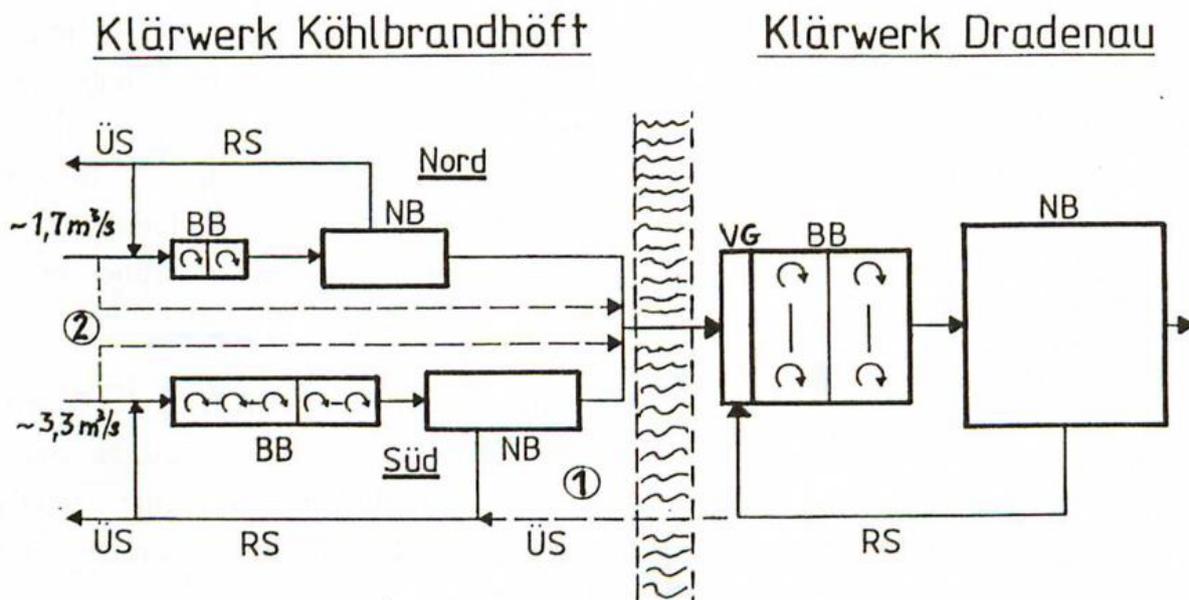


Bild 4: Klärwerksverbund Köhlbrandhöft/Dradenau, Fließschema
 BB Belebungsbecken, NB Nachklärbecken, RS Rücklaufschlamm
 ÜS Überschußschlamm, VG Verteilungsgerinne

- 1 - ÜS-Einleitung vom Klärwerk Dradenau in den Schlammkreislauf des Klärwerkes Köhlbrandhöft-Süd
- 2 - Bypass-Möglichkeiten zur Erhöhung des Kohlenstoffangebotes im Klärwerk Dradenau

Im gesamten Klärwerksverbund beträgt die Abnahme beim Gesamtstickstoff, d.h. den organisch gebundenen Stickstoff eingeschlossen, im Jahresmittel über 70 % (s. Tabelle 3). Damit kann die noch umzusetzende EG-Richtlinie 91/271 EWG über die Behandlung von kommunalem Abwasser (EG-RiLi) im Klärwerksverbund Köhlbrandhöft/Dradenau als erfüllt angesehen werden. Eine über 80%ige Entfernung des Gesamtphosphors wird im Jahresmittel durch eine zweistufige Simultanfällung, und zwar in den Anlagen Köhlbrandhöft-Süd und Dradenau jedenfalls sicher erreicht.

Das stete Einhalten von Gesamtstickstoffwerten, die den Anforderungen der Wasserrechtlichen Erlaubnis (WRE) und damit der Rahmen-Abwasser-Verwaltungsvorschrift (2 h-Mischprobe, 4 von 5-Regelung) entsprechen, wird dadurch erschwert, daß die Stickstofffrachten aus der Faulschlammentwässerung durch den gleichmäßigen Betrieb einer Siebentage-woche in fast gleicher Größenordnung anfallen, die kohlenstoffhaltige Abwasserfracht aber ziemlichen Schwankungen unterworfen ist. Mit großer Regelmäßigkeit läuft daher ohne Gegenmaßnahmen am Sonntag, Montag und manchmal auch noch am Dienstag die Denitrifikation aus Mangel an Kohlenstoff „aus dem Ruder“. In einem großtechnischen Versuch wurde der Anlage Melasse als Kohlenstoffquelle zugeführt. Das Ergebnis war genauso unbefriedigend wie schon früher bei der versuchsweisen Zugabe von Methanol /3/.

Seit Mitte Oktober 1996 wird an den Wochenenden der größte Teil des Zentrats zwischengespeichert und während der Woche in der Belebungsanlage auf der Dradenau abgearbeitet. Langfristig kommt möglicherweise eine separate Zentratsbehandlung zu Zuge. Die Ergebnisse halbtechnischer Versuche geben Anlass zu Optimismus.

3 Trübwasser-Zwischenspeicherung

Mit dem Bau eines Speicherbehälters für das ammoniumhaltige Trübwasser aus der Klärschlammentwässerungs- und Trocknungsanlage (KETA) sollten die betrieblichen Möglichkeiten einer gezielten Stickstoffentfernung verbessert und erweitert werden. Ausgangspunkte sind dabei die in der Wasserrechtlichen Erlaubnis festgelegten Überwachungswerte von:

$$N_{\text{anorg}}: < 18 \text{ mg/l (1.5 - 31.10) bzw. } < 30^* \text{ mg/l (1.11 - 30.4)}$$

$$\text{NH}_4\text{-N}: < 2 \text{ mg/l (1.5 - 31.10) bzw. } < 8 \text{ mg/l (1.11 - 30.4)}$$

* erklärter Wert für Abwag

Besondere Bedeutung kommt der Tatsache zu, daß diese Grenzwerte nicht nur wie bei der Eigenüberwachung praktiziert in den 24 h-Mischproben, sondern vor allem auch entsprechend den Vorgaben der amtlichen Überwachung in den 2 h-Mischproben einzuhalten sind.

Bei der Verwirklichung dieser Zielvorgaben hatten sich anhand langjähriger Betriebserfahrung mehrere häufig wiederkehrende, kritische Belastungszustände herausgestellt. Dazu gehörten im wesentlichen:

- Mangel an Kohlenstoffquellen für die Denitrifikation an den Wochenenden. Dieses konnte durch verstärkte Zugabe nur mechanisch vorgereinigten Abwassers zwar erheblich gemildert werden. Eine zufriedenstellende Lösung läßt sich jedoch nur durch eine Bewirtschaftung der Trübwassermengen und deren teilweise Verlagerung von den Wochenenden auf die kohlenstoffreicheren Werkstage erreichen.
- Belastungsstöße bei Beginn von Regenwetterereignissen. Hierbei wurde die in der Verbindungsleitung zwischen den Klärwerken Köhlbrandhöft und Dradenau gespeicherte Ammoniumfracht (rd. 1.200 kg N) in sehr kurzer Zeit der Nitrifikationsanlage zugeführt. Wegen Überlastung der Kapazitäten ergaben sich daraus gelegentlich Grenzüberschreitungen sowohl bei N_{anorg} als auch beim Ammonium.

Darüber hinaus mußten erhebliche Einschränkungen bei der Fahrweise der KETA an den Wochenenden hingenommen werden mit Rücksicht auf das Loch bei den Kohlenstoffverbindungen.

Als Lösung für die zuvor alle genannten Belastungszustände wurde ein Speicherbehälter mit 4.000 m³ Fassungsvermögen errichtet. Sein Standort ist auf dem Klärwerk Dradenau, in dessen Zulauf das Trübwasser nun auf kurzem Weg eingespeist werden kann. Die Bemessung des Speichervolumens erfolgte nach einer Wahrscheinlichkeitsbetrachtung, in der der notwendige Wochenausgleich über folgende Werte ermittelt wurde:

Abwasser	Q_t : 400.000 m ³ /d	
Trübwasser	Q 150 m ³ /h	als kontinuierlicher Abschlag aus KETA
Trübwasser	C 1.350 mg NH ₄ -N/l	
Belastungsfaktor	CSB/ NH ₄ -N = 8,3	hierbei ist Denitrifikation mit einer Sicherheit von 85 % erreichbar.

Die regelungstechnische Ausrüstung des Speichers besteht aus Meßgeräten für die Mengen des gesamten zufließenden und des ausgespeicherten Trübwassers sowie für den Behälterfüllstand. Auf eine kontinuierliche NH₄-Bestimmung ist verzichtet worden. Langjährige Messungen zeigen eine relativ konstante

Ammonium-Konzentration. An Werktagen, an denen eine ausreichende Denitrifikationskapazität des Klärwerkes Dradenau gegeben ist, kann der Speicherbehälter umgangen werden.

Die Bewirtschaftung des Trübwassers erfolgt über Fernbedienung durch das Schichtpersonal des Klärwerkes Dradenau nach Meßwerten von Analyseautomaten für Ammonium und Nitrat, mit denen sowohl der Zulauf, die Belebungsbecken und der Ablauf kontinuierlich überwacht werden. Natürlich spielt dabei die Beobachtung der Wetterverhältnisse und der Zulaufmengen eine wesentliche Rolle, so daß eine automatische Regelung nicht infrage kommt.

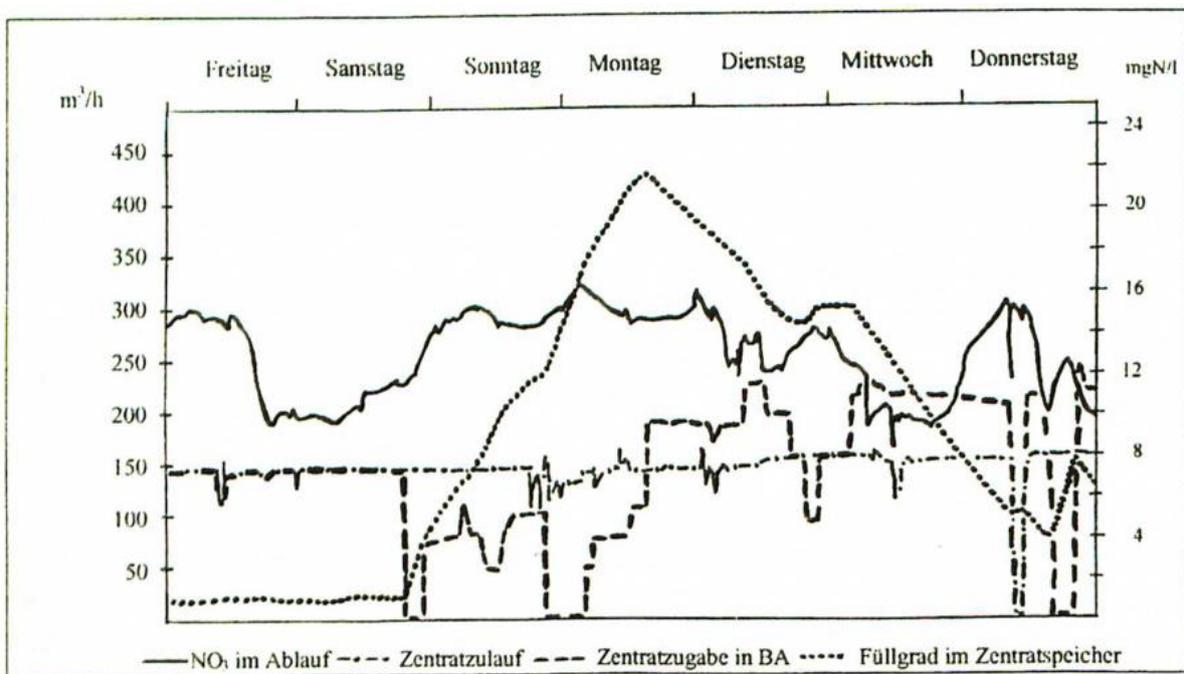


Bild 5: Zentratsbewirtschaftung am Wochenende und die Ablaufqualität ($\text{NO}_3\text{-N}$)

Der Speicherbehälter ist seit Juni 1996 in Betrieb. Die bisher vorliegenden Erfahrungen zeigen, daß die Trübwasserbewirtschaftung die erhofften Erfolge bringt. Als anschauliches Beispiel ist in Bild 5 der Verlauf der Ein- und Ausspeicherung sowie seine vergleichmäßigende Wirkung auf die Ablaufqualität NO_3 während einer Woche dargestellt. Einen Vergleich der Ablaufqualitäten mit (1996) und ohne (1995) Bewirtschaftung anhand der Summenhäufigkeit für N_{anorg} zeigt Bild 6. Daraus ergibt sich zwar nur eine geringfügige statistische Verbesserung für die Werte bis 18 $\text{mg } N_{\text{anorg}}/\text{l}$. Eine

Begründung hierfür findet sich sowohl in der Tatsache, daß wegen der trockenen Witterungsverhältnisse die Zulaufkonzentrationen 1996 um 10 % über denen von 1995 gelegen haben, als auch darin, daß typische Einfahrtsschwierigkeiten erst mit wachsender Übung des Schichtpersonals behoben werden konnten.

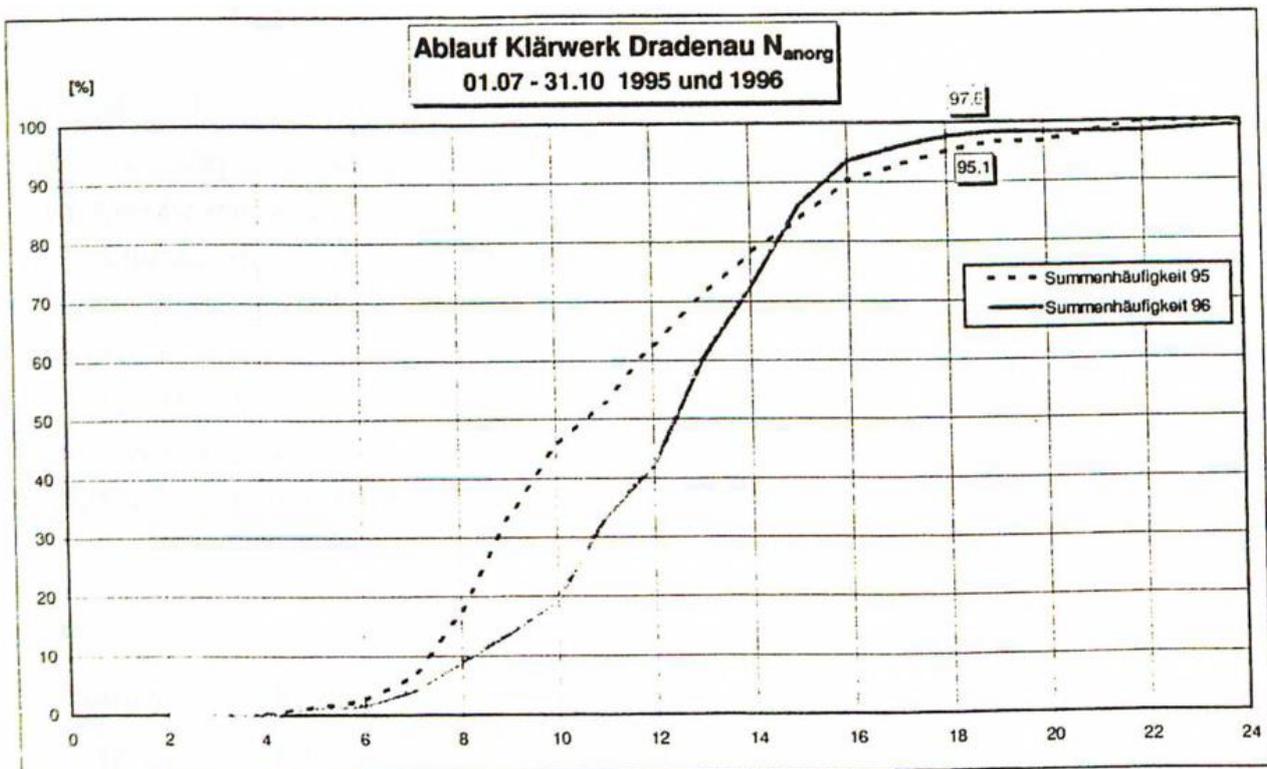


Bild 6: Einfluß der Zentraltbewirtschaftung auf die Ablaufqualität (N_{anorg}),
Vergleich 1995 - 1996

Heute bewirkt diese Bewirtschaftungsmöglichkeit eine wesentliche Minderung des gesamten betrieblichen Aufwandes, mit dem eine Verletzung der Überwachungswerte sicher vorgebeugt werden kann.

Darüber hinaus hat die Speicherkapazität auch zu einem wirtschaftlichen Erfolg beigetragen. So konnte durch gezielte Zufuhr von Trübwasser in die Belebungsanlage der Bezug von elektrischer Arbeit zum Teil in die preiswerteren Nachtstunden verlagert und damit Kosten von rd. 30.000,- DM/a gespart werden.

Die Kosten für den Bau des Behälters, der Leitungsverbindungen, des Einspeisepumpwerks und der MSR-Technik haben rd. 2,3 Mio DM betragen.

4 Versuche zur biologischen Behandlung von Zentrat

Das statistisch nicht sichere Einhalten der geforderten $18 \text{ mg N}_{\text{anorg}}/\text{l}$ in der 2 h-Mischprobe gem. WRE und AbwVwV, aber auch der bevorstehende Anschluß des Einzugsgebietes vom Klärwerk Stelling Moor an den Klärwerksverbund waren Anlaß, die Möglichkeiten einer separaten Trübwasserbehandlung zu untersuchen. Tabelle 4 zeigt die derzeitige Belastung der Hamburger Klärwerke mit den Frachten aus dem Abwasserzufluß und aus der Faulschlammwässerung und -trocknung (KETA). Danach wird die Zulauffracht des Klärwerksverbundes durch die Schlammbehandlung im Jahresmittel beim Ammonium um etwa 35% aufgestockt. Die prozentuale Aufstockung an einzelnen Tagen liegt erheblich höher.

Tabelle 4: Mittlere Belastung der Hamburger Klärwerke 1996

	Zulauf		Aus	Anteil	Zulauf
	Kö-Nord	Kö-Süd	KETA	KETA	St. Moor
BSB ₅ kg/d	35.000	93.450	1.700	1,3 %	13.500
N _{ges} kg/d	7.300	19.770	5.000	19 %	2.630
NH ₄ -N kg/d	3.230	9.980	5.000	38 %	1.870
P _{ges} kg/d	1.010	2.540	100	3 %	380

Als technische Möglichkeiten zur separaten Behandlung des Trübwassers, wobei das Zentrat den weitaus größten Teil dieser Betriebswässer ausmacht, stehen neben den biologischen die folgenden Verfahren zur Auswahl:

- Gasaustausch (Ammoniakstrippung)
- Chemische Fällung (Magnesium-Ammonium-Phosphat-Fällung)
- Ionenaustausch
- Einsatz von Membranen (Umkehrosmose)
- Knickpunktchlorung.

Nach diversen Voruntersuchungen /4, 5, 6/ hat die Hamburger Stadtentwässerung ihr Augenmerk nur noch auf die beiden Verfahren 'biologische Nitrifikation/Denitrifikation' und 'Ammoniumstrippung mit Luft oder Dampf' gelenkt, wobei schon bald die wirtschaftlichste sowie die betrieblich und logistisch einfachste Lösung in der biologischen Behandlung des Zentrats gesehen wurde.

Als hamburgische Problemlösung ist daher der zwar beschwerliche, aber erfolgversprechendere Weg der biologischen Zentratbehandlung eingeschlagen worden. Untersuchungen der TU Hamburg-Harburg /5/ und eigene Großversuche des Klärwerksbetriebes ergaben, daß eine separate biologische Behandlung von Zentrat wegen der sehr hohen Ammoniumkonzentrationen in einer konventionellen Belebungsanlage nicht durchführbar ist. Selbsthemmungserscheinungen oder Flockenzerfall setzten allen Versuchen ein Ende.

Es wurde daher das Fließbettverfahren (HypOx) der Firma Dr. Bräutigam Abwassertechnik gewählt. Die Überprüfung der sehr positiv verlaufenden Laborversuche auf die großtechnische Anwendung erfolgt in einer halbtechnischen Anlage, in der ein Hundertstel der tatsächlich anfallenden Zentratmenge (1,5 m³/h) verarbeitet wird. Aufgrund des bundesweiten Interesses an der Lösung der Trübwasserproblematik wird das Vorhaben vom BMBF gefördert. In Bild 7 ist der Versuchsaufbau im Prinzip dargestellt.

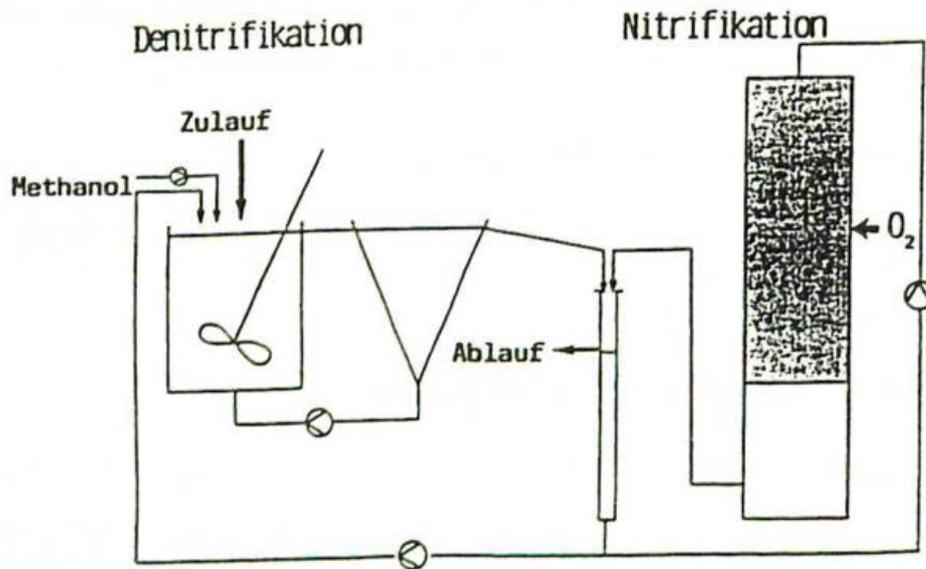


Bild 7: Prinzipskizze der Versuchsanlage zur biologischen Behandlung von Zentrat nach dem HypOx-Verfahren

4.1 Nitrifikation

Die Nitrifikation erfolgt im Abstromfließbett. Bei der Abstromtechnik wird im Gegensatz zur Aufstromtechnik, die mit spezifisch schweren Trägermaterialien, z.B. Sand, arbeitet, spezifisch leichtes Material verwendet. Das im Fließbettreaktor eingesetzte Polysterol mit einem Schüttgewicht von ca. 30 kg/m^3 und einer Körnung zwischen 1 mm und 3 mm hat eine spezifische Oberfläche von ca. $2000 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Die Fluidisierung im Reaktor geschieht im senkrecht nach unten gerichteten Wasserstrom /7/. Das Verfahren benötigt keinerlei Vorbehandlung des Zentrats. Der Nitrifikationsreaktor hat sich als völlig verstopfungssicher erwiesen /9/.

Bei den nitrifizierenden Mikroorganismen handelt es sich um überwiegend sessile Arten. Die systemgebundene Biomasse läßt sich somit über die Oberfläche vergrößern.

Um hohe Umsatzraten erzielen zu können, muß ein schneller Gasaustausch sichergestellt werden. Eine hohe Gasaustauschrate auf kleinem Raum erfordert ein Wirbelbett mit Einsatz von reinem Sauerstoff.

Bereits nach kurzer Einfahrzeit kommt in der Pilotanlage die Oxidation des Nitrits zum Nitrat praktisch vollständig zum Erliegen. Die Ursache hierfür wird in der Produktion von Hydroxylamin, dem Zwischenprodukt bei der Oxidation von Ammonium, gesehen. Es hemmt die Nitritoxidation. Die Oxidation nur bis zum Nitrit reduziert sowohl den Aufwand für die Belüftung auf etwa $\frac{3}{4}$ als auch den Kohlenstoffbedarf für die Denitrifikation auf etwa $\frac{2}{3}$. Es hemmt die Nitritoxidation. Bei 90%iger Nitrifikation des zulaufenden Ammoniums und vorgeschalteter Denitrifikation braucht im Regelfall keine Aufstockung der Säurekapazität durch Pufferchemikalien zu erfolgen.

In den Nitrifikationsreaktoren werden zur Zeit Nitrifikationsleistungen von über 5 kg $\text{NH}_4\text{-N/Tag}$ und m^3 Fließbettvolumen (expandiert) erzielt. Im Vergleich zum Klärwerk Dradenau mit im Mittel 0,15 kg $\text{NH}_4\text{-N}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ ergibt sich damit eine über 33fach höhere Leistung in der Kolonne.

4.2 Denitrifikation

Die Denitrifikation erfolgt in einer konventionellen, mit rd. 3 kgTS/ m^3 betriebenen Kaskaden-Belebungsanlage (max. 6,3 m^3) und kann vorgeschaltet oder nachgeschaltet betrieben werden. Zur Elimination der Stickstoffverbindungen aus dem Trübwasser ist in der Regel auch bei vorgeschalteter Denitrifikation die Dosierung einer Kohlenstoffquelle notwendig, da das Zentrat selbst nur sehr geringe Anteile an biologisch verfügbarem BSB_5 enthält. Es wurden Methanol, Melasse und Hydrolysat aus in einer separaten Anlage versäuertem Primärschlamm (PS) eingesetzt. Als spezifischer C-Bedarf je kg eliminiertem Stickstoff wurden ermittelt beim Methanol: 1,5 kg/kg, bei Melasse: 5 kg/kg und beim PS-Hydrolysat: 0,2 bis 0,3 m^3/kg .

Die Denitrifikationsleistung der Pilotanlage liegt über 2 kg $\text{NO}_2\text{-N}/(\text{kg TS}\cdot\text{d})$. Sie ist damit um den Faktor 12,5 höher als im Klärwerk Dradenau, wo sich 1994 die Leistung zu i.M. 0,16 kg $\text{NO}_3\text{-N}/(\text{kg TS}\cdot\text{d})$ ergeben hatte.

4.3 Mikrobiologie

Um näheren Aufschluß z.B. über die Zusammensetzung der nitrifizierenden Population, die heterotrophe Begleitflora und charakteristische Einflußparameter auf die Nitrifikationsleistung der Pilotanlage zu erhalten, wurde die Universität Hamburg, Abteilung Mikrobiologie des Instituts für allgemeine Botanik, mit der

versuchsbegleitenden Beprobung und Analyse des Biofilms beauftragt. Ziel ist und war es, durch Einstellung optimaler Betriebsbedingungen eine Steigerung und Sicherung der Nitrifikationsleistung zu erreichen. Aufbau und Struktur des Biofilms, die Hemmung der Nitritoxidation, das Nitrifikationspotential sowie der Einfluß der im Prozeß ggf. stark schwankenden Parameter pH-Wert und Temperatur waren dabei von besonderem Interesse.

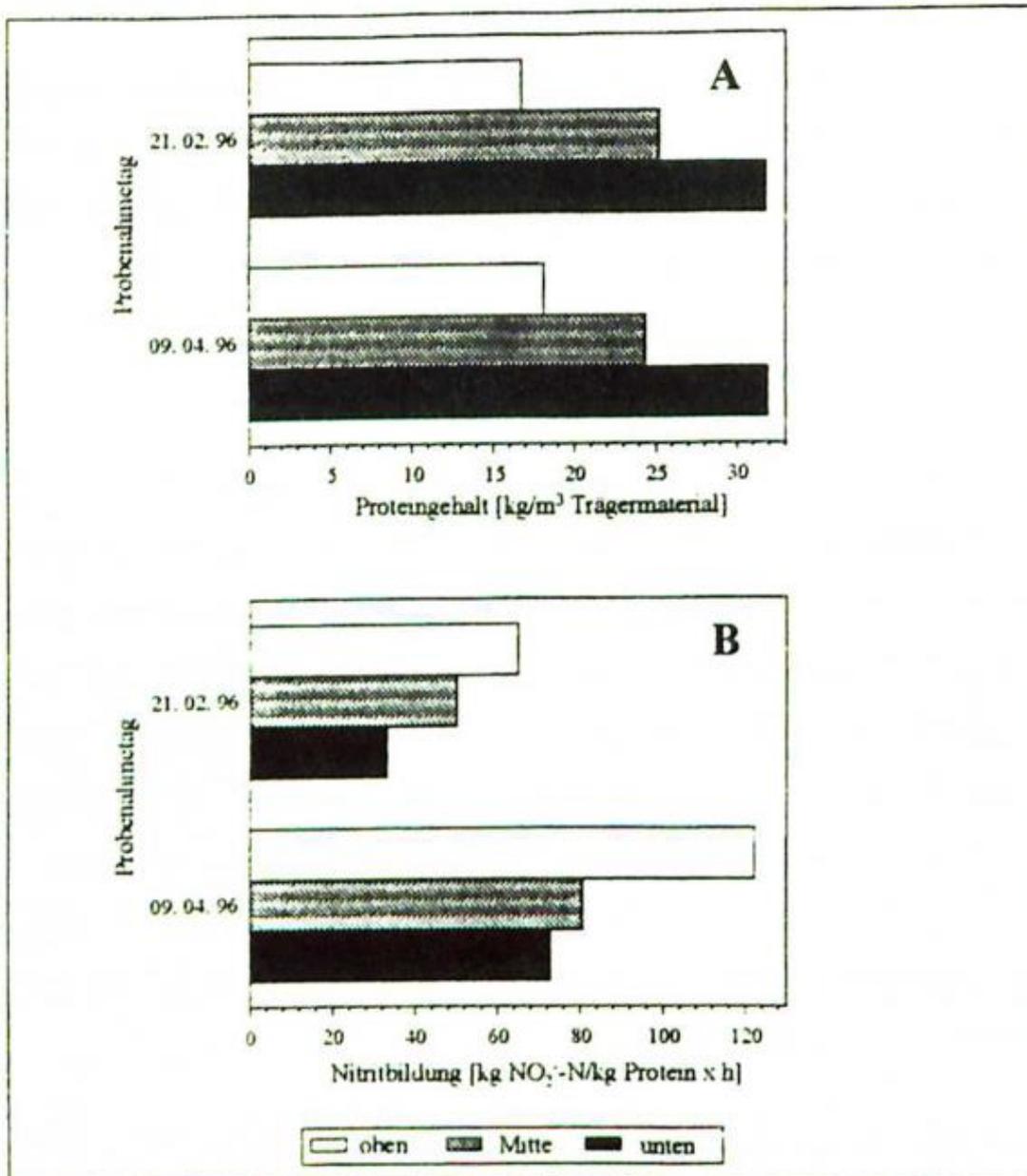


Bild 8: Verteilung von Biomasse (A) und Nitrifikationsaktivität (B) im Reaktor

Untersuchungen der Biofilmstruktur zeigten, daß die erste Anheftung der Mikroorganismen in strömungsarmen Vertiefungen der Trägermaterialoberfläche begann. Nach dem Einfahren der Anlage wurde in der stabilen Betriebsphase ein Biofilm von 0,2 bis 0,4 mm Dicke ausgebildet. Der limitierende Faktor für den Stoffwechsel der Zellen im Biofilm ist die Versorgung mit Sauerstoff und Nährstoffen. Aerobe Umsetzungen werden vor allem in den äußeren, nur wenige μm starken Schichten des Biofilms katalysiert (Bild 8). Durch zunehmende Schichtdicke kann die Leistung des Biofilms nicht erhöht werden.

In Laborversuchen wurde u. a. mit Material aus den Nitrifikationsreaktoren der Pilotanlage die maximale Nitrifikationsleistung ermittelt. Dabei konnten erhebliche Leistungsreserven des Festbettes nachgewiesen werden, die trotz Ablösung von Biomasse während der Rückspülungen eine nahezu gleichbleibende Nitrifikationsleistung der Pilotanlage und eine Kompensation des Ausfalls von Nitrifikationsleistung nach kleineren Störfällen ermöglichten.

Außerdem wurde die Abhängigkeit der Nitritbildung vom herrschenden pH-Wert untersucht. Es ergab sich ein deutliches Optimum im Bereich zwischen pH 7 und pH 8. Bei pH 6,5, wie er in der Versuchsanlage häufiger auftritt, reduzierte sich die Nitrifikationsleistung um bis zu 50 %. Eine Alkalisierung des Materials im Laboransatz schädigte die Zellen im Gegensatz zu einem unterproportionalen pH-Wert dauerhaft /8/. Nach 22stündiger Inkubation bei pH 9 waren etwa ein Drittel der Zellen geschädigt, während bei pH 5 keinerlei Schädigung nachweisbar war.

Weitere Batchversuche im Labor erbrachten, daß das Temperaturoptimum der Nitrifikanten in der Versuchsanlage zwischen 25 und 30°C liegt und somit in einem typischen Bereich für Ammoniumoxidierer im kommunalen Abwasser. Eine Adaptation an die in der Pilotanlage ständig herrschenden Temperaturen oberhalb 35°C konnte im Labor nicht nachgewiesen werden. Im Gegenteil, im Labor ging die Nitrifikationsleistung bei 35°C innerhalb von 72 Stunden auf die Hälfte bis ein Viertel zurück, wobei etwa die Hälfte der Zellen dauerhaft geschädigt war. Der Frage, warum die kontinuierlich beschickte Pilotanlage im Gegensatz dazu bei 35°C und höher nitrifizieren kann, wird z.Z. nachgegangen. In der Pilotanlage brach die Nitrifikation bislang erst nach längerer Inkubationszeit bei 40°C zusammen.

5 Resumee

Nach dem derzeitigen Stand der Untersuchungen ist die separate biologische Zentratbehandlung ein geeignetes Verfahren, um die Belastung des Klärwerksverbundes derart zu senken, daß Nitrifikationsvolumen zugunsten von Denitrifikationsvolumen aufgegeben werden kann. Dadurch können selbst nach dem zusätzlichen Anschluß des Klärwerk Stellingener Moor-Einzugsgebietes mit etwa 250.000 EW an den Klärwerksverbund Köhlbrandhöft/Dradenau mit dann gesamt 2,1 Mio EW die Anforderungen an den Ablauf des Klärwerkes Dradenau gem. WRE, AbwVwV und EG-RiLi sicher eingehalten werden.

Es ist dabei möglich, die Stickstofffracht aus der Rückbelastung unter Einsatz von versäuertem Primärschlamm für die Denitrifikation biologisch zu entfernen. Möglich ist auch, die Oxidation aus der Rückbelastung nur bis zum Nitrit vorzunehmen, die Elimination jedoch im Hauptstrom, d.h. in einem anoxisch gehaltenen Teil der ersten biologischen Stufe, d.h. auf Köhlbrandhöft, durchzuführen.

Die Kosten einer HypOx-Anlage zur Nitritation von täglich rd. 4,5 t Ammonium aus Zentrat und Brüdenwasser des Klärwerkes Köhlbrandhöft werden bei einer Investition von ca. 15 Mio. DM auf weniger als 3 DM/kg N_{oxidiert} geschätzt.

6 Literatur

- /1/ Sickert, E., Planungskonzept für den Verbund der Klärwerke Köhlbrandhöft und Dradenau. Abwassertechnik, awt 5/1987
- /2/ Sickert, E., Hamburgs Abwasserbeseitigung nach der Inbetriebnahme des Klärwerkes Dradenau, Nährstoffentfernung in einem Großklärwerk mit zweistufiger Biologie. Abwassertechnik, awt 5/1991
- /3/ Sickert, E., Hamburgs Klärwerke, Betriebserfahrungen. Abwassertechnik, awt 5/1994
- /4/ Sekoulov und Partner Ingenieursozietät
Vorstudie - Auswahl technisch und wirtschaftlich geeigneter Konzepte für eine separate Trübwasserentfernung auf dem Gelände des Klärwerkes Köhlbrandhöft.
Hamburg 1988

- /5/ Stübner, E., Sekoulov, I., TUHH
Ergebnisbericht - Voruntersuchungen zur separaten Trübwasserbehandlung.
Hamburg 1990
- /6/ Tippmann, R.; Sulzer Anlagen und Gebäudetechnik
Laborversuche zur Ermittlung der Effektivität und Wirtschaftlichkeit von
Vorbehandlungsanlagen für Zentrat aus der Faulschlammentwässerung.
Butzbach 1991
- /7/ Bräutigam, H.-J., Bräutigam Abwassertechnik
Versuchergebnisse der Pilotanlage zur biologischen N-Elimination aus Trübwasser
der Faulschlammentwässerung in Hamburg. Seminar in Hamburg-Harburg,
8. November 1996
- /8/ Günner, Chr.
Halbtechnische Versuche zur biologischen Prozeßwasserbehandlung auf der
Kläranlage Köhlbrandhöft, Hamburg.
Haus der Technik, Essen, 3. März 1997
- /9/ Rüter, S.
Mikrobiologische Begleituntersuchungen/ Analyse des Biofilms der
Nitrifikationsstufe.
Seminar in Hamburg-Harburg, 8. November 1996

Dipl.-Ing. Christian Günner

Hamburger Stadtentwässerung,
Banksstr. 4 - 6
D-20097 Hamburg,
Tel.: 040/3498-5410
Fax: 040/3498-5402

Dipl.-Ing. Ingo Kleffner

Hamburger Stadtentwässerung,
Banksstr. 4 - 6
D-20097 Hamburg,
Tel.: 040/3498-5430
Fax: 040/3498-5402

Prof. Dipl.-Ing. Eberhard Sickert

Bloomkamp 223
D-22607 Hamburg
Tel. und Fax: 040/837145

Unsere Unternehmenskultur am Beispiel Abwasseraufbereitung

Austrian Energy ist internationaler Systemanbieter für thermische Energierzeugung, Umwelttechnik und Anlagenservice. Das spezifische Fachwissen aus diesen drei Bereichen ergibt ein komplettes Ganzes, das unseren Kunden hochwertige Einzelkomponenten und Gesamtlösungen gewährleistet.

Im Bereich Wassertechnik verfügt Austrian Energy über eine große Palette verschiedenster chemischer, physikalischer und biologischer Verfahren zur Abwasseraufbereitung. Durch unsere umfangreiche Erfahrung auf dem Gebiet der Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung sowie unsere aktive Forschungstätigkeit bieten wir unseren Kunden maßgeschneiderte Lösungen, die eine sichere Einhaltung der ständig

strenger werdenden Grenzwerte gewährleisten und sich durch hohe technische Zuverlässigkeit auszeichnen.

Schwerpunkte auf dem Gebiet der Abwasseraufbereitung:

- Kommunale Abwasseraufbereitung
 - Hybrid-Verfahren
 - AB-Verfahren
- Industrielle Abwasseraufbereitung
 - EKJ-Verfahren
 - BIOZON-Verfahren
 - Integrierte Wasser-/Abwasseraufbereitungssysteme mit Wasserrückgewinnung
- Deponiesickerwasseraufbereitung
 - Reinigung von Rauchgaswaschwässern
 - EDBM-Verfahren

Das Unternehmen der **VA TECH**



**AUSTRIAN ENERGY
& ENVIRONMENT
SGP/WAAGNER-BIRO**

Firmensitz Wien: Siemensstr. 89, A-1011 Wien, Tel: (+43/1) 25045, Fax: (+43/1) 25045-124, 140

Graz: Waagner-Biro-Str. 98, A-8021 Graz, Tel: (+43/316) 501, Fax: (+43/316) 501-482

Linz: Lunzer Str. 64, A-4031 Linz, Tel: (+43/732) 6989, Fax: (+43/732) 6980-2250