

Umgestaltung zweistufig biologischer Kläranlagen zur Stickstoffelimination *)

Arbeitsbericht des ATV-Fachausschusses 2.6 „Aerobe biologische Abwasserreinigungsverfahren“

Mitglieder des Fachausschusses 2.6 sind:

Dr. J. Bever	Frau Dr. H. Lemmer
Dr. R. Boll	Dr. Th. Mann
Prof. Dr. Dr. v. d. Emde	Dr. N. Matsche
Prof. Dr. W. Gujer	Dipl.-Chem. F. Sarfert
Prof. Dr. L. Huber	Dipl.-Ing. P. Schleypen (Obmann)
Prof. Dr. K. Imhoff	Dr. B. Teichgräber
Dr. K.-H. Kalbskopf	Dr. E. Zibinski
Prof. Dr. R. Kayser	Dipl.-Ing. V. Ziess
Prof. Dr. K.-H. Krauth	

1. Vorbemerkung

Gemeinsam mit dem ATV-Fachausschuß 2.8 wurde 1987 der Arbeitsbericht „Umwandlung und Elimination von Stickstoff im Abwasser“ [1] herausgegeben. Darin wurden einstufige Belebungsanlagen zur Nitrifikation/Denitrifikation sowie Tropf- und Scheibentauchkörper und andere Festbettverfahren zur Nitrifikation behandelt. In dem Arbeitsbericht „Mehrstufige biologische Kläranlagen“ von 1989 [2] wird vorrangig auf CSB-Abbau und Nitrifikation eingegangen. Zur Denitrifikation wird entweder eine nachgeschaltete Denitrifikation (3. Stufe) oder eine Denitrifikation in der zweiten Stufe durch Begrenzung des Abbaues in der ersten Stufe oder durch Bypass vorgeschlagen. 1991 erschien das vom FA 2.6 erarbeitete ATV-Arbeitsblatt A 131 „Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen ab 5 000 Einwohnerwerten“ [3].

In der Vergangenheit sind für Großstädte und für Kommunen mit hohen Anteilen an organisch stark verschmutzten Abwässern, z. B. aus der Nahrungsmittelindustrie, oft zweistufig biologische Abwasserreinigungsanlagen gebaut worden. Solange nur Nitrifikation gefordert war, waren solche Lösungen zweckmäßig und wirtschaftlich. In zweistufigen Belebungsanlagen läßt sich bei Belüftungszeiten von z. B. insgesamt 4 bis 6 Stunden weitgehende Nitrifikation erzielen.

Um den heutigen Anforderungen zur Stickstoffelimination gerecht zu werden, ist der Umbau zu einstufigen Belebungsanlagen (Bemessung nach dem ATV-Arbeitsblatt A 131) immer erfolgversprechend. In vielen Fällen mangelt es aber an den dafür notwendigen Flächen.

In diesem Arbeitsbericht werden Wege aufgezeigt, wie unter Beibehaltung der biologischen Zweistufigkeit die Stickstoffelimination verbessert bzw. überhaupt erst ermöglicht werden kann.

2. Ausgangssituation

Es existieren hauptsächlich die folgenden vier zweistufigen Verfahrensarten:

- (BB) Zweistufige Belebungsanlagen, z. B. Bremen, Frankfurt, Hamburg, München, Rosenheim, Krefeld (AB).
- (TB) Erste Stufe Tropfkörper, zweite Stufe Belebungsanlage, z. B. Nürnberg und Erlangen, aber auch ohne Zwischenklärung, vorwiegend in Orten mit hohen Anteilen an Abwässern aus der Lebensmittelindustrie, wie z. B. Cuxhaven, Stade.
- (BT) Erste Stufe Belebungsanlage, zweite Stufe Tropfkörper, z. B. Karlsruhe, Lüneburg, Ingolstadt, Kempten, Essen-Werden, Klagenfurt.

(TT) Zweistufige Tropfkörperanlagen, z. B. Neuhausen a. d. Fildern, Raubling.

3. Lösungsmöglichkeiten

3.1 Grundsätzliches

Wichtig sind Maßnahmen im Vorfeld: Es gilt, die Einleitung hoher Stickstofffrachten aus Gewerbe und Industrie in die kommunale Kanalisation zu unterbinden. Die bisherige Praxis der Vorbehandlung von Industrie- und Gewerbeabwasser mit dem Ziel der CSB- bzw. BSB₅-, jedoch ohne N-Vermindeung zur Abwehr von Starkverschmutzerzuschlägen ist nicht immer angebracht, weil dadurch das C/N-Verhältnis im Zulauf zur Kläranlage sehr nachteilig beeinflusst wird.

Innerhalb der Kläranlage geht es darum, die Denitrifikation durch Verbesserung des C/N-Verhältnisses zu ermöglichen oder zu intensivieren. Dazu bieten sich an:

- Verminderung der Rückbelastung mit Stickstoff aus der Schlammbehandlung.
- Interne Prozeßmodifikationen (Rückpass, Bypass, Transfer von belebtem Schlamm).
- Einspeisung von externem organischen Kohlenstoff, z. B. Methanol.
- Separate Denitrifikationsstufe (dritte Stufe) mit externem org. Kohlenstoff, z. B. Methanol, oder belebtem Schlamm der 1. Stufe zur Denitrifikation.

Die verschiedenen Möglichkeiten werden im folgenden diskutiert.

3.2 Getrennte Behandlung des Schlammwassers

Im Vergleich zu einstufigen, nach A 131 bemessenen Belebungsanlagen wird in einer ersten, hochbelasteten Stufe nach dem Belebungsverfahren im Verhältnis deutlich mehr Stickstoff in den Überschussschlamm eingebunden. Wird, wie üblich, der Schlamm ausgefaut, so sind die Rückflüsse an Stickstoff aus der Schlamm-entwässerung entsprechend hoch. In Hamburg rechnet man z. B. mit einer Aufstockung um rd. 15 mg/l N. Als erster Schritt ist daher die getrennte Behandlung des Schlammwassers zu erwägen.

Eine Lösung stellt die Strippung dar, wie sie auf der Kläranlage Frederikshavn in Dänemark praktiziert wird [4]. Es sind dort zwei Stripper hintereinandergeschaltet. Das Gas wird im geschlossenen Kreislauf über einen Absorptionsturm geführt. Für das Schlammwasser mit 1 025 mg/l TKN (890 mg/l NH₄-N) werden 5,4 kg/m³ Kalk und 1,76 l/m³ Schwefelsäure verbraucht. Es fällt etwas an Schlamm an, der aus den zugegebenen Chemikalien und dem Schwebstoffgehalt des Trübwassers resultiert. Der Energiebedarf beträgt 6,85 kWh/m³ [5]. Ähnliche Zahlen nennen Wetter und Pöppinghaus [6] aufgrund halbtechnischer Versuche.

Eine andere Lösung bietet die chemische Fällung des Ammoniaks als Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP-Verfahren) [7]. Es wird am Markt eine Lösung des MAP-Verfahrens angeboten, bei der die Fällungschemikalien wiedergewonnen werden können. Das Ammonium wird dabei als Ammoniakwasser ausgeschleust. Diese Rezyklierung ist nur auf sehr großen Anlagen sinnvoll. Deshalb sind zentrale Rezyklierungsanlagen für das Fällungsprodukt geplant. Großtechnische Erfahrungen liegen noch nicht vor.

Möglich ist auch die getrennte biologische Trübwasservorbehandlung durch Nitrifikation und Denitrifikation mit externem Kohlenstoff (Methanol) oder dem Überstand einer Primärschlammversäuerung. Bedingt durch die höheren Prozeßtemperaturen und die geringeren Anforderungen an die Ablaufqualität kommt man mit verhältnismäßig wenig Volumen aus. Versuche hierzu wurden u. a. in Stockholm von Hultgren et al. [8] und in

*) Anregungen zum nachfolgenden Arbeitsbericht sind erwünscht. Richten Sie diese bitte an die ATV-Hauptgeschäftsstelle, Theodor-Heuss-Allee 17, 53773 Hennef

Bottrop von Teichgräber [9] durchgeführt. Weitere Einsparungen sind realisierbar, wenn nur bis zum Nitrit nitrifiziert wird. Über Versuche berichteten Abeling und Seyfried [10].

3.3 Interne Prozeßmodifikationen

3.3.1 Rückpass

Unter Rückpass wird die Rückführung des nitrathaltigen Ablaufes der zweiten Stufe in die erste Stufe, wo dann die Denitrifikation erfolgt, verstanden. Schwentner et al. [11] berichteten über großtechnische Untersuchungen mit Rückpass bei Tropfkörperanlagen.

Dem Belebungsbecken der Kläranlage Esslingen-Berkheim ist ohne Zwischenklärung ein Tropfkörper mit Kunststoffüllelementen vorgeschaltet (Bild 1). Zunächst wurden nur die Lüftungsöffnungen an der Sohle des Tropfkörpers verschlossen, oben blieb der Tropfkörper offen. Dadurch wurde die Luftzirkulation unterbunden. Das Rezirkulationsverhältnis betrug bei einem mittleren Trockenwetterzufluß rund $1,5 Q_D$. Der NO_3-N -Gehalt im Ablauf der Anlage wurde durch diese Maßnahme von im Mittel rd. 32 mg/l auf 21 mg/l an NO_3-N verringert. Eine weitere Absenkung auf 14 mg/l konnte durch eine Abdeckung des Tropfkörpers mit einer GFK-Kuppel erreicht werden. Auf den Kläranlagen Neuhausen a. d. Fildern und Grünstadt wurden mit ebenfalls abgedeckten Denitrifikationstropfkörpern ähnliche Ergebnisse erzielt. Nach den Untersuchungen dieser drei Kläranlagen durch die Universität Stuttgart ist die mit abgedeckten Denitrifikationstropfkörpern erreichbare Stickstoffelimination einer Belebungsanlage mit vorgeschalteter Denitrifikation gleich. Zweistufige Tropfkörperanlagen (1. Stufe anoxisch, 2. Stufe Nitrifikation; ausgeführt in Neuhausen a. d. Fildern) mit Rezirkulation unterscheiden sich von Belebungsanlagen mit vorgeschalteter Denitrifikation im wesentlichen nur durch die Ausbildung verschiedenartiger Biozönosen.

In zweistufigen Belebungsanlagen oder mit Tropfkörpern als 2. Stufe (Bild 3) muß das Belebungsbecken der ersten Stufe eine

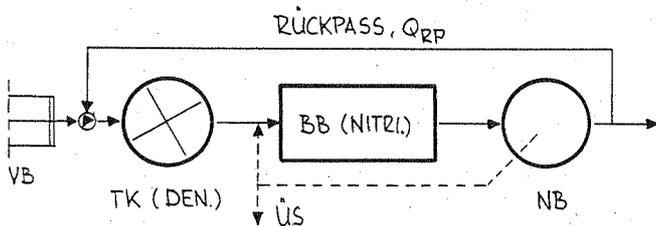


Abb. 1: Rückpass vom Ablauf der zweiten Stufe in einen Tropfkörper (1. Stufe) zur Denitrifikation

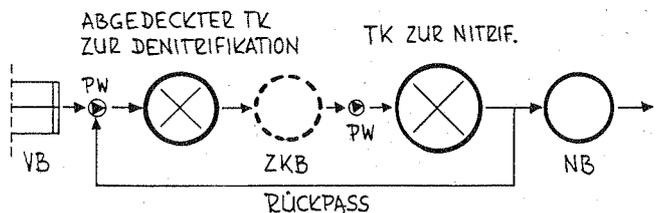


Abb. 2: Rückpass bei zweistufigen Tropfkörperanlagen

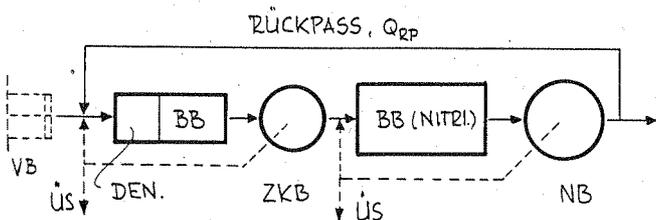


Abb. 3: Rückpass bei zweistufigen Belebungsanlagen

Denitrifikationszone durch Umgestaltung oder Erweiterung erhalten. Die Rückpassmenge ist auf die Größe der vorhandenen Zwischen- und Nachklärbecken abzustellen oder umgekehrt. Es muß insbesondere sichergestellt werden, daß aus der Zwischenklärung nicht größere Mengen an Schlamm in eine knapp bemessene zweite Stufe übertreten können.

Da die Zwischen- und Nachklärbecken in der Regel für etwa $2 Q_{TW}$ bemessen sind, kann in zweistufigen Belebungsanlagen mit $Q_{RP} = Q_{TW}$ gearbeitet werden. Die Stickstoffelimination wird dann insgesamt bei getrennter Behandlung der Rückflüsse aus der Schlammbehandlung annähernd $\eta_N = 60\%$ betragen. Bei Regen wird der Rückpass abgestellt, die N-Elimination sinkt dann auf etwa 40%. Bei günstigen Schlammereigenschaften in beiden Stufen sowie nicht ausgelasteten Anlagen sind auch höhere Rückpass-Verhältnisse von z. B. $Q_{RP} = 1-3 Q_{TW}$ mit entsprechend höherem η_N bei Trocken- und Regenwetter denkbar.

Von Tropfkörpern in zweiter Stufe hinter einer Belebungsanlage kann der Rückpass entsprechend Bild 2 vor der Nachklärung abgezweigt werden.

3.3.2 Begrenzung des C-Abbaues in der 1. Stufe

Bei sehr günstig zusammengesetzten Abwässern ($N : BSB_5 \ll 0,25$) kann eine zweistufige Anlage mit einer sehr hochbelasteten ersten Stufe (z. B. A-Stufe) und einer auf Nitrifikation — Denitrifikation ausgelegten zweiten Stufe ($V_D/V_{BB} = 0,5-0,6$) zweckmäßig sein (Bild 4). Kernproblem ist die Sicherstellung eines nur begrenzten C-Abbaues in der ersten Stufe (Betrieb ohne Vorklämung). Es muß deshalb mit sehr kurzen Schlammaltern von weniger als $t_{TS} = 0,5$ d und u. U. einer Begrenzung der Belüftungsleistung gearbeitet werden. Dies erfordert eine optimale Prozeßregelung. Vorsorge ist gegen Geruchsemissionen und Betonkorrosion zu treffen.

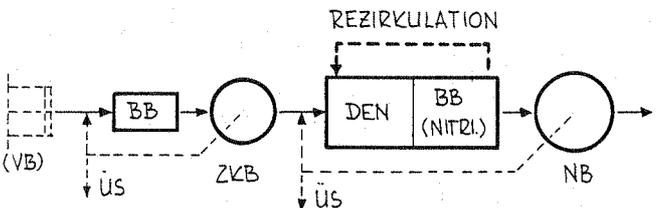


Abb. 4: Begrenzung des C-Abbaues in der ersten biologischen Stufe

Das Belebungsbecken der zweiten Stufe wird deshalb kleiner als das einer einstufigen Anlage mit Vorklämung, weil es weniger mit Schwebstoffen belastet wird. Günstig wirkt sich auch die vergleichsweise hohe Stickstoffentnahme mit dem Überschussschlamm der ersten Stufe aus. Auf die Zweckmäßigkeit der getrennten Behandlung des Schlammwassers wird hingewiesen.

3.3.3 Bypass um die erste Stufe

Ähnlich wie eine Begrenzung des C-Abbaues in der 1. Stufe ist die Wirkung eines Bypasses um die erste Stufe von z. B. $Q_{BP} = 0,2$ bis $0,5 Q$ (Bild 5). Die erste Stufe wird durch den Bypass entlastet. Die zweite Stufe ist für Nitrifikation — Denitrifikation mit $V_D/V_{BB} = 0,4-0,6$ auszulegen. Kernprobleme sind auch hier letztlich die richtige Einstellung des Bypasses und die Regelung der Leistung der 1. Stufe. Je größer man den Bypass wählt, umso größer muß die zweite Stufe sein, damit das Schlammalter stets hoch genug bleibt und umso näher kommt man einer einstufigen Anlage.

3.3.4 Bypass und Rückpass

Wird neben dem Bypass noch ein Rückpass angeordnet, so kann die Stickstoffelimination gegenüber einer Anlage nur mit Bypass verbessert werden. Allerdings werden die Zwischen- und Nach-

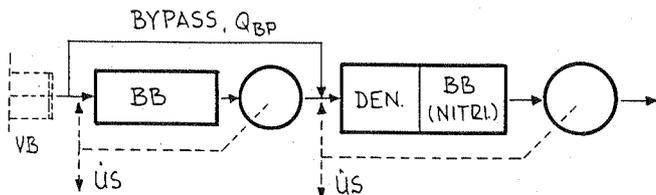


Abb. 5: Bypass um die erste biologische Stufe

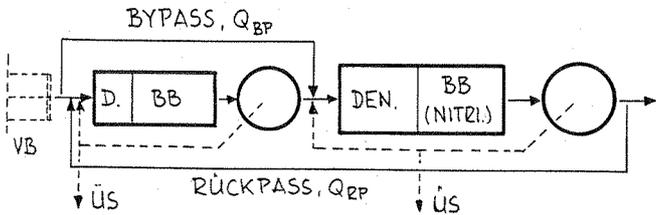


Abb. 6: Kombination von Bypass und Rückpass

klärbecken entsprechend höher beschickt. Bei Regen wird der Rückpass eingestellt (Bild 6). Damit sich eine nennenswerte Wirkung einstellt, sollte $Q_{RP} > 0,3 Q_{TW}$ werden.

3.3.5 Rückführung des Überschussschlammes der zweiten Stufe in die erste

Durch Rückführen des Überschussschlammes der zweiten Stufe in die erste Stufe kann schon hierin eine teilweise Nitrifikation erzielt werden. Das gebildete Nitrat sollte in der ersten Stufe auch denitrifiziert werden. Eine insgesamt weitgehende Stickstoffelimination läßt sich nur erreichen, wenn auch in der zweiten Stufe Denitrifikation erfolgt. Daher wird die erste Stufe mit Bypass betrieben (Bild 7). Dieses Verfahren wird in Hamburg praktiziert.

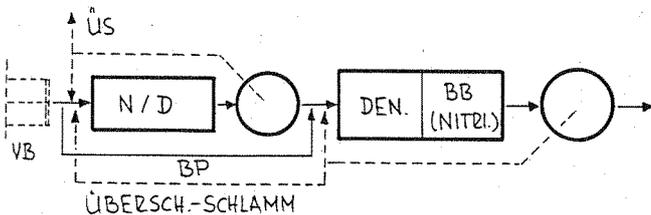


Abb. 7: Rückführung des Überschussschlammes der zweiten Stufe in die erste Stufe

Die Stickstoffentnahme in der ersten Stufe (KW Süd) ist in Hamburg mit 20 bis 25 mg/l N zwar erheblich, sie ist aber zum größten Teil der Einbindung von Stickstoff in den belebten Schlamm zuzuschreiben.

Einschließlich der Rückflüsse aus der Schlammbehandlung (im Mittel rd. 15 mg/l) betrug die Zulaufkonzentration im Jahre 1991 im Mittel 67 mg/l TKN bei rd. 395 000 m³/d. Im Ablauf der zweiten Stufe wurden im Mittel 15 mg/l anorg. N gemessen; es wurden also rd. 75 % N eliminiert. Bezogen auf den Klärwerkszulauf (i. M. rd. 52 mg/l TKN) und nach Abzug von 2 mg/l org. N im Ablauf wurden insgesamt 70 % N entfernt. Begrenzend für eine weitergehende Denitrifikation sind der Bypass (Schlammlager in der zweiten Stufe sinkt zu sehr) und die Rezirkulation, die hier nur mit dem Rücklaufschlamm erfolgt und etwa 1,40 Q beträgt. Obwohl die Elimination im Jahresmittel beträchtlich ist, lassen sich die Anforderungen der 1. Rahmen-AbwVwV (Anhang 1, 18 mg/l anorg. N in der Stichprobe) nicht einhalten. Ein wesentlicher Grund hierfür ist auch das an den Wochenenden hohe N : BSB₅-Verhältnis infolge der konstanten N-Rückflüsse aus der Schlammbehandlung bei verringerter organischer Belastung aus Gewerbe und Industrie.

3.3.6 Schlammaustausch zwischen beiden Stufen einer Belebungsanlage

Im Gegensatz zu dem in Hamburg praktizierten Verfahren wird auf einen Bypass um die erste Stufe verzichtet und zur Denitrifikation ein Teilstrom des Schlammes der ersten Stufe genutzt. Die Rückführung von Schlamm der zweiten Stufe in die erste Stufe wird beibehalten (Bild 8). Das Verfahren wurde auf der Kläranlage Admont in Österreich entwickelt [12]. In der ersten Stufe (ohne Vorklämung) erfolgt bei ausreichender Belüftung infolge des rückgeführten Schlammes der zweiten Stufe auch Nitrifikation. Das gebildete Nitrat wird denitriert. In der zweiten Stufe wird ebenfalls simultan nitrifiziert und denitrifiziert. Kohlenstoffquelle für die Denitrifikation ist hier der aus der ersten Stufe übergeleitete Schlamm. Es wird eine Stickstoffelimination von 70 % erzielt.

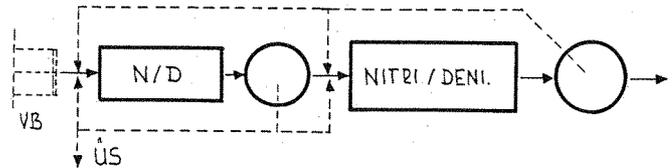


Abb. 8: Schlammaustausch zwischen beiden Stufen einer Belebungsanlage

3.3.7 Denitrifikation in einer 3. Stufe mit dem Schlamm der ersten Stufe

Das Verfahren (Bild 9) befindet sich auf der Kläranlage Ahrensburg im Bau [13]. Vorausgegangene Untersuchungen im Labor und im technischen Maßstab auf der Kläranlage Ahrensburg [14] hatten ergeben, daß der Überschussschlamm der ersten Stufe alleine zur Denitrifikation von rd. 30 mg/l NO₃-N nicht ausreichte und daß die Verwendung eines größeren Teils des Rücklaufschlammes zu einer Verschleppung von Ammonium in den Ablauf führte. Deshalb wird eine Flotationseindickung zwischengeschaltet.

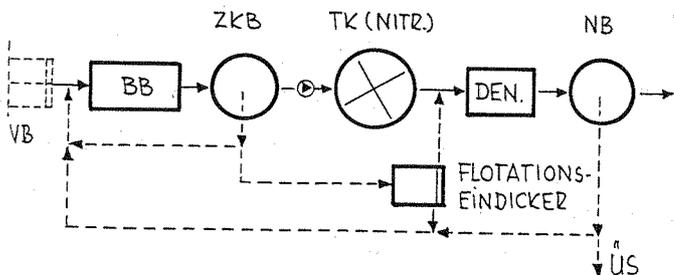


Abb. 9: Denitrifikation in einer dritten Stufe mit Schlamm der ersten biologischen Stufe

3.4 Zugabe von organischem Kohlenstoff

3.4.1 Grundsätzliches

Zur Unterstützung der Denitrifikation oder auch als einzige Kohlenstoffquelle für die Denitrifikation können Methanol, Ethanol, Essigsäure o. a. eingesetzt werden. Auch der Einsatz anderer organischer Konzentrate ist möglich, sie sollten jedoch möglichst wenig Stickstoff enthalten. Denkbar ist auch die gezielte Versäuerung und Elution von Primärschlamm.

Die Versäuerung von Vorklärschlamm mit 3 Tagen Aufenthaltszeit auf der Kläranlage Schermbeck des Lippeverbandes ergab folgende Zusammensetzung des Überstandwassers (Eluat):

	Konzentration (mg/l)	Frachtaufstockung (%)
CSB	4.400	12
TKN	230	4
org. Säuren	2.000	60

Das leicht abbaubare Substrat konnte erheblich aufgestockt werden, ohne zu viel Stickstoff zurücklösen. Ähnliches berichtet Kristensen [15] von Versuchen aus Dänemark.

Methanol ist bei Kosten von z. T. unter 0,50 DM/kg am günstigsten von allen Chemikalien. 1 kg Methanol entspricht 1,5 kg CSB. Benötigt werden zur Denitrifikation brutto rd. 4 bis 5 kg CSB pro kg zu denitrifizierendem Nitratstickstoff. Die Chemikalienkosten für die Entfernung von 1 kg Nitratstickstoff betragen bei Verwendung von Methanol rd. 1,50 DM.

Hingewiesen wird u. a. auf die Sicherheitsvorschriften für Lagerung und Umgang mit „Wassergefährdenden Stoffen“ gemäß WHG § 19g sowie den ggf. erforderlichen Ex-Schutz.

Gemeinsam ist den oben erwähnten Chemikalien, daß ihr Abbau einer Reaktion 0. Ordnung folgt und daher im Vergleich zum häuslichen Abwasser deutlich höhere Denitrifikationsraten auftreten. Sie bilden auch weniger Überschussschlamm als häusliches Abwasser, man kann vereinfacht mit rd. 0,3 g TS pro g CSB rechnen, davon abzuziehen ist noch die endogene Veratmung von Bakterienmasse. In Anlagen mit hohem Schlammalter kommt man daher netto auf rd. 0,2 kg TS pro kg CSB der zugegebenen Chemikalien. Die Schlammproduktion ist damit rd. halb so hoch wie von vorgeklärtem häuslichem Abwasser (0,4 kg TS/kg CSB).

Methanol hat den Nachteil, daß es nur von ganz bestimmten Bakterien umgesetzt wird, die im belebten Schlamm kommunaler Anlagen in der Regel kaum vorhanden sind. Die Denitrifikation mit Methanol erfordert daher eine gewisse Einarbeitungszeit. Wenn nur an kurzzeitige Dosierungen von Hilfsstoffen zur Denitrifikation z. B. in der Tagesspitze gedacht wird, ist Methanol in der Regel ungeeignet. Besonders wirkungsvoll ist in solchen Fällen z. B. Essigsäure. Die Kosten bezogen auf zu entfernendes Nitrat sind aber etwa zwei- bis viermal so hoch wie für Methanol.

3.4.2 Unterstützung der Denitrifikation mit Chemikalien

Zur Unterstützung der Denitrifikation kann Methanol o. ä. bei den geschilderten Verfahrensvarianten (3.3.2 bis 3.3.6) in den Zulauf zur zweiten Stufe gegeben werden. Die interne Rezirkulation muß hoch genug sein, um den erwünschten Denitrifikationsgrad zu erreichen. Bei der Nachdenitrifikation mit Schlamm können auch Chemikalien in den Zulauf zur dritten Stufe dosiert werden.

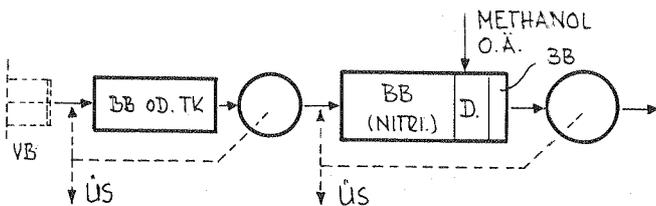


Abb. 10: Denitrifikation mit externem Kohlenstoff in der zweiten biologischen Stufe

In knapp bemessenen Belebungsbecken der zweiten Stufe kann man u. U. am günstigsten eine Art Nachdenitrifikation realisieren (Bild 10). Dies erspart vor allem den Bau einer internen Rezirkulation. Dem Denitrifikationsbecken nachzuschalten ist aus Sicherheitsgründen (Überdosierung von Methanol) eine belüftete Zone. Eine solche Lösung wird auf der Grundlage von Vorversuchen für die Reinigung des Abwassers der Preussag-Stahl AG in Salzgitter geplant. Da das Abwasser dort im wesentlichen mit Ammonium und kaum mit organischen Stoffen belastet ist, wurde auf die erste Stufe verzichtet. Bei einer Kontaktzeit von 0,75 h in der Denitrifikationszone und einer Methanoldosierung entsprechend 4 kg CSB/kg NO₃-N_D beträgt die Denitrifikationsrate 200 g NO₃-N_D/kg oTS · d (B_{R,CSB} ~ 0,8 kg/kg oTS · d). Die Denitrifikationsrate ist damit gleich hoch wie im EPA-Manual [16] für 20°C angegeben. Bei 10°C kann man danach nur mit etwa halb so hohen Denitrifikationsraten rechnen.

3.4.3 Getrennte Stufe zur Denitrifikation

Die Anordnung einer dritten Stufe zur Denitrifikation mit Methanol ist prinzipiell im Anschluß an jede voll nitrifizierende zweistufige Anlage möglich. Diese Lösung hat folgende Vor- und Nachteile:

- Es ist kein Rückpass erforderlich
- Der Überschussschlammanfall wird erhöht
- Es wird auf den Rückgewinn an Säurekapazität verzichtet

Anoxische Belebungsanlagen sind als dritte Stufe zwar möglich, die Abtrennung eines mit Methanol produzierten belebten Schlammes ist wegen des hohen Schlammindex in üblichen Nachklärbecken jedoch sehr problematisch. Nach den Untersuchungen von Prof. Krauth zur vorgeschalteten Denitrifikation mit Tropfkörpern ist es möglich, auch Tropfkörper zur Nachdenitrifikation einzusetzen. Geeignet sind auch Fließ- oder Wirbelbettverfahren zur Nachdenitrifikation. In der Praxis bewährt haben sich in den USA Sandfilter zur Nachdenitrifikation. In München laufen z. Z. Versuche zur Denitrifikation in Filtern (Bild 11) [17]. Die Wasserverbände in England erproben z. Z. ebenfalls Filter zur Nachdenitrifikation [18]. Dort wird der Einsatz von Filtern bei der großen Zahl der vorhandenen, voll nitrifizierenden Tropfkörperanlagen als wirtschaftliche Alternative zum Neubau von einstufigen Belebungsanlagen mit Nitrifikation — Denitrifikation gesehen.

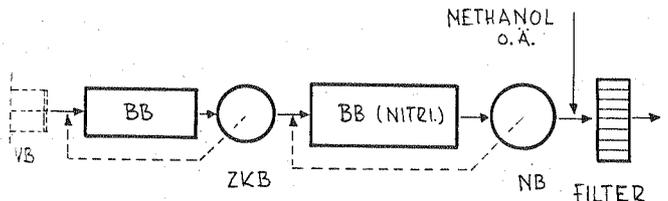


Abb. 11: Denitrifikation in einem nachgeschalteten Filter

In Biofiltern ist eine Methanolüberdosierung zu vermeiden, weil es dann zur Verschiebung der Bakterienflora von methylotrophen Denitrifikanten zu Methanbildnern kommen kann.

Durch die Produktion von Biomasse im Filter muß häufiger rückgespült werden. Man kann grob rechnen, daß bei einer Denitrifikation von 20 mg/l Nitratstickstoff rd. 10—15 mg/l Schwebstoffe produziert werden, wodurch die Schwebstoffbelastung in etwa verdoppelt wird (Ablauf Nachklärbecken TS_e = 10—15 mg/l). Auch steigt mit höheren Nitratkonzentrationen die Freisetzung von Stickstoffgas im Filter. Bei aufwärts durchströmten Filtern, wie z. B. in Köln-Stammheim, stellt das kein Problem dar, weil die Gasbläschen mit dem Wasser ausge tragen werden. Aus abwärts durchströmten Filtern muß zwischen den regulären Rückspülungen durch kurzzeitige Spülstöße das Gas ausgetrieben werden. Abwärts durchströmte Filter sind daher am ehesten zur Restdenitrifikation oder bei gering konzentrierten Abwässern sinnvoll. In Frankreich wurden spezielle Aufstrom-Filter zur Denitrifikation sowie auch zur Nitrifikation und Denitrifikation entwickelt [19].

3.5 Vorüberlegungen zur Verfahrenswahl

Welche der aufgezeigten Lösungen für den Einzelfall anwendbar ist, hängt vorwiegend davon ab, welche Anlagenteile Reserven aufweisen und wo Freiflächen für die Schaffung zusätzlicher Becken vorhanden sind.

Reserven der Zwischen- und Nachklärbecken lassen sich rechnerisch nach dem ATV-Arbeitsblatt A 131 leicht nachweisen.

Die Reserve des Volumens eines Belebungsbeckens ermittelt man anhand des aeroben Schlammalters, welches (bezogen auf V_N) nicht kleiner als t_{TS} (aerob) = 8 d werden sollte.

Um zu untersuchen, ob ein Bypass um die erste Stufe zur Erhöhung des C-Angebotes der zweiten Stufe dieser zweiten Stufe überhaupt zuträglich ist, wird zunächst das Schlammalter neu berechnet. Bekannt sei der gegenwärtige Überschußschlammfall der zweiten Stufe ($\dot{U}S_{\text{vorh}}$ in kgTS/d). Es gilt dann:

$$\dot{U}S_{\text{vorh}} = \dot{U}S_{\text{abgezogen}} + (Q_d \cdot TS_e) \quad (1)$$

$$\dot{U}S \text{ (kg/d)} = \dot{U}S_{\text{vorh}} \cdot (1 - Q_{\text{BP}}/Q) + \dot{U}S_{\text{BP}} \quad (2)$$

Der aus dem Bypass resultierende Überschußschlamm ($\dot{U}S_{\text{BP}}$) ist nach Tab. 8 aus A 131 vorsichtshalber für $t_{\text{TS}} = 10$ d abzuschätzen.

Das neue Schlammalter der zweiten Stufe erhält man als:

$$t_{\text{TS}} \text{ (neu)} = V_{\text{BB}} \cdot TS_{\text{EB}} / \dot{U}S \quad (3)$$

Das mögliche Verhältnis V_D/V_{BB} läßt sich dann wie folgt abschätzen:

$$V_D/V_{\text{EB}} = 1 - 8/t_{\text{TS}} \text{ (neu)} \quad (4)$$

Trotz der Denitrifikation mit einem Gewinn an Sauerstoff wird der Sauerstoffbedarf im Volumen V_N gegenüber den vorherigen Verhältnissen höher werden. Eine Abschätzung kann analog zu A 131 vorgenommen werden.

Zur Realisierung einer Denitrifikation in der ersten Stufe (3.3.1 bzw. 3.3.4) bedarf es im wesentlichen der Abtrennung des Denitrifikationsvolumens vom belüfteten Becken. Das mit dem Rückpass herangeführte Nitrat „ersetzt“ die Belüftung für den BSB_5 -Abbau in der anoxischen Zone. Da man den Sauerstoffverbrauch (O_{VR}) im Belebungsbecken der ersten Stufe messen kann, kann man auch grob abschätzen, welche Nitratfracht in einem angenommenen Volumen V_D zu denitrifizieren ist. Es gilt angenähert:

$$0,75 \cdot O_{\text{VR}} \cdot V_D = 2,9 \cdot Q_{\text{RP}} \cdot \text{NO}_3\text{-N}_e \quad (5)$$

Bei vorgegebenem $Q_{\text{RP}} \cdot \text{NO}_3\text{-N}_e$ kann man nach Gl. 5 auch V_D berechnen. Wie bei vorgeschalteter Denitrifikation ist ein Kaskadenbetrieb günstig. Es sollte möglich sein, in den Nachtstunden die Denitrifikationszone zu vergrößern.

Für einen Erfolg der Rückführung von Überschußschlamm der zweiten Stufe ist eine hohe Belüftungskapazität der ersten Stufe ausschlaggebend. Es hängt vom Belüftungssystem ab, ob man in der ersten Stufe eine simultane Denitrifikation anstrebt, z. B. Kreiselbelüftung in tiefen Becken, oder ob man nicht zweckmäßiger eine vorgeschaltete Denitrifikation einrichtet.

Die kreuzweise Schlammvermischung (3.3.6) kommt einem einstufigen System sehr nahe. Um zu prüfen, ob eine solche Umstellung überhaupt Sinn macht, schätzt man zunächst die Schlammproduktion einer einstufigen Anlage nach Tab. 8 (A 131) und ermittelt das Schlammalter bezogen auf das Gesamtvolumen. Nach Gl. 3 erhält man dann das mögliche Verhältnis V_D/V_{BB} .

Um zu prüfen, ob sich eine Nachdenitrifikation mit Methanol (3.4.2) in den vorhandenen Belebungsbecken realisieren läßt, geht man analog wie oben beschrieben vor. Man schätzt zunächst die Überschußschlammproduktion unter Berücksichtigung der Methanoldosierung ab, berechnet das neue Schlammalter und V_D/V_{EB} . Wird $V_D/V_{\text{BB}} > 0,2$, so kann die Lösung Erfolg haben.

Ohne Eingriffe in die bestehende Substanz läßt sich die Nachschaltung einer dritten Stufe zur Denitrifikation realisieren. Dies kann eine anoxische Belebungsanlage oder u. U. ein anoxischer Tropfkörper sein. Eine Filteranlage kann dann vorteilhaft sein, wenn sie zur Verringerung des Gehaltes an abfiltrierbaren Stoffen ohnein notwendig ist. Die Nitratkonzentration im Ablauf der bestehenden Anlage sollte bei Filtern nicht viel höher als 20 bis 25 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ sein, wenn eine Ablaufkonzentration von 10 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ erreicht werden muß.

Bei höher konzentrierten Abläufen sollte durch getrennte Behandlung des Schlammwassers (vergl. 3.2) oder/und interne Maßnahmen die Konzentration des Nitrates zunächst gesenkt werden.

3.6 Verifikation durch Versuche

Für alle skizzierten Varianten biologisch zweistufiger Abwasserreinigungsanlagen existieren keine allgemeingültigen Bemessungsansätze. Man kann zwar, wie unter 3.5 gezeigt, in den meisten Fällen das Schlammalter näherungsweise abschätzen. Die Ungewißheit liegt in der Denitrifikation. Dies insbesondere, weil unklar ist, wie der Rest- BSB_5 oder der Schlamm der ersten Stufe für die Denitrifikation in der zweiten Stufe nutzbar ist. Ähnlich unsicher ist auch die Berechnung des Sauerstoffbedarfes. Deshalb sind Versuche notwendig.

Verhältnismäßig einfach ist es, wenn die Nachschaltung eines Filters zur Schwebstoffentnahme und Denitrifikation mit Methanol o. ä. angestrebt wird. Man braucht dann der vorhandenen Anlage nur ein Versuchsfilter nachzuschalten. Das gleiche gilt, wenn man die Nachdenitrifikation mit Überschußschlamm der ersten Stufe plant oder an die Nachschaltung eines anoxischen Tropfkörpers denkt.

Von den internen Prozeßmodifikationen kann man allenfalls den Bypass großtechnisch erproben. Dies setzt aber voraus, daß in der zweiten Stufe alle Einrichtungen zur vorgeschalteten Denitrifikation vorhanden sind, was in der Regel nicht der Fall ist.

Deshalb ist der Aufbau einer halbtechnischen Versuchsanlage meist unumgänglich. Sie muß verfahrenstechnisch ein verkleinertes Abbild der zweistufigen Großanlage sein. Es muß möglich sein, die Zuflussschwankungen entsprechend denen der Großanlage zu simulieren.

Wichtig ist, daß die Versuche nicht nur im Sommer, sondern auch während der kritischen, kalten Jahreszeit durchgeführt werden. Hieraus resultiert schon eine Versuchsdauer von mindestens einem Jahr, besser ist es eineinhalb Jahre einzuplanen, weil man dann zwei Winterperioden beobachten kann.

Verlässliche Schlüsse können nur aus mehrmonatigen stabilen Betriebsphasen gezogen werden. Insbesondere nach Betriebsumstellungen muß eine Übergangszeit mit der Dauer von zwei bis drei Schlammaltern (rd. 1 Monat) für die Auswertungen unberücksichtigt bleiben.

Neben den Verschmutzungsparametern (BSB_5 , CSB, TS, TKN, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ und ges.P) müssen die Schlammbeschaffenheit (TS_{BB} , SV, ISV), die Schlammproduktion und der Sauerstoffverbrauch stets getrennt für beide Stufen erfaßt werden.

4. Schlußbemerkung

Durch die skizzierten internen Umgestaltungen zweistufiger Anlagen wird das wesentliche Hindernis für eine weitgehende Stickstoffelimination, der Abbau des für die Denitrifikation benötigten organischen Kohlenstoffs in der ersten Stufe, meist nur teilweise beseitigt. Wenn das Abwasser nicht ungewöhnlich zusammengesetzt ist (hohes C : N-Verhältnis) wird die Stickstoffelimination begrenzt bleiben.

Eine Sonderstellung nehmen (auch ohne Zwischenklärung) zweistufige (anoxisch-oxisch) Tropfkörper ein, die den in Frankreich entwickelten Zweischicht-(anoxisch-oxisch)-Biofiltern in der Funktionsweise ähnlich sind.

Der Einsatz von Methanol o. ä. auf Kläranlagen mit üblicher Abwasserzusammensetzung bedeutet eine zusätzliche organische Belastung des Abwassers und bewirkt einen höheren Schlammfall. Er sollte daher auf verfahrenstechnisch bedingte Sonderfälle und ansonsten auf Übergangslösungen beschränkt werden.

Literatur

- [1] Arbeitsbericht der ATV-FA 2.6 und 2.8: Umwandlung und Elimination von Stickstoff aus Abwasser. Korrespondenz Abwasser 34 (1987), S. 77 und S. 167
- [2] Arbeitsbericht ATV-Arbeitsgruppe 2.6.5: Mehrstufige biologische Kläranlagen. Korrespondenz Abwasser 36 (1989), S. 181
- [3] Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen ab 5 000 Einwohnerwerten (Arbeitsblatt A 131). GFA, St. Augustin, 1991
- [4] *Thorndahl, U.:* Reinigung von Abwasser aus der Schlammwässerung. Korrespondenz Abwasser 38 (1991), S. 1666
- [5] *Thogersen, T.:* Betriebsergebnisse einer Stripp-Anlage zur getrennten Behandlung von Schlammwässern einer kommunalen Kläranlage. TU Berlin, Schriftenreihe Biologische Abwasserreinigung, Heft 2 (1993), S. 31
- [6] *Wetter, C. und K. Pöppinghaus:* Physikalisch-chemische Ammoniumelimination aus Zentratwasser. Korrespondenz Abwasser 39 (1992), S. 205
- [7] *Schulze-Rettmer, R., R. Blank und J. Lehmkuhl:* Stickstoffeliminierung aus hochbelasteten Abwässern durch chemische Fällung. TU Berlin, Schriftenreihe Biologische Abwasserreinigung, Heft 2 (1993), S. 49
- [8] *Hultgren, J., L. G. Reinius und M. Tendaj:* Upgrading of the Treatment Plants in Stockholm to meet more stringent Requirements. Wat. Sci. Techn. Vol. 22 (1990), pp. 77—84
- [9] *Teichgräber, B.:* Control Strategies for a Highly Loaded Biological Ammonia Elimination Process. Proceedings of the Sixth IAWQ Workshop on Instrumentation, Control and Automation of Water and Wastewater Treatment and Transport Systems, Banff and Hamilton, Canada. June 17—25 (1993), pp. 181—188
- [10] *Abeling, U. und C. F. Seyfried:* Biologische Stickstoffeliminierung aus organisch hochverschmutzten Abwässern. TU Berlin, Schriftenreihe Biologische Abwasserreinigung, Heft 2 (1993), S. 127—161
- [11] *Schwentner, G., B. Dorias und G. Schüle:* Denitrifikation im Tropfkörper, Erste Ergebnisse großtechnischer Untersuchungen. Korrespondenz Abwasser 38 (1991), S. 940
- [12] *Matsché, N., L. Prendl und L. Guan:* Erweiterung der Kläranlage Admont/Hall. Wiener Mitteilungen Wasser, Abwasser, Gewässer Band 100 (1992), S. F-1
- [13] *Rüdiger, A. und I. Sekulov:* Erweiterung bestehender Tropfkörperanlagen für weitergehende Abwasserreinigung. Vortragsmanuskript der Fachtagung „Weitergehende Abwasserreinigung als Beitrag zum Schutz der Nord- und Ostsee“. GFEU, Eißendorfer Str. 42, 2100 Hamburg 90, 1992
- [14] *Stübner, E.:* Untersuchungen zur Denitrifikation mit Belebtschlamm als H-Donator. Dissertation TU Hamburg-Harburg, Februar 1993
- [15] *Kristensen et al. (1993):* Modelling of Nutrient removal processes in Activated Sludge. Proceedings 9. EWPCA-ISWA Symposium, München (1993), S. 127—145.
- [16] Nitrogen Removal Process Design Manual. EPA, Washington, 1975
- [17] *Eichinger, J. und P. Kramer:* Großversuch zur Denitrifikation im Sandfilter des Klärwerkes München II. Korrespondenz Abwasser 39 (1992), S. 1.026
- [18] *Upton, J., A. Fergusson und S. Savage:* Denitrification of Wastewater: Operating Experiences in the US and Pilot-Plant Studies in the UK. J. IWEM, 1993, Februar, S. 1
- [19] *Rogalla, F.:* Nutrient Removal in Biofilters. Vortrag im 9. EWPCA-ISWA-Symposium, 11. bis 14. 5. 1993 in München

Ankündigung neuer Veröffentlichungen

**Arbeitsblatt ATV A 126
Grundsätze für die Abwasserbehandlung in
Kläranlagen nach dem Belebungsverfahren
mit gemeinsamer Schlammstabilisierung
bei Anschlußwerten zwischen 500 und
5 000 Einwohnerwerten**

Aufgrund der Neueinteilung der Kläranlagengrößenklassen mußten die ATV-Arbeitsblätter A 126 und A 131 überarbeitet und neu gegeneinander abgegrenzt werden. Der Geltungsbereich zwischen den beiden Arbeitsblättern wurde von bisher 10 000 auf 5 000 Einwohnerwerte zurückgenommen.

Die Neufassung des ATV-Arbeitsblattes A 126 „Grundsätze für die Abwasserbehandlung in Kläranlagen nach dem Belebungsverfahren mit gemeinsamer Schlammstabilisierung bei Anschlußwerten zwischen 500 und 5 000 Einwohnerwerten“, vorgelegt vom ATV-Fachausschuß 2.10 „Kleine Kläranlagen“, berücksichtigt vor allem die gegenüber dem Geltungsbereich vom ATV-Arbeitsblatt A 131 unterschiedlichen Mindestanforderungen für Anlagen der Ausbaugröße <5 000 EW und das sich daraus ergebende verfahrenstechnische Konzept.

Die praxisorientierten Festlegungen sollen dazu dienen, mangelhafte Billiglösungen ebenso zu vermeiden wie übertriebene Luxuslösungen. Das ATV-Arbeitsblatt A 126 zeigt die Bandbreite für gewässerwirtschaftlich erforderliches, technisch zweckmäßiges und wirtschaftlich angemessenes Planen, Bauen und Betreiben auf.

Aus dem Inhalt:

- Geltungsbereich;
- Verfahren;
- Bemessung;
- Baugrundsätze;
- Schlammbehandlung und -beseitigung;
- Betrieb.

An der Erstellung des Arbeitsblattes haben folgende Fachleute mitgearbeitet: Dipl.-Ing. Maus (Obmann des ATV-Fachausschusses 2.10 „Kleine Kläranlagen“), Dipl.-Ing. Albrecht, Dr.-Ing. Baumgart, Ltd. BD Bucksteeg, RD Dr. Kollatsch, Ltd. BD Schweizer, Ltd. RBD Tiedtke, Dipl.-Ing. Tuttahs, Ltd. BD Voss, Dr.-Ing. Zerres.

Fahren Sie Ihr Geld zum chüll?
nein?

Dann haben Sie vermutlich eine
RB-Rechengutwirbelwaschanlage!

R. Bischof GmbH

Maisteigstr. 21

D-85386 Eching

Tel.: (0 89) 3 19 25 68

Fax: (0 89) 3 19 45 82