Institut für Umwelttechnik und Management (Prof. Dr. Dr. K.-U. Rudolph)
Institut für Angewandte Biotechnik und Systemanalyse (Dr. E. K. Wolff)
an der Universität Witten/Herdecke GmbH

Abschlußbericht

zum

Forschungsvorhaben

02WS96281

"Halbtechnische Untersuchungen zur Erhöhung der Nitrifiziererleistung in Klärwerken durch Schlammklassifizierung und Prozessoptimierung"

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02WS9628/1 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 02-WS9628/1

Halbtechnische Untersuchungen zur Erhöhung der Nitrifiziererleistung in Klärwerken durch Schlammklassifizierung und Prozessoptimierung

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung 2

2. Vorarbeiten 4

3. Halbtechnische Versuchsanlage 6
3.1 Versuchskläranlage 6
3.1.1 Anpassungs- und Umbaumaßnahmen 6
3.1.2 Anlagenaufbau 7
3.1.3 Messdatenerfassung 12
3.1.4 Betriebsparameter 13
3.2 Schlammbehandlungsanlage 14
3.2.1 Anlagenaufbau 14
3.2.2 Vierfachfermenter 17

4. Ergebnisse 19
4.1 Versuchskläranlage 19
4.2 Schlammbehandlungsanlage 22

5. Zusammenfassung 26

6. Ausblick 28

7. Anhang 30

1. EINLEITUNG

Wasserrechtliche Anforderungen zur Nährstoffelimination (insbesondere hinsichtlich der Stickstoffelimination) wirken sich stark auf die erforderliche Beckengröße von Kläranlagen aus. Angesichts der angespannten Lage öffentlicher Haushalte besteht besonderer Bedarf an kostengünstigen Abwasserreinigungsverfahren. Zur Abwasserreinigung kommen derzeitig im wesentlichen unterschiedliche Belebtschlammverfahren mit Rücklaufschlammführung oder solche Verfahren zum Einsatz, bei denen die Belebtschlammmenge im Belebungsbecken gehalten bzw. erhöht wird (z.B. Festbettsysteme, Membranverfahren, Lamellenseparatoren etc.).

Limitierender Faktor in der Bemessung von Kläranlagen, die auf Stickstoffelimination ausgelegt sind, ist die niedrige Wachstumsrate der nitrifizierenden Mikroorganismen. In Belebtschlämmen ist die Wachstumsrate von Kohlenstoffabbauern (heterotrophe Mikroorganismen) etwa um das zehnfache höher als diejenige für Nitrifizierer. Um genügend hohe Konzentrationen von nitrifizierenden Mikroorganismen zu erreichen, wird bei der Bemessung deshalb von einer Mindestaufenthaltszeit für Nitrifizierer, dem aeroben Schlammalter, von 8 bis 10 Tagen ausgegangen. Dies wirkt sich maßgeblich auf die erforderliche Beckengröße bzw. den Investitionsaufwand aus.

Es liegt somit nahe, nach Wegen für die Anreicherung von Nitrifizierern zu suchen. Damit würde ein „effektives“ Schlammalter erzeugt werden, das größer ist als das durch die normale Schlammrückführung erreichbare. Damit einher ginge eine entsprechende Verringerung der notwendigen Beckengröße.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde auf Basis bisheriger Untersuchungen (siehe Kapitel 2, Vorarbeiten) ein Verfahren weiterentwickelt, bei dem mittels mechanischer Modifikation und Selektion des Rücklaufschlammes eine Erhöhung der Nitrifiziererleistung im Klärprozess durch Anreicherung von Nitrifizierern und gleichzeitiger Ausschleusung inaktiver und heterotropher Flockenbestanteile erzielt wird.

Bei der Behandlung des Rücklaufschlammes in einem Separator werden die Belebtschlammflocken mechanischem Stress ausgesetzt. Dabei werden die Schlammflocken des Rücklaufschlammes so in Einzelbestandteile aufgetrennt, dass sich diese in einer anschließenden passiven Sedimentationsstrecke hinsichtlich einer erhöhten Ntrifiziererleistung selektieren lassen und gezielt in den Prozess zurückgeführt werden können. Mineralische, inaktive Bestandteile können verworfen werden, so dass das System hiermit nicht weiter hydraulisch belastet wird. Flockenbestandteile mit einem

hohen Anteil an Kohlenstoffabbauern (heterotrophe Mikroorganismen) und geringer Nitrifiziererleistung können in Abhängigkeit vom Gesamtschlammhaushalt bzw. der Reinigungsleistung der Kläranlage zurückgeführt oder auch verworfen werden.

Die Rentabilität dieses Verfahrens ergibt sich vor allem daraus, dass vorhandene Klärwerkskapazitäten entlastet werden und ggfs. sonst erforderliche Erweiterungen entfallen können. Auch kleinere Anlagen, die bislang noch keiner erhöhten Anforderung zur Stickstoffelimination unterliegen, könnten bei Verschärfung der gesetzlichen Grenzwertregelung mit Hilfe dieser Technologie optimiert werden.

2. VORARBEITEN

Im vorangegangenen BMBF-Projekt[1] wurden bereits Arbeiten zur Optimierung der Nitrifiziererleistung durch Modifikation des Rücklaufschlammes (Schlammbehandlung) durchgeführt.

Bei Einzelversuchen im Technikumsmaßstab hat sich gezeigt, dass durch die mechanische Modifikation mit einem Separator die Schlammflocke sowohl in ihrem Aussehen als auch in ihrer Nitrifiziererleistungsfähigkeit deutlich verändert wird.

Die mikroskopischen Ergebnisse zeigten deutlich, dass die Schlammflocke durch die mechanische Behandlung im wesentlichen homogenisiert und in verschiedenste Bestandteile zerlegt werden kann. Die Schlammflocken sind nach der Behandlung wesentlich kleiner und kompakter, es sind nur wenige fädige und offene Strukturen erkennbar.

In weitergehenden Untersuchungen wurde der Schlamm vor und nach der mechanischen Behandlung in Sedimentationsgefäße gegeben und die Nitrifiziereraktivität bzw. Nitratbildung in vier verschiedenen Horizonten ermittelt. Es konnte gezeigt werden, dass durch die mechanische Behandlung des Schlammes Sedimentationshorizonte entstehen, die stark unterschiedliche Nitrifiziereraktivitäten besitzen. **Abbildung 1** zeigt, dass bei drei voneinander unabhängig durchgeführten Versuchen Horizont 3 nach der Schlammbehandlung eine wesentlich höhere Nitrifiziererleistung aufweist als vor der Schlammbehandlung. Bezogen auf die C-Mineralisiererleistung zeigen bisherige Ergebnisse, dass diese über alle Horizonte weitgehend konstant bleibt.

Die reproduzierbar gefundene höhere Nitrifiziererleistung in ausgesuchten Schlammhorizonten ließ sich anhand von mikroskopischen Analysen durch eine höhere Konzentration von nitrifizierenden Mikroorganismen im Flockenkern, der infolge der Behandlung durch „Abschälen“ der außenliegenden heterotrophen, C-mineralisierenden Mikroorganismen bloßgelegt wird und in der Folge einheitlich sedimentiert, erklären.

Die Ergebnisse der Voruntersuchungen korrespondieren darüber hinaus mit den Ergebnissen des Max-Planck-Institutes für Ernährungsphysiologie in Dortmund aus dem

[1] „Vorversuche zur Verbesserung des Verhältnisses von stickstoffverarbeitenden zu kohlenstoffverarbeitenden Mikroorganismen im Rücklaufschlamm“, BMBF-Förderkennzeichen 02-WS9380/0

Jahre 1990, bei denen festgestellt wurde, dass die C-Mineralisierer sich im wesentlichen in den äußeren Bereichen der Flocke befinden, während die N-Mineralisierer im inneren kompakteren Kern der Flocke aufhalten.

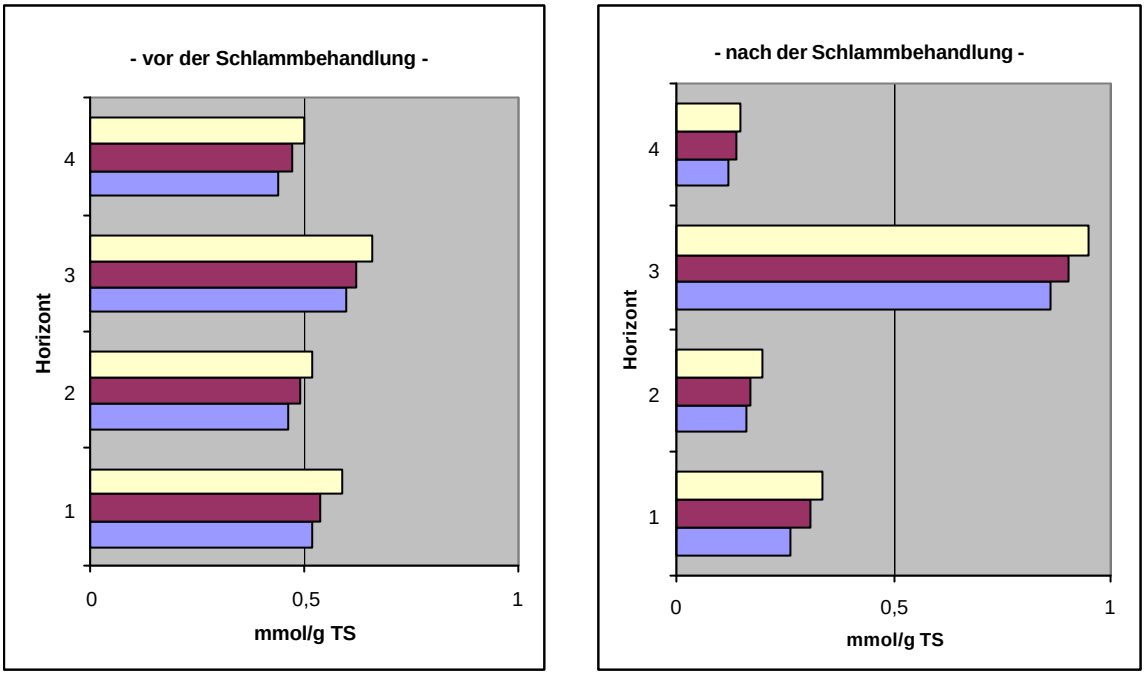


Abbildung 1: **Nitratbildung (mmol/gTS) in unterschiedlichen Horizonten von sedimentiertem Klärschlamm bei 3 unabhängig voneinander durchgeführten Messungen**

3. HALBTECHNISCHE VERSUCHSANLAGE

Auf Basis der gewonnen Erkenntnisse der Voruntersuchungen wurde ein kontinuierliches Verfahren zur Steigerung der Leistungsfähigkeit des Klärprozesses umgesetzt, bei dem nach der mechanischen Behandlung und der anschließenden Sedimentation des Rücklaufschlammes eine gezielte Rückführung von Nitrifizierer-aktivem Schlamm bei gleichzeitiger Ausschleusung inaktiver und heterotropher Flockenbestanteile vorgenommen werden kann. Es wurde eine halbtechnische Versuchsanlage, bestehend aus einer Kläranlage sowie einer Anlage zur mechanischen Behandlung des Rücklaufschlammes konzipiert und aufgebaut (siehe Kap. 3.1 und 3.2).

Als Standort der Versuchsanlage wurde die Kläranlage Witten-Herbede, die vom Ruhrverband betrieben wird und sich räumlich in günstiger Entfernung vom Institut befindet, gewählt.

Abbildung 2: Mobile, halbtechnische Versuchsanlage am Standort der Kläranlage Witten-Herbede (Ruhrverband)

3.1 Versuchskläranlage

3.1.1 Anpassungs- und Umbaumaßnahmen

Die bestehende mobile Versuchskläranlage ist ein Kleinklärwerk, welches in einem fahrbaren Bauwagen (6,25m x 2,50m x 2,25m) integriert ist. Nach der Installation am Standort in Witten-Herbede wurde in einem ersten Schritt die Versuchskläranlage für einen reibungslosen Ablauf der geplanten Untersuchungen derart umgebaut und

optimiert, dass die Anlage entsprechend den Anforderungen an das Projekt betriebssicher und wartungsarm betrieben werden kann.

Im einzelnen wurden dabei folgende Umbauten bzw. Erweiterungen getätigt:

- Installation einer leistungsfähigen Schlauchpumpe mit Schutzkorb zur Entnahme des Rohabwassers aus dem Zulaufkanal der Kläranlage
- Erweiterung der hydraulischen Verbindungsleitungen zwischen den einzelnen Becken der Anlage, um wechselnde Verfahrenszustände bzw. Verschaltungen der Becken untereinander ohne aufwendigen späteren Umbau realisieren zu können (siehe **Anhang 1**)
- Einrichten von zwei parallelen Reinigungsstraßen, bestehend aus je einem Belebungsbecken und einem Nachklärbecken, als Haupt- und Referenzprozess
- Vergrößerung der Nennweiten der Beckenverbindungs- und Notüberlaufleitungen zur Vermeidung von Verstopfung/Zusetzen den Rohrquerschnitte
- Einbau von trockenlaufgeschützten, frequenzgesteuerten Exzenterschneckenpumpen zur Förderung des Rohabwassers bzw. des Rücklaufschlammes
- Konstruktion und Montage einer Räumereinrichtung im Nachklärbecken zur Vermeidung von Schlammaufschichtung auf der nur flach geneigten Sohle
- Austausch der Tellerbelüfter gegen Membranbelüfter zum Verbesserung des Sauerstoffeintrages in den Belebungsbecken
- Erneuerung bzw. Ersatz der teilweise defekten SPS durch die Installation von Handregelern für die Frequenzumrichter zur Pumpenregelung und durch das Einrichten einer flexiblen Sauerstoffregelung mit Sauerstoffsensoren
- Einrichten eines neuen Messdatenerfassungssystem über Datenspeicher und PC (siehe **Anhang 2**); Messparameter: Sauerstoff, Temperatur, pH-Wert (zeitweilig auch 4-Kanal-Online-Meßgerät - IXO 510 der Fa- SECOMAM - für die Parameter CSB, BSB, NO_3-N, TS und TOC)

3.1.2 Anlagenaufbau

Für die Aufgabe, die Ergebnisse der Schlammbehandlung sicher und reproduzierbar dokumentieren und verifizieren zu können, wurden in der halbtechnischen Versuchskläranlage zwei parallele Reinigungsstraßen (Hauptprozess mit angeschlossener Schlammbehandlung und ein unbeeinflusst betriebener Referenzprozess) eingerichtet. Beide Prozesse können betriebstechnisch so aufeinander abgestimmt werden, dass sie nicht nur theoretisch sondern auch real die gleichen Verhaltensweisen bzw. Reinigungsleistungen besitzen. Abweichungen am Hauptprozess, die sich anschließend

infolge der Behandlung des Rücklaufschlammes ergeben, können damit schnell und sicher dokumentiert und verfolgt werden.

Nach erfolgter Umrüstung stellt sich der Aufbau der Versuchkläranlage wie folgt dar:

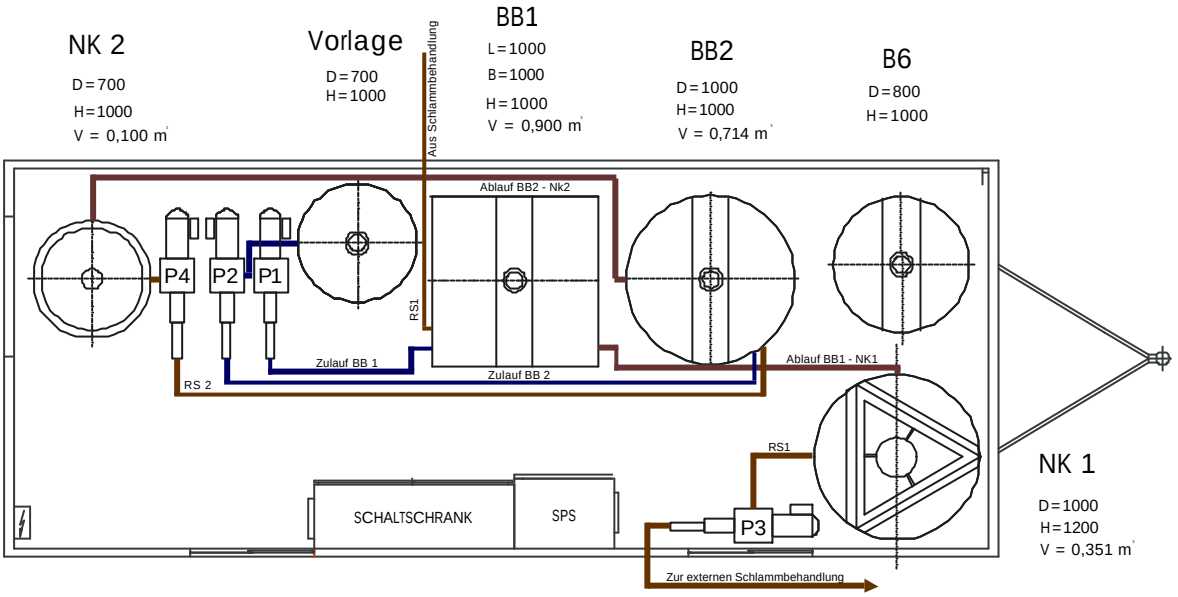


Abbildung 3: Aufbau der Versuchskläranlage

Zulaufbereich

Aus dem Zulaufkanal der Kläranlage Witten-Herbede wird mit einer Schlauchpumpe (Typ: Alfa Laval IP200) mit einem konstanten Volumenstrom von 300 bis 400 l/h ein Abwasser-Teilstrom entnommen. Um dabei eine Beschickung der Versuchsanlage mit gröberen Feststoffen zu vermeiden, ist am Entnahmeschlauch ein Schutzkorb mit einem Lochdurchmesser von 5,4 mm angeordnet.

Der Abwasser-Teilstrom wird in einen Vorlagebehälter mit einem Volumen von ca. 80 l eingeleitet, welcher optional als Vorklärung ausgebaut werden kann (siehe **Abb. 4**). Dieser Vorlagebehälter, der zur Homogenisierung des zulaufenden Abwassers mit einem Rührwerk ausgestattet ist, übernimmt die Funktion eines Pufferbeckens, in dem kurzzeitige Belastungsschwankungen abgefangen werden können.

Aus dem Vorlagebehälter werden durch zwei frequenzgesteuerte, trockenlaufgeschützte Exzenterschneckenpumpen (Typ: Seepex, Baureihe 00 – 12 MD) genau definierte

Volumenströme abgepumpt und den zwei nachfolgend angeordneten Reinigungssträngen (Haupt- und Referenzprozess) zugeleitet. Die von den Exzenterschneckenpumpen geförderten Volumenströme können, je nach Anforderungen, in die verschiedenen installierten Becken geleitet werden. Die Zuleitungen in die Belebungsbecken sind mit einer speziellen Einlaufarmatur versehen, um eine Vermischung des Rohabwassers mit dem Rücklaufschlamm zu ermöglichen.

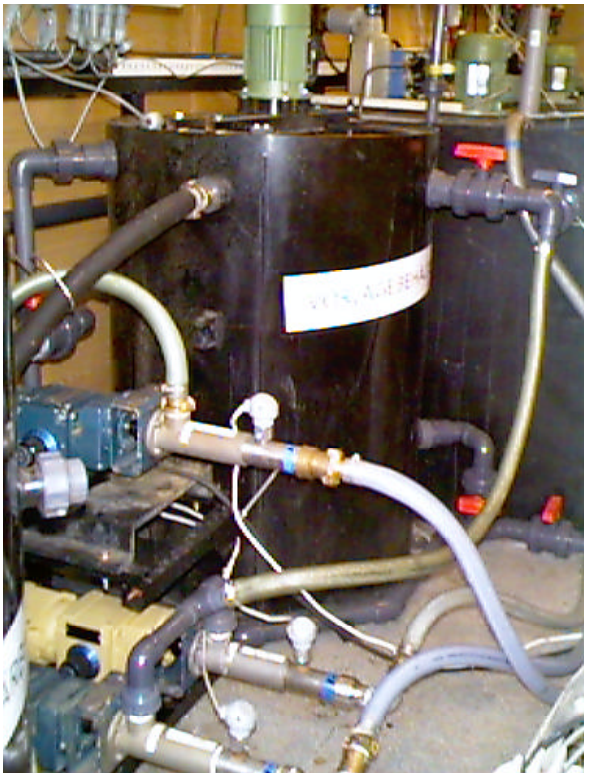


Abbildung 4: Vorlagebehälter mit Exzenterschneckenpumpen (links unten) zur Beschickung der Belebungsbecken

Belebungsbecken

Die Belebungsbecken für Haupt- und Referenzprozess (siehe **Abb. 5**) haben unterschiedliche Volumina. So beträgt das nutzbare Füllvolumen beim Belebungsbecken des Hauptprozesses ca. 0,9 m³ (BB1) und beim Belebungsbecken des Referenzprozess ca. 0,7 m³. Die jeweiligen Zulauf-Volumenströme wurden so gewählt, dass sie dem Verhältnis der Belebungsbecken-Voluminas entsprechen. Dadurch wurde gewährleistet, dass die hydraulischen Belastungen und die Zulaufffracht beider Reinigungsstraßen, bezogen auf die Beckenvoluminas, gleich ist.

Alle Becken der Anlage besitzen zur Vermeidung von Anlagenüberflutungen Notüberläufe sowie zur vollständigen Entleerung Grundablässe, welche in einer gemeinsamen Ablaufleitung zusammen aus der Anlage in die Zentralkläranlage abgeführt werden.

Zur Umwälzung des Beckeninhaltes und zur Verhinderung von Absetzvorgängen des Belebtschlammes in unbelüfteten Phasen sind die Belebungsbecken je mit einem zentral angeordneten Rührwerk, bestehend aus einem Antriebsmotor oberhalb der Wasserlinie sowie einer direkt angeschlossenen Edelstahlachse mit einem dreiflügligem Rührwerkspropeller, ausgestattet (siehe **Abb. 6**).

Abbildung 5: Anordnung der Belebungsbecken in der halbtechnischen Versuchskläranlage

Die Sauerstoffzufuhr der Belebungsbecken erfolgt durch außen aufgestellte Druckluftkompressoren mit Druckminderventilen (maximale Leistung jeweils 400 l/min) über Membranschlauchbelüfter Typ: OXYFLEX MS70 (siehe **Abb. 6**). Der Volumenstrom zu den Membranschlauchbelüftern kann über Durchflussmessgräte

kontrolliert und über Kugelhähne eingestellt werden (siehe **Abb. 6**). Elektromechanische Magnetventile, die als Öffner geschaltet sind, können von einer Sauerstoffregeleinheit in abhängig von den in den Belebungsbecken gemessenen Sauerstoffkonzentrationen über eine Relaisschaltung unstetig geschaltet werden. Die Magnetventile können optional mit Verzögerungsrelais oder Timersteuerungen in Verbindung mit einer Sauerstoffregelung geschaltet werden.

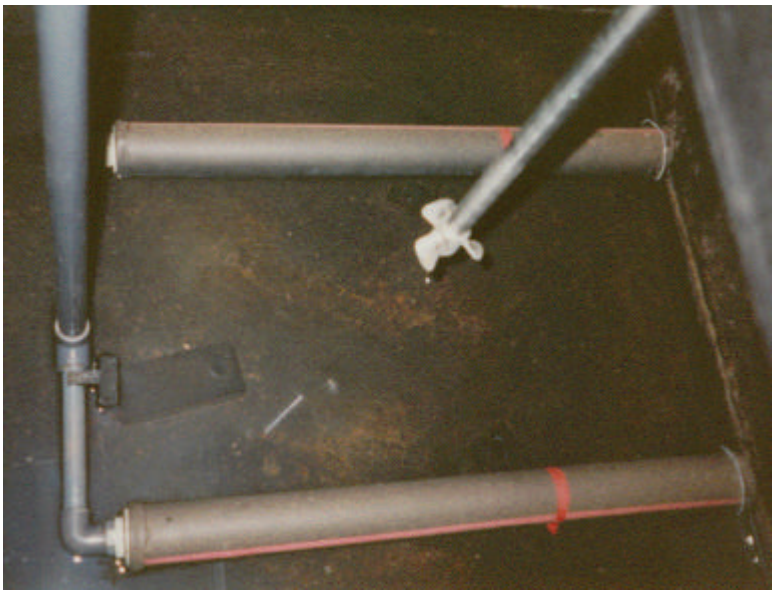


Abbildung 6: **Anlagenkomponenten zur Belüftung der Belebungsbecken (links: Magnetventil, Kugelhahn und Durchflussmesser; rechts: Membran-Schlauchbelüfter und Rührwerk im Belebungsbecken)**

Der Abzug des Überschussschlammes erfolgt aus den Belebungsbecken mit Hilfe einer Zwei-Kanal-Schlauchpumpe. Die Einstellung der erforderlichen Abzugsmenge erfolgt in Abhängigkeit vom vorhandenen Trockensubstanzgehalt über die Drehzahl und die Laufzeit der Pumpe.

Nachklärbecken

Aus den Belebungsbecken fließt der Belebtschlamm im freien Gefälle in die angeschlossenen Nachklärbecken. Die Nachklärbecken unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Größe und ihrer Ausstattung. So hat Nachklärbecken 1 einen Durchmesser von 1,2 m und verfügt über einen Schildräumer mit einer Umdrehungszahl von 1/6 min auf der leicht trichterförmig angelegten Sohle des Beckens und eine justierbare Klarwasserabzugsrinne. Nachklärbecken 2 hat eine Durchmesser von 0,7 m und ist als

Trichterbecken ausgeführt. Der Ablauf des gereinigten Wassers erfolgt hier über eine fest montierte, kreisförmig am Beckenumfang angeordnete Dreiecks-Überfallkante. Das ablaufende gereinigte Wasser beider Nachklärbecken wird zentral über eine Ablaufleitung aus der Anlage herausgeführt.

Der sedimentierte Schlamm wird von frequenzgesteuerten, trockenlaufgeschützten Exzenterschneckenpumpen (Typ: Seepex, Baureihe BN 025 – 12 bzw. Seepex, Baureihe 00 – 12 MD) als Rücklaufschlammpumpen den Nachklärbecken entnommen und der Schlammbehandlung (Hauptprozess) bzw. Belebungsbecken 2 (Referenzprozess) zugeführt.

3.1.3 Messdatenerfassung

Zur Feststellung der Betriebsparameter und für Regelzwecke sind Online-Messungen, bestehend aus Sonden mit den dazugehörigem Auswertegeräten (Typ: WTW), für beide parallel betriebene Reinigungsstraßen der Versuchskläranlage eingerichtet und kalibriert. Es werden folgende Messdaten online erfasst:

- O_2-Konzentration in Belebungsbecken 1 und 2
- Temperatur in Belebungsbecken 1 und 2
- pH-Wert im Belebungsbecken 1
- CSB, BSB, NO_3-N, TS-TOC im Zulauf zu beiden Reinigungsstraßen (zeitweilig)
- CSB, BSB, NO_3-N, TS-TOC im Ablauf von Haupt- und Referenzprozess (zeitweilig)

Die Daten werden kontinuierlich in einem Datenspeicher (Datalogger) abgelegt und sequentiell auf den eigens für die Versuchskläranlage eingerichteten Computer übertragen (siehe **Abb. 7** und **Anhang 2**). Über eine Vernetzung dieses Computers mit dem Computer der Schlammbehandlungsanlage ist sowohl eine Fernabfrage als auch ein Datenaustausch über Datenfernübertragung möglich.

Für die Betriebskontrolle und -optimierung werden in regelmäßigen Zeitabständen Schöpfproben aus den Anlagenbereichen Zu- und Ablauf, Belebungsbecken, Rücklauf entnommen und im Labor auf die Parameter TS, BSB_5, CSB, NH_4-N, NO_3-N, NO_2-N, $N_{ges.}$, PO_4-P, $P_{ges.}$ analysiert.

Entnahmen von Proben zur Ermittlung von Tagesganglinien (2-Stunden-Mischproben) erfolgen mit Hilfe von 2 mobilen, automatischen Probenehmern.

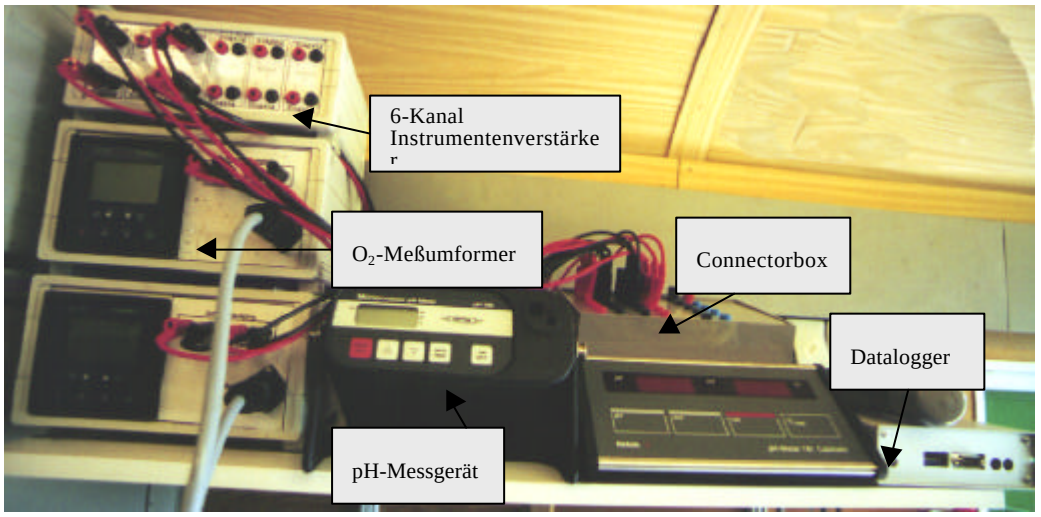


Abbildung 7: Messdatenerfassung

3.1.4 Betriebsparameter

Für alle Pumpen wurden Pumpenkennlinien durch Auslitern der Volumenströme ermittelt. Unter Verwendung der so ermittelten Pumpenkennlinien wurden folgende Volumenströme eingestellt:

- Rohabwasser aus Kläranlage: 350 l/h
- Zulauf:
  - Hauptprozess (BB1): 72 l/h
  - Referenzprozess (BB2): 60 l/h
- Rücklaufschlamm:
  - Hauptprozess (BB1): 105 l/h
  - Referenzprozess (BB2): 72 l/h

Um simultane Denitrifikationsvorgänge in den Belebungsbecken zu realisieren, wurden in beiden Belebungsbecken (gleiche) Sauerstoff-Sollwerte zwischen 0,3 und 0,5 mg/l mit variierenden Hystereseeinstellungen zwischen 0,1 und 0,3 mg/l eingestellt.

Die Trockensubstanz in den Belebungsbecken wurde mit Hilfe der Überschussschlammpumpe auf ca. 3,5 g/l konstant gehalten.

3.2 Schlammbehandlungsanlage

3.2.1 Anlagenaufbau

Es wurde eine halbtechnische Schlammbehandlungsanlage, bestehend aus einem Separator, einem Sedimentationstrennkanal und Online-Analytik zur Bestimmung von Nitrifizierer- und C-Mineralisiererleistung mittels Parallelfermetersystemen erstellt (siehe **Abb. 8**) und mit der Versuchkläranlage so gekoppelt, dass der Rücklaufschlamm des Hauptprozesses modifiziert werden kann. Aus Abbildung 8 sind die vorgesehenen Flußraten zu entnehmen.

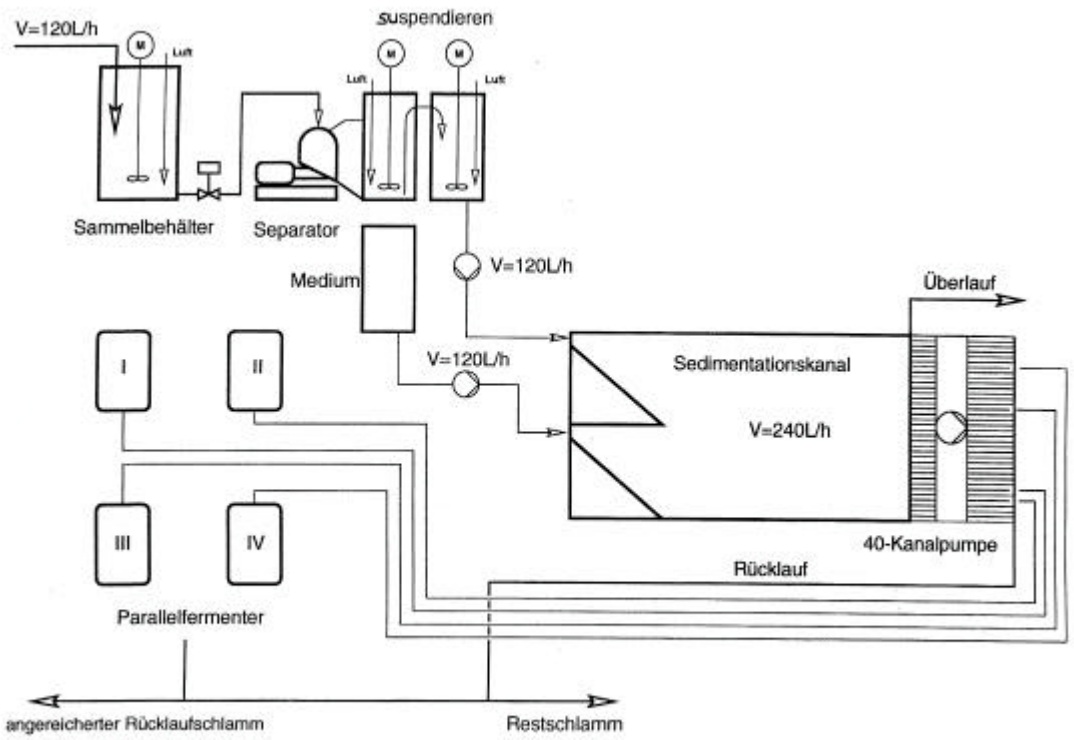


Abbildung 8: Schematischer Aufbau der halbtechnischen Schlammbehandlungsanlage (siehe auch Anhang 5)

Die Steuerung der gesamten Versuchsanlage für die Schlammbehandlung erfolgt mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) und ermöglicht einen weitestgehenden vollautomatischen (Versuchs)Betrieb. **Anhang 6** beschreibt die einzelnen Komponenten der Steuerung sowie deren Implementierung.

Sammelbehälter

Aus dem Hauptprozess der Modellkläranlage wird der Rücklaufschlamm mit einer Exzenter-Schneckenpumpe (Typ: Seepex, Baureihe BN 025 – 12) zur hydraulischen Entkoppelung vorerst in einen Sammelbehälter vor der Schlammaufbereitung gefördert. Dieser Behälter besitzt ein Nutzvolumen von ca. 30 Litern und wird zur Vermeidung von Absetzvorgängen mit einen Rührer durchmischt.

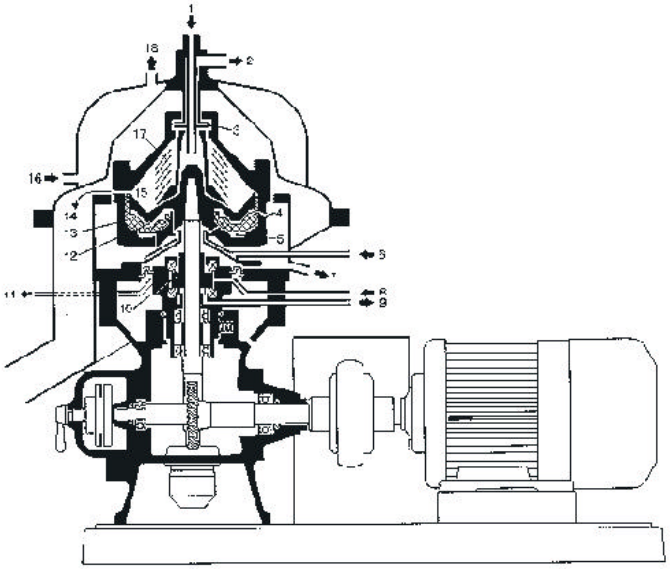
Der nachgeschaltete Separator aus diesem Behälter wird mittels einer Peristaltikpumpe (Typ: Watson Marlow) beschickt. Der abgezogene Volumenstrom ist geringfügig niedriger als der Rücklaufvolumenstrom der Versuchskläranlage, so dass immer ausreichend Schlamm für die mechanische Behandlung im Separator zur Verfügung steht. Der „überzählige“, nicht behandelte Rücklaufschlamm wird automatisch über einen Überlauf in den Ablaufsammler und von dort wieder in den Hauptprozess der Versuchskläranlage gefördert. Ebenso gelangt der gesamte Rücklaufschlamm im Falle der Außerbetriebnahme der Schlammbehandlung wieder zurück zur Versuchskläranlage.

Separator

Im Separator (Typ: Westfalia Separator, siehe **Abb. 9**) findet die mechanische Behandlung des Schlammes statt. Dabei trennt der Separator den Schlamm in eine flüssige und eine feste Phase. Die flüssige Phase gelangt semikontinuierlich in einen nachgeschalteten Behälter. Ebenso wird die abgetrennte Feststoffphase des Rücklaufschlammes diskontinuierlich in diesen Behälter entleert. Das Zeitintervall, der Zulaufvolumenstrom sowie der im Separator vorherrschende und einstellbare Druck können verändert werden und beeinflussen somit den Separationsprozess bzw. den mechanischen Beanspruchungsgrad der Schlammflocken.

Resuspendierungsbehälter

Im nachgeschalteten Reususpendierungsbehälter werden die beiden durch die Separation entstandenen Phasen wieder vereinigt und durchmischt. Das Nutzvolumen des Resuspendierungsbehälters beträt ca. 10 Liter. Eine Peristaltikpumpe (Typ: Watson Marlow) fördert den Schlamm anschließend kontinuierlich in den oberen, überschichtenden Einlast des dynamischen Sedimentationskanals.



1 Zulauf	10 Gleitringdichtung
2 Ablauf	11 Sperrwasser Ablauf
3 Greifer	12 Öffnungskammer
4 Ablaufbohrung	13 Kolbenschieber
5 Schließkammer	14 Feststoff Austrittsspalt
6 Steuerwasser Zulauf	15 Feststoffraum
7 Steuerwasser Ablauf	16 Kühlflüssigkeit Zulauf
8 Sperrwasser Zulauf	17 Tellerpaket
9 Leckage Ablauf	18 Kühlflüssigkeit Ablauf

Abbildung 9: Funktions- und Konstruktionsmerkmale des Separators

Sedimentationskanal

Im dynamischen Sedimentationskanal (siehe **Abb. 10**) wird durch geeignetes Einpumpen des Reususpendates und eines unterschichtenden Wassermediums sowie Absaugen am Ende des Kanals mit einer Mehrkanalpumpe ein laminarer Fluss erzeugt. Beim Durchwandern des Sedimentationskanals sedimentiert der behandelte und resuspendierte Rücklaufschlamm durch das Trennmedium. Am Ende des Sedimentationskanals bilden sich, je nach Dichte und Form bzw. Größe der reususpendierten Rücklaufschlammflocken mehr oder weniger scharfe Horizonte aus. Am Ausgang des Sedimentationskanals wird mit einer 40/20-kanaligen Peristaltikpumpe (Typ: Watson Marlow) ein über die Höhe gleichmäßig verteilter Volumenstrom aus dem Kanal in einen Ablaufsammler gefördert.

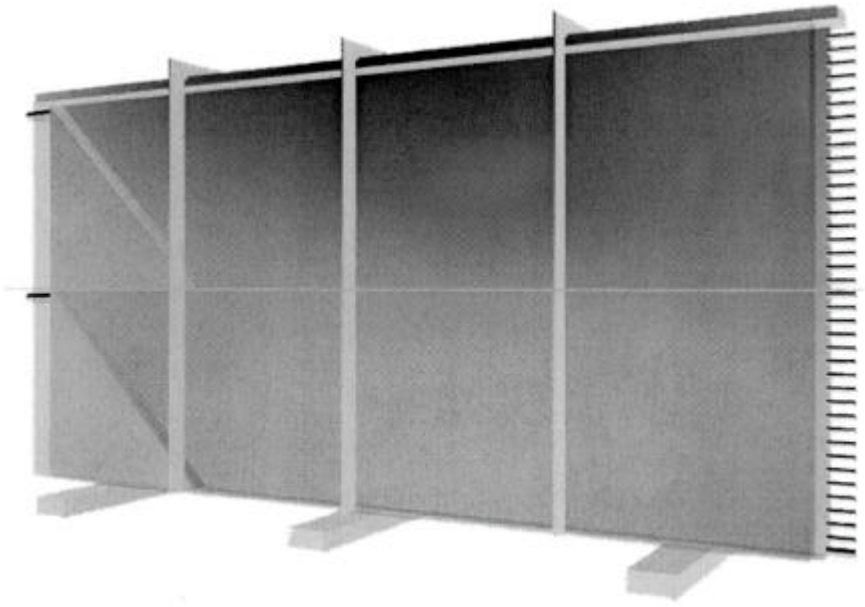


Abbildung 10: Modell des Sedimentationskanals (2000 x 1000 x 100 mm)

Ablaufbehälter

Eine Exzenter-Schneckenpumpe (Typ: Seepex, Baureihe 00 – 12 MD) fördert den behandelten Rücklaufschlamm in Abhängigkeit vom Füllstand des Ablaufsammlers zurück in das Belebungsbecken des Hauptprozesses der Versuchskläranlage. Das Nutzvolumen des Ablaufsammlers beträgt ca. 20 Liter.

3.2.2 Vierfachfermenter

Die Leistungsfähigkeit der einzelnen Horizonte sowie des Rücklaufschlammes kann in den Vierfachfermentern getestet werden ohne den eigentlichen Klärprozess zu beeinflussen.

Für die Fermenter bestehen drei Beschickungsvarianten:

- Die Fermenter werden unmittelbar mit Schlamm aus dem Sedimentationskanal befüllt.
- Die Fermenter werden mit Schlamm aus der Schlammvorlage befüllt.
- Die Fermenter werden mit Schlamm aus der Reususpendierung befüllt.

Die Befüllung der Messfermenter sowie die Entleerung nach einem Experiment werden ebenso durch geeignetes Umschalten von Magnetventilen automatisch gesteuert, wie der Spülprozess zwischen den Experimenten.

Zur Beurteilung der Nitrifiziererleistung, wird der zu fermentierende Probe, nach einer Stabilisierungsphase manuell oder automatisch ein bestimmtes Volumen einer genauen Konzentration von entweder Glukose- oder Ammoniumionen zugesetzt. Die in den Fermentern befindlichen Sensoren, pH, PO_2, Nitrat, Nitrit und Ammonium ändern ihr Verhalten je nach Konzentration der zu messenden Ionen. Die Messwerte der Ionen-selektiven Elektroden werden an ein Ionenmeter weitergeleitet, welches die anliegenden Spannungen digitalisiert und über eine RS232-Schnittstelle an den Messwerterfassungsrechner übertragen. Die Messwerte des Sauerstoffgehalts sowie des pH-Wertes werden an das BraunBiotech DCU-System weitergeleitet. Das DCU-System besteht aus acht Reglern, welche in Abhängigkeit der Ionenkonzentrationen Luft, HCl oder NaOH in den entsprechenden Messfermenter fördern. Die Daten über die Menge und die Dauer der Regelvorgänge werden ebenso per RS232-Schnittstelle an den Messwerterfassungsrechner übertragen, wie die eigentlichen Messwerte.

Die Fermentation kann grundsätzlich kontinuierlich oder diskontinuierlich erfolgen. Durch den Parallelbetrieb der vier Messfermenter mit gleichen Parametersätzen und experimentellen zeitlichen Verläufen kann die Reproduzierbarkeit und Messgenauigkeit für die jeweilige Fragestellung ermittelt werden. Für die Parametersätze die nicht über ionenselektive Sensoren kontinuierlich gemessen werden können, werden über ein externes diskontinuierliches Probenahmesystem Aliquots aus den Fermentertionsprozessen genommen, die dann anschließend im Labor analysiert werden. Mit Hilfe des so aufgebauten Vierfermentermesssystems ist es möglich, sowohl statische als auch dynamische Fragen an das biologische System im Klärprozess zu stellen. Über gezielte experimentelle Differenzierung simd sogar Aussagen über verschiedene Subbiozönosen möglich.

Der getrennte Einsatz von Glukose bzw. Harnsäure dient dazu, die Leistungsfähigkeit glukoseveratmender Teilbiozönose von den Nitrifiziern getrennt analysieren zu können. Die dynamischen Veränderungen der Glukosekonzentration bzw. Ammoniumkonzentration über die Glukose- bzw. Nitrat- und Nitritsensorik ermöglicht es uns damit die Leistungsfähigkeit der Nitrifiziererbiozönose von der der Kohlenstoffeliminierern zu trennen. Die externe Mikroskopanalytik der jeweiligen Zustände in den Parallelfermentern gibt dann Aufschluss über die biologischen Veränderungen in den einzelnen Biozönosen.

4. ERGEBNISSE

4.1 Versuchskläranlage

Die Auswertung der gemessenen Zu- und Ablaufparameter ergibt, dass sowohl Haupt- als auch Referenzprozess bei variierenden Zulaufbedingungen langzeitstabil sicher betrieben werden können. In den nachfolgenden Abbildungen wird gezeigt, dass trotz schwankender Zulauffrachten die Reinigungsleistung bezogen auf CSB, BSB und Stickstoff nahezu konstant bleibt.

Projekt: **ZULAUFDATEN DER HALBTECHNISCHEN VERSUCHSANLAGE**
Art: 2 Std. -Mischprobe über 24 Stunden
Datum: Probenahme 27.03.98
Probenahmeort: Ablauf des Pufferbehälters

Zeit			gemessene Werte							errechnete Werte			gemessen
Probe	Zeitinterval	Zeit	TS0	CSBges.	BSB5	NO2-N	NO3-N	NH4-N	Nges.	N org	TKN	Salk	Pges.
[Nr]	[Uhr]	[Uhr]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mmol/l]	[mg/l]
1	00:00-02:00	01:00	107	248	100	0,167	0,00	19,0	25,0	5,8	24,8	4,2	4,20
2	02:00-04:00	03:00	20	230	80	0,188	0,00	17,3	22,8	5,3	22,6	4,1	3,40
3	04:00-06:00	05:00	27	260	70	0,174	0,80	13,4	19,5	5,1	18,5	3,8	2,40
4	06:00-08:00	07:00	45	240	70	0,208	1,00	13,6	19,8	5,0	18,6	3,8	2,30
5	08:00-10:00	09:00	52	400	120	0,328	1,40	26,1	37,8	10,0	36,1	4,7	4,80
6	10:00-12:00	11:00	122	460	160	0,412	1,60	27,2	38,7	9,4	36,7	4,8	6,20
7	12:00-14:00	13:00	119	536	190	0,340	1,20	25,6	35,4	8,3	33,9	4,6	6,00
8	14:00-16:00	15:00	106	388	170	0,264	1,60	20,8	28,2	5,6	26,3	4,3	5,00
9	16:00-18:00	17:00	155	280	100	0,201	0,00	20,0	24,6	4,4	24,4	4,2	4,10
10	18:00-20:00	19:00	86	204	100	0,183	0,00	19,1	27,0	7,7	26,8	4,2	4,20
11	20:00-22:00	21:00	93	210	90	0,158	0,00	19,3	26,0	6,6	25,8	4,2	4,20
12	22:00-24:00	23:00	110	176	90	0,155	0,00	18,8	26,0	7,0	25,8	4,2	4,20
		Mittelwert:	87	303	112	0,23	0,63	20,02	27,57	6,69	26,70	4,25	4,25
		85% -Perzentil:	120	421	164	0,33	1,47	25,76	36,24	8,70	34,63	4,66	5,35

Tabelle 1: Zulaufdaten der halbtechnischen Versuchskläranlage (27.03.1998)

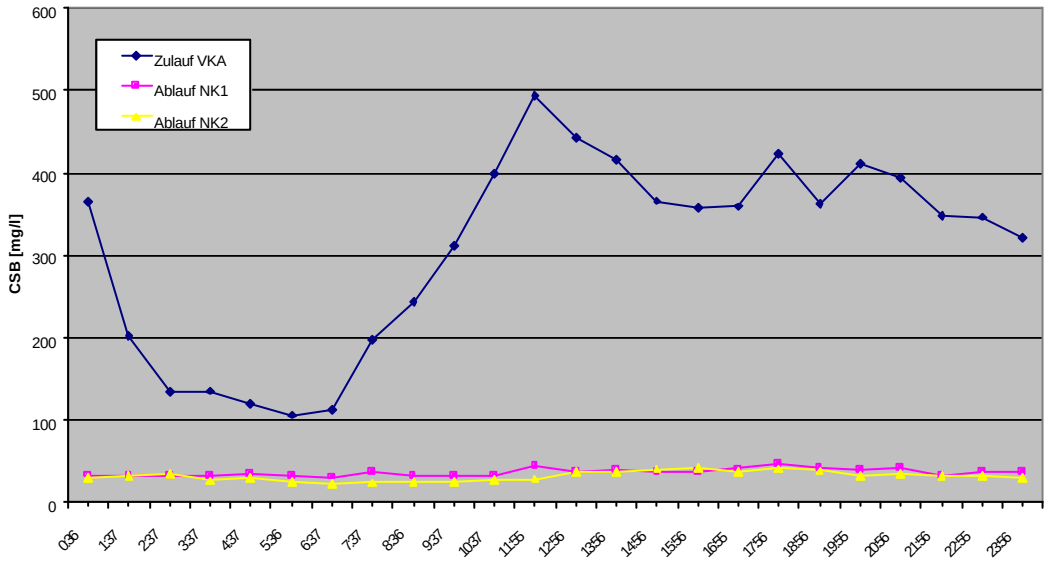


Abbildung 11: Tagesganglinien CSB [mg/l]

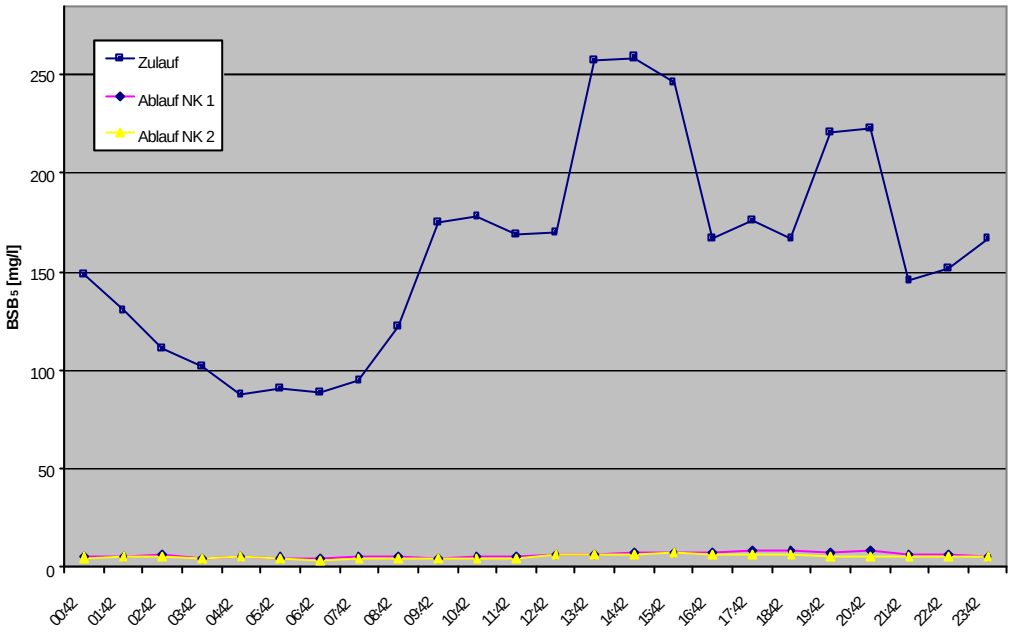


Abbildung 12: Tagesganglinien BSB_5 [mg/l]

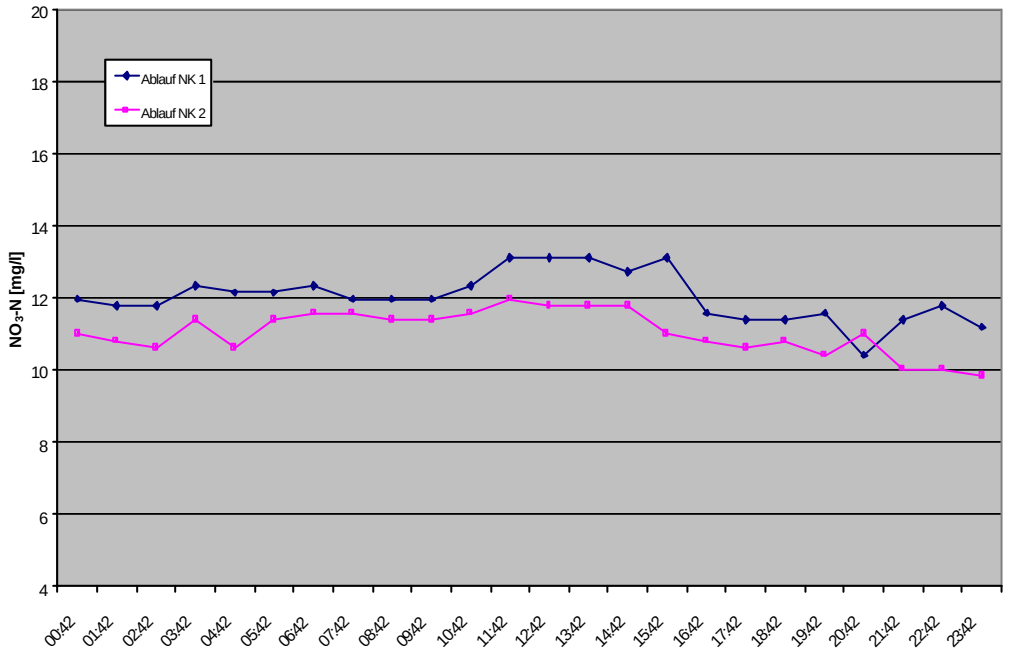


Abbildung 13: Tagesganglinien Nitrat [mg/l] im Ablauf

Es ergeben sich Ablaufkonzentrationen für CSB von ca. 30 mg/l und für BSB_5 von ca. 6 mg/l. Die Ammoniumwerte liegen mit ca. 1 bis 2 mg/l sehr niedrig, die

Nitratkonzentrationen variieren recht stark zwischen 6 und 12 mg/l. Es findet eine nahezu vollständige Nitrifikation und eine partielle Denitrifikation statt.

Die über den Tag verteilten charakteristischen Tagesschwankungen ergeben entsprechend unterschiedliche Werte für den Sauerstoffbedarf der Biozönose in den Belebungsbecken. So ist der Sauerstoffbedarf bei schwacher Anlagenbelastung (vornehmlich in den Nachtstunden) sehr gering, während etwa ab 10 Uhr bis gegen 20 Uhr bei starker Belastung ein hoher Sauerstoffbedarf vorliegt. Diese Abhängigkeiten können durch eine Überlagerung der BSB-Konzentrationen mit den kontinuierlichen Aufzeichnungen der Sauerstoff-Messwerte sehr anschaulich dargestellt werden.

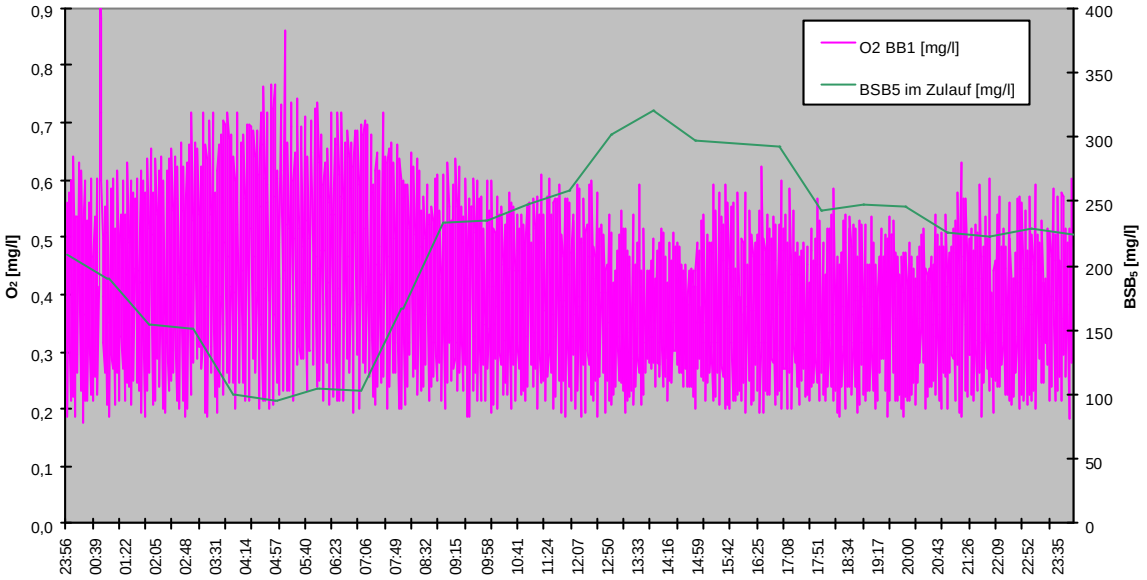


Abbildung 14: Tagesganglinie BSB_5 überlagert mit Sauerstoffganglinie

Da die Sauerstoff-Zufuhr über eine Zweipunktregelung gesteuert wird, schwankt die Sauerstoffkonzentration um einen Mittelwert. Die dabei auftretende Amplitude ist abhängig von der Differenz des oberen und unteren Schwellenwertes bzw. Hysterese-Wertes. Sinkt der Sauerstoffbedarf in den Belebungsbecken, so verlagert sich der Scheitelpunkt der Kurven nach oben. Bei steigender Belastung verkleinert sich die Amplitude wieder, da der eingetragene Sauerstoff schneller von den Mikroorganismen aufgezehrt wird.

Ein Vergleich der beiden dauerhaft aufgenommenen Sauerstoffganglinien beider Reinigungsstraßen (Haupt- und Referenzprozess) dokumentiert, dass beide

Reinigungsstraßen parallel zueinander mit gleicher Reinigungsleistung betrieben werden kann (siehe **Abb. 15**).

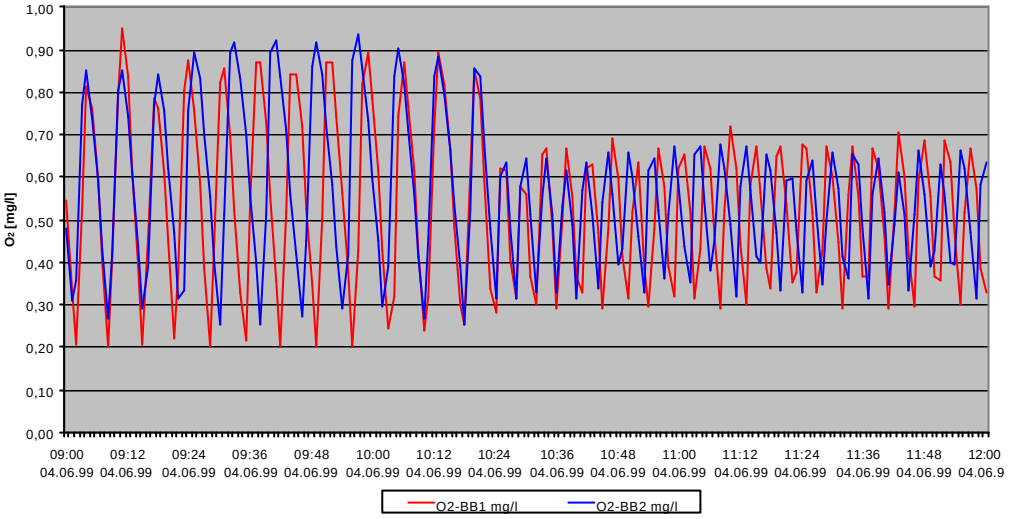


Abbildung 15: Sauerstoffganglinien von Haupt- und Referenzprozess (BB 1 und BB 2) bei Änderung der O_2-Regelung von 0,4 ± 0,1 mg/l auf 0,4 ± 0 mg/l

Durchgeführte dynamische Simulationen für die Versuchskläranlage (Diplomarbeit in Kooperation mit der FH-Bochum) mit Hilfe des Simulationsprogrammes SIMBA und begleitenden Bemessungen mit dem Hochschulgruppenansatz als statisches Bemessungsverfahren ermöglichen die Beschreibung des Klärprozesses und eine bessere Interpretation von Leistungsänderungen infolge der Schlammbehandlung. Durch die Simulationen konnte die mittels On- und Offline-Analytik ermittelte Leistungsfähigkeit der Versuchskläranlage bestätigt und Optimierungspotentiale ausgeschöpft werden (siehe **Anhang 4**).

4.2 Schlammbehandlungsanlage

Der benutzte Separator zur Schlammmodifikation ist in der Lage, die Schlammflocken dem erwünschten mechanischen Stress auszusetzen. Es hat sich gezeigt, dass durch die mechanische Modifikation mit Hilfe des Separators die Schlammflocke sowohl in ihrem Aussehen, als auch in ihrer Nitrifiziererleistungsfähigkeit deutlich verändert wird.

Die mikroskopischen Untersuchungen der Schlammflocken vor bzw. nach der mechanischen Stressbehandlung im Separator ergeben folgendes Bild:

- Die Schlammflocken im Zulauf sind oft unregelmäßig und etwa 80 bis 180 µm. Neben den Schlammflocken enthält die Probe viele Wimperntierchen ca. 20 bis 30 pro Gesichtsfeld, ebenso viele Glockentierchen, einige Nemathoden und Wechseltierchen. Daneben existieren auch freischwimmende Bakterien und Algen.
- Die Schlammflocken nach der Separation sind wesentlich kleiner und etwa 40 bis 80 µm groß. Diese sind kompakt und fast rundlich. Wimperntierchen sowie Glockentierchen und weitere höhere Organismen sind nicht mehr zu sehen. Bewegte Tiere oder Bakterien sind auch in dem Mikroskopbild nicht vorhanden (nach einem Auszug aus dem Mikroskopieprotokoll, März 1999).

Diese mikroskopischen Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Schlammflocke durch die mechanische Behandlung im wesentlichen homogenisiert und in verschiedenste Bestandteile zerlegt wird.

Mit Absetzversuchen im Standzylinder konnte ein unterschiedliches Absetzverhalten vor und nach Separation festgestellt werden, was auf eine Auftrennung der Schlammflockenstruktur schließen lässt (siehe **Abb. 16**).

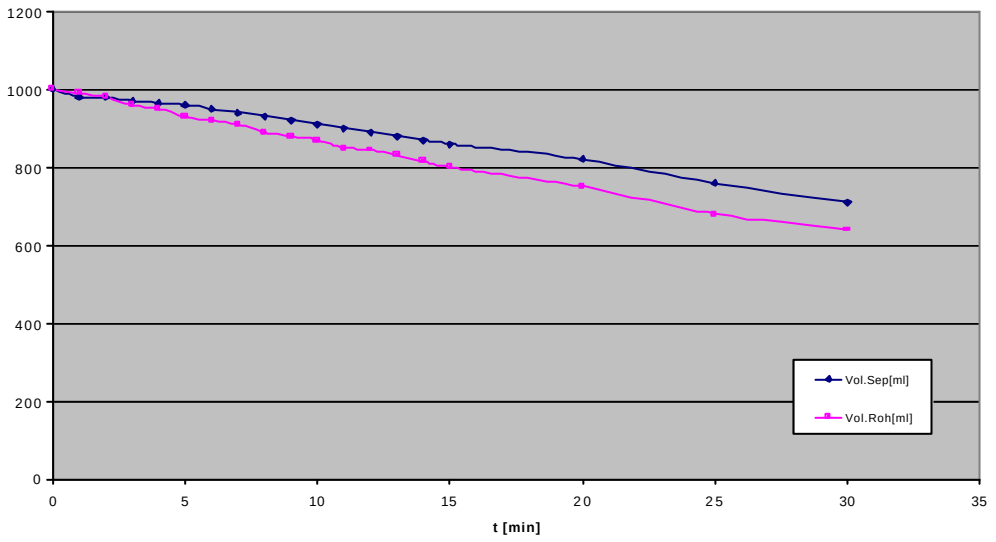


Abbildung 16: Absetzverhalten von Rücklaufschlamm vor (Roh) und nach (Sep) der Schlammbehandlung (TS: 6,8 g/l)

Einzeluntersuchungen zeigten, dass durch den mechanischen Stress im Separator die Schlammflocken des Rücklaufschlammes so aufgetrennt (Modifikation) werden können, dass sich in einer anschließenden passiven Sedimentationsstrecke eine Schichtung des Schlammes aufgrund der unterschiedlichen Dichte der einzelnen Flockenbestandteile ausbildet.

Der unterste Schlammhorizont besteht im wesentlichen aus schweren mineralischen inaktiven Bestandteilen und aggregierten Schlammflocken. Im mittleren Bereich befinden sich Flockenbestandteile, die nachweislich eine erhöhte Nitrifikationsleistung besitzen (siehe auch Kap. 2: Vorarbeiten). Im oberen Teil genauso wie im Flüssigkeitsüberstand finden sich im wesentlichen die äußeren Flockenbestandteile der ursprünglichen Schlammflocken des Rücklaufschlammes der Kläranlage. In diesem Bereich befinden sich im wesentlichen nur noch C-Mineralisierer, die Nitrifikation findet hier kaum statt.

Durch die Auftrennung der verschiedenen Schlammflockenbestandteile in die oben beschriebenen Horizonte ist es mit der erstellten Anlage nun möglich, gezielt die Bereiche mit hoher Nitrifiziererleistung in das Belebungsbecken der Versuchskläranlage zurückzuführen (Selektion). Inaktive Horizonte können verworfen werden, während Horizonte mit niedrigerer Nitrifiziererleistung in Abhängigkeit vom Gesamtschlammhaushalt ebenfalls in den Gesamtklärprozess zurückgeführt werden können.

Die Standzeit des Systems war jedoch nicht groß genug, um eine kontinuierliche Rücklaufschlammmodifikation mit anschließender Rückführung in die Versuchskläranlage durchzuführen. Zuverlässige Aussagen über Leistungsfähigkeitsänderungen in der Versuchskläranlage hinsichtlich der Nitrifikation waren somit nicht möglich. Nach wenigen Stunden kam es wiederholt zum Zusetzen des Separators, so dass ein kontinuierlicher Betrieb der Gesamtanlage (Schlammbehandlung und Versuchskläranlage) nicht aufrecht erhalten werden konnte.

Das Überlaufen des Separators infolge des Zusetzens führte wiederholt zur Auswaschung der Belebtschlammorganismen aus der Versuchskläranlage und somit zur vehementer Verminderung ihrer Leistungsfähigkeit. Dies wird anhand der Sauerstoffganglinien deutlich, die bei Verminderung der Organismenanzahl kaum noch einer Zehrung unterliegen (siehe **Anhang 7**).

Bisher konnten die Gründe für das plötzliche Zusetzen/Verstopfen des Separators nicht gefunden werden. Zusammen mit dem Hersteller Westfalia Separator AG wurde versucht, eine Lösung des Problems herbeizuführen. Die bisherigen Erfahrungen weisen

darauf hin, dass der vorhandene Separator modifiziert werden muss bzw. verschiedene Arten von Separatoren zur optimalen, betriebssicheren Schlammmodifikation erprobt werden müssen.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden Untersuchungen zur Entwicklung eines neuen Verfahrens durchgeführt, bei dem durch mechanische Modifikation und Selektion des Rücklaufschlammes von Belebtschlammsystemen eine Erhöhung der Nitrifiziererleistung im Klärprozess bei gleichbleibender oder niedrigerer Belebtschlammmenge bzw. Belebungsvolumen erzielt wird.

Aufbauend auf dem vorangegangenen BMBF-Projekt "Vorversuche zur Verbesserung des Verhältnisses von stickstoffverarbeitenden zu kohlenstoffverarbeitenden Mikroorganismen im Rücklaufschlamm" wurde eine halbtechnische Anlage, bestehend aus einer zweistraßigen Versuchskläranlage und einer Versuchsanlage zur mechanischen Behandlung des Rücklaufschlammes, konzipiert, gebaut und am Standort der Kläranlage Witten-Herbede (betrieben durch den Ruhrverband) installiert.

Für die Aufgabe, die Ergebnisse der Schlammbehandlung sicher und reproduzierbar dokumentieren und verifizieren zu können wurden in der halbtechnischen Versuchskläranlage zwei parallele Reinigungsstraßen (Hauptprozess mit angeschlossener Schlammbehandlung und ein unbeeinflusst betriebener Referenzprozess) eingerichtet. Die Auswertung der gemessenen Zu- und Ablaufparameter ergibt, dass sowohl Haupt- als auch Referenzprozess bei variierenden Zulaufbedingungen langzeitstabil sicher betrieben werden können.

Es wurde eine halbtechnische Schlammbehandlungsanlage, bestehend aus einem Separator, einem Sedimentationstrennkanal und Online-Analytik zur Bestimmung von Nitrifizierer- und C-Mineralisiererleistung mittels Parallelfermetersystemen erstellt (siehe **Abb. 8**) und mit der Versuchkläranlage so gekoppelt, dass der Rücklaufschlamm des Hauptprozesses modifiziert werden kann.

Der benutzte Separator zur Schlammmodifikation ist in der Lage, die Schlammflocken dem erwünschten mechanischen Stress auszusetzen. Mit Absetzversuchen im Standzylinder konnte ein unterschiedliches Absetzverhalten vor und nach Separation festgestellt werden, was auf eine Auftrennung der Schlammflockenstruktur schließen lässt. Die Schlammflocken werden sowohl in ihrem Aussehen, als auch in ihrer Nitrifiziererleistungsfähigkeit deutlich verändert. Die mikroskopischen Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Schlammflocke durch die mechanische Behandlung im wesentlichen homogenisiert und in verschiedenste Bestandteile zerlegt wird.

Die Standzeit des Systems ist jedoch nicht groß genug, um eine kontinuierliche Rücklaufschlammmodifikation durchzuführen, die zuverlässige Aussagen über Leistungsfähigkeitsänderungen der Versuchskläranlage hinsichtlich der Nitrifikation ermöglicht.

Nach Laufzeiten von wenigen Stunden kam es wiederholt zum Zusetzen des Separators, so dass ein kontinuierlicher Betrieb der Gesamtanlage (Schlammbehandlung und Versuchskläranlage) nicht aufrecht erhalten werden konnte. Bisher konnten die genauen Gründe für das plötzliche Zusetzen/Verstopfen des Separators nicht gefunden werden. Die bisherigen Erfahrungen weisen darauf hin, dass der vorhandene Separator modifiziert werden muss bzw. verschiedene Arten von Separatoren zur optimalen, betriebssicheren Schlammmodifikation ausprobiert werden sollten (siehe Kapitel 6: Ausblick).

6. AUSBLICK

Auf Basis der Ergebnisse der bisher durchgeführten Untersuchungen und weiteren Analogiebetrachtungen ist abzuleiten, dass mit dem Verfahren zur Schlammmodifikation eine Leistungssteigerung der Nitrifiziererleistung in Kläranlage möglich ist.

Für den erfolgreichen Abschluss der Technologieentwicklung sollten deshalb weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Maßgebliches Ziel der Untersuchungen sollte sein, aufbauend auf der erstellten Versuchsanlage und den bisher durchgeführten Untersuchungen, die Auswirkung mechanischer Modifikation und Selektion des Rücklaufschlammes auf die Reinigungsleistung der Versuchskläranlage zu untersuchen, um so die optimalen Verfahrens- und Betriebsbedingungen zur Steigerung der Nitrifiziererleistung zu ermitteln.

Über die Verbesserung der Nitrifiziererleistung im Klärprozess kann eine Reduktion der Beckengröße bzw. eine entsprechende Leistungsteigerung in bestehenden älteren Kläranlagen erzielt werden. Insbesondere kann aber auch durch die kontrolliertere Führung des Klärprozesses dieser besser auf die Einleitbedingungen angepasst werden. Wir erhoffen uns langfristig auch, dass eine Reduktion des TS-Gehaltes im Klärprozess durch diese Optimierung möglich wird. Alles in allem würden dadurch eine Kläranlage kleiner bzw. die in den Vorfluter ausgetragenen Stoffe geringer werden.

Für die Weiterentwicklung des Verfahrens sind folgende Schritte vorgesehen:

1. Erstellung einer betriebsfertigen Versuchsanlage
   - Erprobung der Parallelfermenter im Zusammenspiel mit der gesamten Anlagensteuerung
   - Versuche mit dem vorhandenen Separator unter Einsatz verschiedenster Kammereinsätze, Tellerpakete etc. in Zusammenarbeit mit der F&E-Abteilung der Fa. Westfalia Separator (Mit der personellen und technischen Unterstützung durch Westfalia Separator soll gewährleistet werden, dass nur technisch und wirtschaftlich sinnvolle Alternativen weiter verfolgt werden.)
   - Optimierung des Sedimentationtrennkanals im Hinblick auf laminare Strömungsverhältnisse bei variierenden Flussraten und Prozessparametern (wie Separatorsystem, Schlammgehalt, etc.)
2. Untersuchungen zur Schlamm-Modifikation mit verschiedenen Separatorkonstellationen
   - Untersuchungen am vorhandenen Separator und anderen Separator bzw. Dekantersystemen und verschiedenen Kammerkonstellationen
   - Ermittlung optimaler Betriebseinstellungen für die erforderliche mechanische Beanspruchung der Schlammflocken in einen kontinuierlichen Langzeitbetrieb
   - Experimente mit verschiedenen Kammerkonstellationen eines Separators im Dauerbetrieb

3. Ermittlung des Einflusses der Schlamm-Modifikation durch Separatoren bzw. Alternativsysteme und anschließender Selektion auf die Leistungsfähigkeit des Rücklaufschlammes/Versuchskläranlage
   - Versuche unter verschiedenen Schlammbedingungen bei wechselnden Belastungszuständen der Versuchskläranlage und verschiedenen Belebtschlammgehalten im Rücklaufschlamm.
   - Untersuchungen der Belebtschlamm-Struktur nach Separation und dessen Verhalten im Rücklaufschlamm und in der Versuchskläranlage (Absetzversuche, Mikroskopie)
   - Durchführung unterschiedlicher Experimente zur Selektion des separierten Rücklaufschlammes (gezielte Rückführung der nitrifiziereraktivsten Schlammhorizonte, gezielte Ausschleusung der dominanten heterotrophen Organismen (C-Mineralisierer), Ausschleusung inaktiver Organismenstrukturen, etc.)

4. Simulation der Versuchskläranlage
   - Bewertung und Interpretation der gewonnen Ergebnisse an der Versuchskläranlage mit Hilfe der dynamischen Simulation
   - Erarbeitung eines Models zur Beschreibung der Versuchskläranlage zur Beschreibung der Veränderung der Leistungsfähigkeit der Belebtschlammbiozönose infolge der Schlamm-Modifikation

5. Untersuchungen anderer Systeme zur Schlamm-Modifikation
   - Erprobung weiterer Systeme zur Schlamm-Modifikation auf ihre Einsatzfähigkeit (z.B. Pumpensysteme mit/ohne Schneidrad, Zentrifugen anderer Bauart)
   - Ermittlung der optimalen Betriebseinstellungen bei variierenden Flussraten und Prozessparametern (wie Separatorsystem, Schlammgehalt, etc.) im Hinblick auf einen Langzeitbetrieb der Anlage

6. Kosten/Energieanalyse
   - Übertragung des Verfahrens auf reale Kläranlagengrößen
   - Untersuchung der Wirtschaftlichkeit der Technologie wird im Hinblick auf mögliche Einsparungen bei Kläranlagenbauten bzw. Erweiterungen und bei sonstigen Einsatzmöglichkeiten

7. Großtechnische Demonstrationsanlage
   - Nach Abschluss der Untersuchungen im halbtechnischen Maßstab soll auf Basis der ermittelten Ergebnisse eine großtechnische Demonstrationsanlage in Zusammenarbeit mit der Wirtschaft und einem Kläranlagenbetreiber entwickelt werden.

7. ANHANG

- ***Anhang 1:*** Fließschema der Versuchskläranlage
- ***Anhang 2:*** Aufbau der Messdatenerfassung
- ***Anhang 3:*** Sauerstoffganglinien (10.06.99 – 14.06.99) der parallel betriebenen Belebungsbecken 1 und 2 (Haupt- und Referenzprozess)
- ***Anhang 4:*** Ergebnisse der bisherigen Simulationen der Versuchskläranlage (Kooperation mit der Fachhochschule Bochum)
- ***Anhang 5:*** Fließ- und Schaltbild der Versuchsanlage zur Schlammbehandlung
- ***Anhang 6:*** Entwurf und Implementierung einer Steuerung für die Versuchsanlage zur Schlammbehandlung
- ***Anhang 7:*** Sauerstoffganglinien der Versuchskläranlage bei Reduktion des Schlammgehaltes infolge Zusetzen des Separators und damit verbundenem Auswaschen des Belebtschlammes