

Abschlußbericht

Zuwendungsempfänger: GEA 2H Water Technology GmbH (bis 30.6..2008: 2H Kunststoff GmbH, zuvor Munters Euroform GmbH)	Förderkennzeichen: 02WA0580
--	--------------------------------

Vorhabenbezeichnung: (Thema)

“Exportorientierte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung”,
Teil II “Abwasserbehandlung und Wasserwiederverwendung”, Kernprojekt A “Abwasserbehandlung”,
Teilprojekt 4.2.2 “Abwasserreinigung mit dem getauchten Festbettverfahren / Entwicklung und Erprobung von
Kompaktanlagen für Exportmärkte”

Laufzeit des Vorhabens:

01.08.2005 – 30.10.2009

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und
Forschung unter dem Förderkennzeichen 02WA0580 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt beim Autor.

Inhalt:

Vorbemerkung

Teilbereich I

1. Aufgabenstellung
2. Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde
3. Planung und Ablauf des Vorhabens
4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Teilbereich II

1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses
 - 1.1. Konzeption der Anlage
 - 1.2. Bau der Anlage im technischen Maßstab
 - 1.3. Auswerten von Betriebserfahrungen
 - 1.4. Aufbau, Inbetriebnahme und Erprobung der Demonstrationsanlage
 - 1.5. Durchführung von Feldtests im Zielland - Optimierung der Demonstrationsanlage
2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Teilbereich III

Anlage Erfolgskontrollbericht

Vorbemerkung:

Das Vorhaben war ursprünglich von der Firma Munters-Euroform GmbH als wirtschaftlicher Partner in dem Verbundprojekt beantragt worden. Sieben Monate nach Beginn des Vorhabens wurde der Bereich „Wasser“ der Munters-Euroform GmbH als unselbstständiger Betriebsteil von Munters an die GEA Group verkauft. Die Eingliederung in die GEA Group erfolgte unter der 2H Kunststofftechnik GmbH, die 2008 in GEA 2H Water Technologies GmbH umbenannt wurde.

Im Rahmen des Verbundprojekts wurde von der GEA 2H Water Technologies GmbH (GEA 2H) eine kompakte Pilotanlage zur Abwasserreinigung mit dem getauchten Festbettverfahren für Exportmärkte zu konzipiert und zu erstellt. Die wissenschaftliche Betreuung wurde von der Martin-Luther Universität Halle Wittenberg (MLU) als Projektpartner übernommen. Nach der Erprobung in Deutschland wurde die Anlage ins Ausland zur Demonstration und weiteren Erprobung verbracht.

In diesem Bericht wird die von GEA 2H Water Technologies GmbH entwickelte Pilotanlage beschrieben und nur kurz auf die wissenschaftlichen Ergebnisse eingegangen. Die wissenschaftlichen Untersuchungen an der Anlage sind in dem ausführlichen gemeinsamen Schlussbericht dargelegt.

Teilbereich I

1. Aufgabenstellung

Der Export von Klärtechnik bietet die Möglichkeit, Arbeitsplätze und Betriebstätten in Deutschland zu sichern. Für die Reinigung des Abwassers stehen heute viele verschiedene Verfahren zur Verfügung. Diese sind aber hinsichtlich der Anforderungen in der Region, wo die Anlage gebaut wird, unterschiedlich zu bewerten. Die geordnete Abwasserentsorgung in eng besiedelten Ballungsräumen wird in der Regel mit Großkläranlagen nach dem Belebungsverfahren sichergestellt. In gering besiedelten Gebieten bietet sich bevorzugt eine Abwasserentsorgung mit einfachen, energie günstigen Verfahren z.B. dem Tropfkörperverfahren an.

Es hat sich aber gezeigt, dass es daneben einen Bedarf an kompakten Anlagen mit hoher Reinigungsleistung gibt. Dies sind in erster Linie Tourismusgebiete. Diese benötigen Abwasseranlagen mit höheren Reinigungsleistungen, um ihren Ruf und ihre Qualität für den Fremdenverkehr zu behalten. Gleichzeitig ist häufig eine kompakte Anlage gewünscht, weil nur ein geringes Platzangebot genutzt werden kann und/oder die Anlage möglichst wenig ins Auge fallen darf. Für Anschlussgrößen zwischen wenigen 100 und ca. 20.000 EW bieten Festbetтанlagen dafür gute Ansätze. Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung einer Anlage, die mit wirtschaftlichen Vorteilen (Betriebskosten, Investitionskosten) im Wettbewerb angeboten werden kann. Entwicklungsbedarf besteht insbesondere hinsichtlich einer kontrollierten Denitrifikation. Besonderes Augenmerk sollte der Betriebsführung gewidmet werden. Der Betrieb muss zuverlässig von nicht besonders erfahrem Personal sichergestellt werden. Vor diesem Hintergrund werden Betriebsbedingungen bei unterschiedlichen Temperaturen und C/N Verhältnissen untersucht und dafür Betriebshinweise entwickelt. Besondere Beachtung wird hierbei der Nitrifikation und Denitrifikation bei hohen Konzentrationen gewidmet. Insbesondere in ariden Gebieten muss mit TKN-Konzentrationen um 100 mg/l gerechnet werden, die einen hohen prozentualen Wirkungsgrad, insbesondere bei der Denitrifikation erfordern. (Kombination

von vor- und nachgeschalteter Nitrifikation) Diese Arbeitsschritte wurden durch die MLU Halle bzw. in enger Kooperation mit der MLU ausgeführt. Ziel war es auch, dem Betriebspersonal mit der Betriebsanleitung eine ausreichende Hilfestellung zu geben, um üblich zu erwartende Probleme zu meistern. Zudem sollen die Komponenten so gestaltet werden, dass sie robust und einfach zu warten sind und Reparaturen ohne übertriebenen Aufwand möglich sind.

2. Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Voraussetzung für die Durchführung war neben der Zuwendung durch das BMBF die Zusammenarbeit mit einer wissenschaftlichen Hochschule, der Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg, da seitens des damaligen Antragsstellers zwar die Kapazität zur Erstellung einer Anlage, sowie langjährige Erfahrung auf dem Gebiet der biologischen Abwasserreinigung mit sessilen biologischen Verfahren (Tropfkörper, Rotationstauchkörper oder Festbett) gegeben war, es jedoch an der Möglichkeit fehlte detaillierte wissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen. Die vorgegebene Zusammenarbeit bei diesem Verbundvorhaben mit einer wissenschaftlichen Institution hat die Voraussetzung gegeben.

Die Veranlassung war die Marktbeobachtung, dass sich neben dem Belebtschlammverfahren und dem Tropfkörperverfahren Verfahren mit eingetauchten Biofilmträgern am Markt etablieren. Zu den bekannten Anwendungen und Ausführungen waren aber immer wieder kritische Anmerkungen und Probleme beim Betrieb zu hören. Insbesondere erschien das Wissen um den Umgang mit Betriebsproblemen unzureichend.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planung des Vorhabens erfolgte in Zusammenarbeit mit der Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg. Bestimmte Details wurden auch mit Experten (Mitgliedern der DWA Arbeitsgruppe) besprochen.

Im Ablauf des Vorhabens ergab sich eine Komplikation weil die ursprünglich das Projekt beantragende Firm Munters-Euroform GmbH, das Geschäftsgebiet an die Fa. GEA 2H Water Technologies GmbH (bis 2008 2H Kunststoff GmbH) verkauft hat. Auf Wunsch des RP Münster wurde ein bereits von Fa. Munters-Euroform GmbH ausgeführter Teil des Projekts wieder rückabgewickelt. Die von Munters-Euroform GmbH ausgeführten Arbeiten wurden formal als F+E Auftrag abgewickelt.

Im Übrigen wurde der geplante Ablauf des Projekts eingehalten:

- Vorplanung
- Besuchen von existenten Anlagen vergleichbarer Technik und Verwerten dort gewonnener Erkenntnisse (insbesondere Fehlervermeidung)
- Planung und Bau einer Pilotanlage mit einer Anschlussgröße von etwa 200EW
- Test der Anlage in Deutschland (Kläranlage Halle) durch die Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg
- Anpassung der Anlage unter Verwendung der bereits gewonnenen Erkenntnisse
- Verbringung der Anlage ins Ausland und dortiger Test

Die Aufstellung und Inbetriebnahme im Ausland erwies sich als problembehaftet. Ausgewählt wurde als Partner im Ausland das tunesische CITET, eine Organisation, die mit Hilfe der GTZ in Tunesien als Zentrum für den Technologietransfer in der Umwelttechnik etabliert wurde. Das CITET verspricht durch seine direkte Verbindung zum Umweltministerium zwar eine gute Informationsverbreitung, ist aber hinsichtlich des Betriebs einer Anlage weniger qualifiziert. So

ergaben sich Probleme weil der vom CITET ausgewählte Standort einen hohen Sandanfall hat und der vorgesehene Sandfang nicht ausreichend war.
Diese beiden Umstände haben eine erhebliche Verzögerung des Projektes bewirkt.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.

Anlagen mit getauchten Festbetten sind in Deutschland in Baugrößen bis 250.000 (Geiselbullach) EW realisiert worden. Sie können modular auf- und ausgebaut werden und sind für einen Betrieb mit stark schwankendem oder saisonalem Abwasseranfall geeignet.

In Deutschland bieten ca. 20 meist mittelständische Unternehmen getauchte Festbetтанlagen bzw. entsprechende Aufwuchskörper an (siehe Anlage 1), die pro Jahr zwischen 10 und 15 Anlagen nach dieser Technologie realisieren. Die Anlagen sind i.d.R. nach den Empfehlungen der ATV/DWA konzipiert. Bekannt war das BIO-2-Schlammverfahren, bei dem Belebtschlamm und Festbetten kombiniert werden. Die meisten Anlagen setzten das Festbettverfahren als ergänzende Stufe (Hochlast-CSB-Elimination oder Nachnitrifikation) ein. Schwebebetten sind bekannt u.a. durch die Patentanmeldung der Fa. Kaldness EP0575 314 B2 sowie durch erste Versuche durch das Ing. Büro Weber auf der Kläranlage Aach/Schwarzwald.

Zu Beginn des Vorhabens waren keine Anlagen bekannt, bei denen ein Schwebebett zur Denitrifikation mit einem Festbett zur Nitrifikation kombiniert wurde.

Bei der Fachliteratur wurde neben Firmenveröffentlichungen (Prospekten) insbesondere verwendet:

- / 1 / Bever, J.; et. al.; Neue Erkenntnisse über Anlagen mit getauchten Festbett; KA Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 49(2002) 1703-1707
- / 2 / Bever, J.; et. al.; Anlagen mit getauchten Festbetten; Korrespondenz Abwasser 43(1996) 2013-2023
- / 3 / Austermann-Haun, U; et. al.; Aerobe Biofilmverfahren in der Industrie-abwasserreinigung; KA Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 51(2004) 195-198
- / 4 / Böhm, B.; Wilderer, P.A. ; Leistungsfähigkeit moderner Biofilm-Verfahren- eine kritische Bewertung; Abwassertechnisches Seminar München 1996, Berichte aus Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU München 1997, 59-82
- / 5 / Schlegel, S.; Mit Festbettverfahren Kosten sparen?; Korrespondenz Abwasser 42(1995) 1343-1352
- / 6 / Pape, S.; Schulz-Mennigmann, J.; Biologische Abwasserbehandlung mit vollständig getauchten und belüfteten Festbetten; Wasserwirtschaft Wassertechnik (1995)5, 32-41
- / 7 / Schlegel, S.; Die Vorbehandlung industrieller Abwässer in Anlagen mit getauchten Festbetten; KA Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 50(2003) 617-622

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das gesamte Vorhaben erfolgte in Zusammenarbeit mit der Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg. Hierfür wurde ein spezieller Kooperationsvertrag abgeschlossen.

Bestimmte Details wurden auch mit Experten (Mitgliedern der DWA Arbeitsgruppe) besprochen. Die Aufstellung der Anlage in Tunesien erfolgte in Zusammenarbeit mit dem CITET („Centre International des Technologies De l' Environnement de Tunis“)

Teilbereich II

1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses

Die Zuwendung wurde für die anteilige Finanzierung der Kosten der Pilotanlage sowie den personellen Planungsaufwand und die Begleitung der einzelnen Projektphasen verwendet.

1.1. Konzeption der Anlage

Das Projekt begann mit der Konzeption und Gestaltung einer Versuchsanlage. Zielanschlussgröße für die Anlage waren 200 EW.

Nach dem bekannten technischen Stand konnten die Bemessungsgrößen für das Festbett in der Nitrifikation und für den Kohlenstoffabbau relativ sicher abgeschätzt werden. Verschiedene Versuche (u.a. Malmö 1995, Rasdorf 2001-2003) mit einem Festbett auch eine gezielte Denitrifikation zu erreichen, hatten keine im Betrieb längerfristig stabilen Erfolge gezeigt. Für die Denitrifikation wurde daher eine Lösung mit einem Schwebebett angestrebt.

Zu klären war weiterhin der Frage der Anordnung der Schlammentfernung, da hohe Rezirkulationsraten zur Erzielung hoher Denitrifikationsgrade eine Zwischenklärung hydraulisch hoch belasten. Zu klären war weiterhin der Einfluss der Rezirkulation und des Sauerstofftransports in die Denitrifikation.

Für die Anschlussgröße von 200 EW wurde ein Raumbedarf von etwa einem 40'Container ermittelt. Diese wurde auf 2 Einheiten etwa in der Größe von 20' Containern aufgeteilt, um bei einer späteren Aufstellung im Ausland flexibler zu sein.

Als Ergebnis der Konzeptionsphase wurde das verfahrenstechnische Fließbild mit folgenden Stufen festgelegt:

- a) Rechen mit 2 mm Lochweite
- b) Schwebebett-denitrifikationsreaktor (Füllkörperdichte > 1 kg/L)
- c) Rückhaltung der Schwebebettkörper über von unten mit Prozessluft aus der 1. Festbettstufe gespülte Siebe
- d) Aerobe Festbettstufe (FB21.33/07) zur C-Elimination
- e) Zwischenklärung mit Schrägklärelemente (TUBEdek® FS41.84 ; 60°)
- f) Festbettnitrifikation (FB10.19, FB10.12, FB12.19)
- g) Nachklärung mit Schrägklärelementen (TUBEdek® FS41.50 ; 60°)
- h) Schlammeindickung
- i) (optional) Aerob-thermophile Stabilisierung

Hierbei lagen bei den einzelnen Stufen folgende Überlegungen zugrunde:

1.1.1. Vorreinigung

Im Rahmen der Forschungsanlage wurde bei der Vorreinigung auf typische Einlaufbauwerke wie Sand- und Fettfang oder Grobrechen verzichtet, da die Konzeption dieser Komponenten sehr stark von lokalen Gegebenheiten abhängt und in der Regel auf jeder Kläranlage, die für die Aufstellung der Anlage vorgesehen war, vorhanden sind. als Ausgangspunkt wurde ein Pumpensumpf zugrunde gelegt, von dem das Abwasser mit einer Tauchpumpe der Anlage zugeführt werden kann.

1.1.2. Feinsieb

Festbettssysteme enthalten viele Strukturen, an denen sich Feststoffe und Fasern verhaken können. Aus diesem Grund ist die weitgehende Entfernung von Feststoffen unverzichtbar. Für die Anlage wurde ein statisches Sieb mit 2mm Lochweite ausgewählt. Die Reinigung erfolgt über eine rotierende Bürste, die gleichzeitig das Siebgut dem Siebgutbehälter zuführt.

1.1.3. Schwebebettelemente

Ein wesentliches Unterscheidungskriterium der Schwebebettelemente gilt deren Dichte. Die Dichte dieser Körper liegt stets in der Größenordnung der Dichte des Wassers. In beruhigten Zonen kommt es zum Aufschwimmen oder Absinken der Elemente (je nach verwendeter Materialdichte, die etwas größer oder etwas kleiner als 1 kg/l sein kann). Für die Versuchsdurchführung und die Reaktorkonzeption wurde eine Materialdichte > 1 kg/l gewählt, die sich wie folgt begründet:

- Deckung einer Wissenslücke: Bisher liegen keine entsprechenden Erfahrungsberichte vor
- Vorteile bei der Denitrifikation durch Vermeidung von Luftkontakt
- Reduzierung des Potentials zur Bildung einer als Schwachstelle erkannten Schimmschlammschicht
- Schwebebetrückhalt im Ablauf durch eine Sink-Trennung

Das eingesetzte Produkt BCN 009 hat eine spezifische Oberfläche von $836\text{m}^2/\text{m}^3$. Es war mit einem Füllgrad von ca. 25-30% vorgesehen.

1.1.4. Durchmischungskonzept für den Schwebebettreaktor

Hinsichtlich der Durchmischung der Schwebebettkörper und der Gestaltung eines geeigneten Rührorgans wurden Versuche mit einem dreiflügeligen Hohlkörperrührwerk durchgeführt, das mit geringer Drehzahl eine besonders scherkraftarme Durchmischung im Reaktor bewirkt. Die spezifisch schwereren Schwebebettelemente (100 L) wurden in einem Versuchsreaktor mit ca. 500 L Volumen eingefüllt und innerhalb von etwa 10 Sekunden vollständig im Schweben gebracht.

Damit erwies sich dass ein höheres spezifisches Gewicht als 1,0 keine Nachteile hinsichtlich der Durchmischung ergeben würde. Eine befürchtete Akkumulation der Schwebekörper am Beckenboden war nicht zu erwarten.

Eine nachteilige Trombenwirkung wurde erst bei unnötig hohen Drehzahlen festgestellt. Ein hydromechanisch ähnliches Hohlkörperrührorgan wurde in die Demonstrationsanlage integriert.

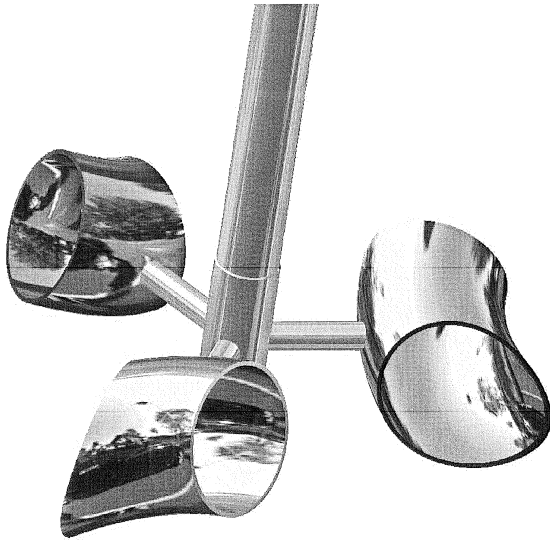


Bild 1 Hohlkörperrührwerk

1.1.5. Rückhaltekonstruktion für das Schwebebett.

Nachdem nicht mehr zu befürchten war, dass schwerere Schwebekörper sich nicht mit dem Rührwerk vom Boden aufwirbeln lassen, konnte die Trenneinrichtung nach oben gelegt werden. Damit konnte die Trenneinrichtung so eingebaut werden, dass eine optische Kontrolle möglich ist. Somit konnten Hinweise auf Erfahrungen mit Schwebebetttechnik verwertet werden, in denen über größere Nachteile berichtet wurde, wenn sich die Schwebeteile vor einem nicht zugänglichen und nicht sichtbaren unten liegenden Gitter anhäufen.

Die Rückhaltekonstruktion besteht aus einem abgewinkelten Lochblech, das eine Passage der Schwebekörper verhindert jedoch blasengängig ist. Auf diese Weise werden die Schwebebettelemente mit der durchtretenden Luft von unten gespült. Diese Bauart wurde erstmalig in der Pilotanlage vorgesehen

Die Tauchwand vor dem Spülsieb wurde in der Container-Versuchsanlage (siehe AP4) verstellbar ausgeführt, sodass die Effekte verschiedener Aufströmgeschwindigkeiten vor der Trennzone variiert werden können.

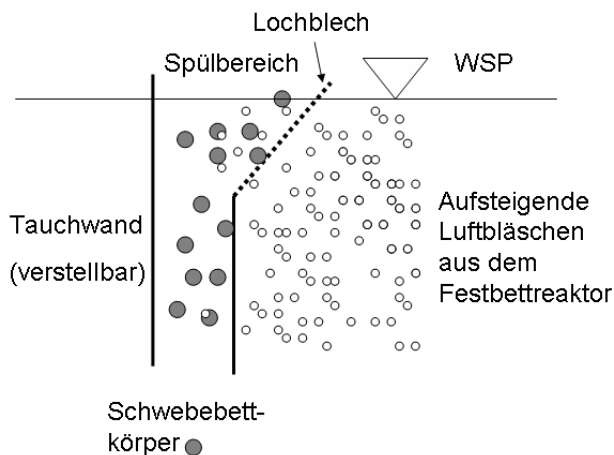


Bild 2. Schemaskizze der Rückhaltevorrichtung

1.1.6. Optimierung der Überschussschlamm Entfernung

Hinsichtlich der Entfernung des Primär- und Überschussschlammes wurden verschiedene Konzepte betrachtet:

- Vorklärung:
Sollte vermieden werden, um einen höheren Kohlenstoffgehalt (insbesondere wegen der zu erwartenden hohen Stickstoffkonzentrationen) für die Denitrifikation zu erhalten.
- Zwischenklärung:
Bei der Abwägung der Vorteile einer Zwischenklärung vor der Nitrifikation gegenüber den Kosten dieser Stufe im Hinblick auf die höhere hydraulische Belastung durch die Rezirkulationswassermenge ergab sich eine Priorität für eine Zwischenklärung – insbesondere da diese durch die Verwendung von Lamellenklärpaketen baulich kompakt ausgestaltet werden kann. Hierbei wurde auch der Nachteil in Kauf genommen, dass bedingt durch die Größe der Pilotanlage keine idealen Verhältnisse für die Zwischenklärung gegeben waren. Ein deutlich größerer Schlammtrichter bzw. Beruhigungsraum unter den Lamellenabscheidern lies sich nicht unterbringen. Insofern war von vornherein klar, dass die Zwischenklärung unter erschwerten Bedingungen betrieben wurde. Dieser Engpass lässt sich aber großtechnisch jederzeit vermeiden.
- Nachklärung:
Für die Nachklärung werden ebenfalls Lamellenklärer vorgesehen. Aufgrund der Festbetttechnologie ist ohnehin nur Überschussschlamm abzuscheiden. Ein großer Teil davon wird bereits in der Zwischenklärung entfernt. Der Schlammanfall in der Nachklärung würde somit sehr gering sein. Zusätzlich sollte im Rahmen des Probebetriebes untersucht werden, ob bei sehr kleinen Anlagen mit geringeren Anforderungen an den Restfeststoffgehalt die Feststoffe ausreichend im Festbett zurückgehalten werden, so dass auf eine Nachklärung verzichtet werden könnte. In diesem Fall könnten die Feststoffe aus dem Festbett durch Spülphasen gelöst und über die Kreislaufwasserführung über die Zwischenklärung entfernt werden.

Eine weitere in der Erprobung zu untersuchende Frage ist der optimale Entnahmepunkt für die Rezirkulation zur Denitrifikation. Hierfür gab es folgende Alternativen:

- a. Direkt aus der Nitrifikationsstufe 3
- b. Aus dem Sumpf der Nachklärung, um gleichzeitig den in der Nachklärung abgetrennten Schlamm abzuscheiden.
- c. In einem separaten Schacht oder Sumpf vor der Nachklärung. Vorteil wäre eine stärkere Beruhigung der Nachklärung.
- d. Nach der Nachklärung

Es wurde die Variante b) gewählt, da sich damit eine weitere Pumpe einsparen ließ.

1.1.7. Festbettstufen

Als erste Festbettstufe wurde direkt nach der DN Stufe ein Festbett zum Rest-C-Abbau vorgesehen. Da hier noch erhebliche Schlammmengen transportiert werden, kam nur ein Festbett mit vertikalen Kanälen mit großem Kanalquerschnitt und mit spezifisch geringer Oberfläche in Frage. Gewählt wurde der Typ FB21.33/07 der GEA 2H Water Technologies GmbH. Für die Belüftung wurde gezielt auf den Einsatz von feinblasigen Systemen mit

begrenzter Lebensdauer der Membranen verzichtet. Verwendet wurden Belüftungskämme, die eine mittelgroße bis grobe Blase erzeugen. Eine Wartung war für dieses System noch nicht erforderlich.

Für die Nitrifikationsstufen nach der Zwischenklärung kamen unterschiedliche Materialtypen und Formen in Frage:

- a. PVC Material mit Kreuzstruktur und geringer Feinprägung der Profilplatten
- b. PP-Material mit Kreuzstruktur und starker Feinprägung in horizontaler Richtung
- c. PP-Material mit Kreuzstruktur und starker Feinprägung in vertikaler Richtung
- d. PP-Material mit Vertikalstruktur und starker Feinprägung in horizontaler Richtung

Bei der Erstausrüstung wurde a. PVC Material mit Kreuzstruktur und geringer Feinprägung der Profilplatten vorgesehen, eine Umrüstung nach weiteren Tests aber bereits erwogen.

1.2. Bau der Anlage im technischen Maßstab

Die Anlage besteht aus einer Kombination von zwei Containern, in der die Reaktoren, Absetzbecken, Schlammbehandlung, Technik- und Kontrollräume untergebracht sind. Die Schlammbehandlung wird in offenen Behältern vorgenommen.



Bild 3. Gesamtansicht der Containerkombination auf dem Betriebsgelände der 2H-Kunststoff



Bild 4. Blick auf das Belüftersystem in einer Reaktorkammer vor der Befüllung mit den Festbett-Füllkörpern



Bild 5. Einbau der Festbett-Füllkörper durch Beschäftigte der 2H-Kunststoff in die C-stufe mit vertikalen Festbettkanälen.

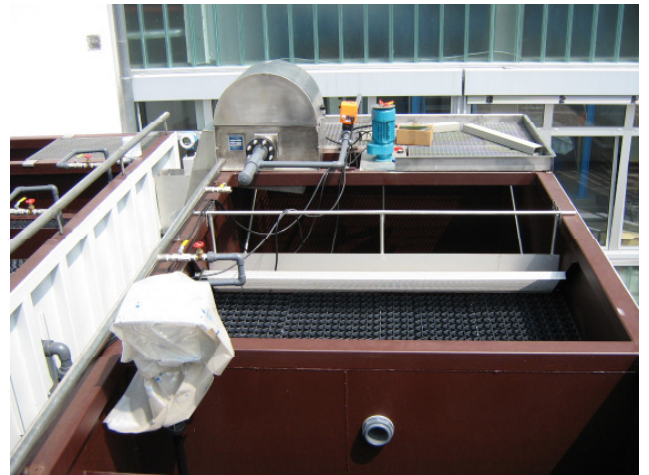


Bild 6 . Blick auf einen Container. Hinten links befindet sich die Rechenanlage, daneben der Rührwerksmotor und ein ansteuerbarer Kugelhahn

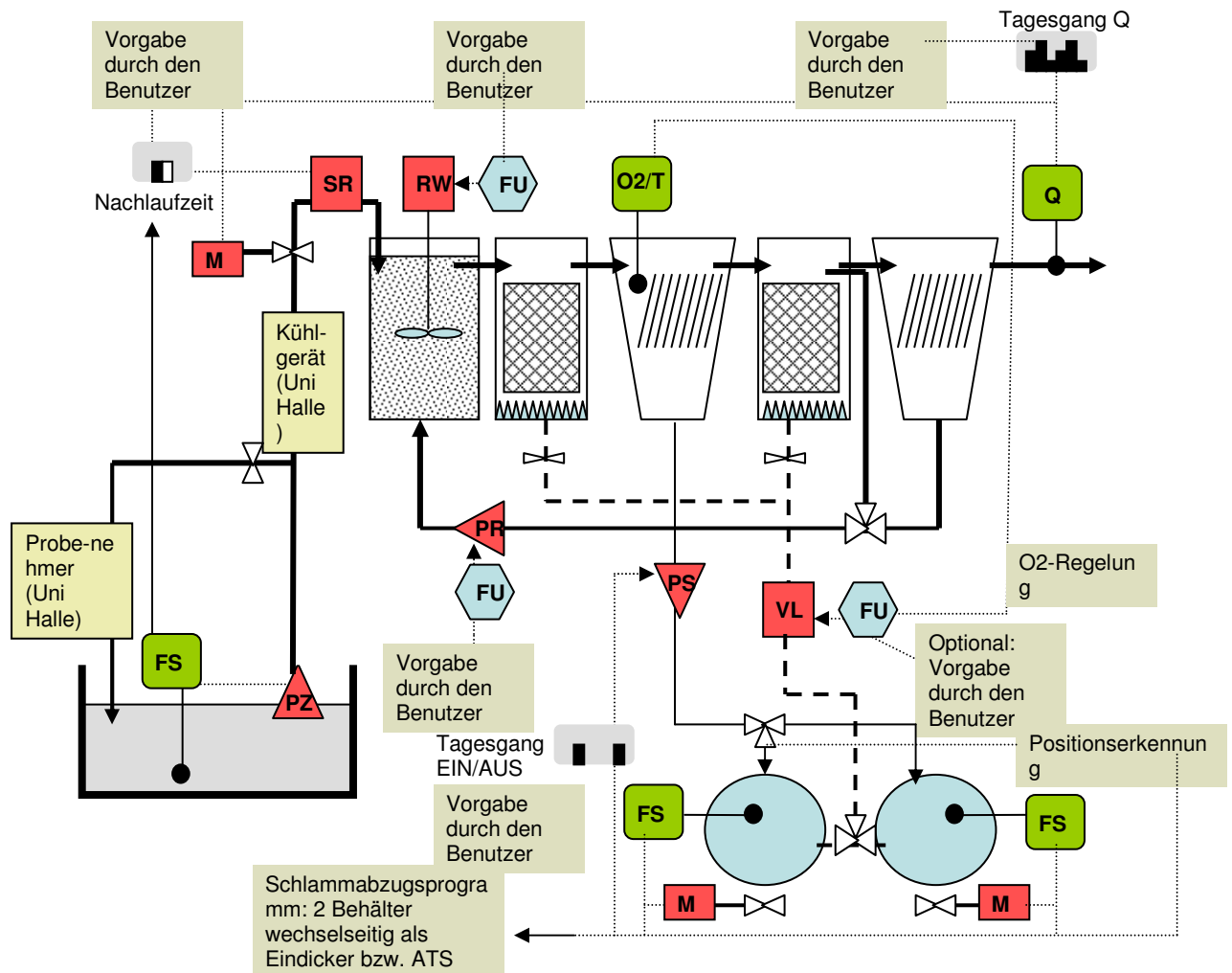


Bild 7. Verfahrensschema der halbtechnischen Containeranlage

Bezeichnungen im Bild 6: FS=Füllstandsmessung; M= Motorisch betriebene Armatur; SR = Siebrechen; RW = Rührwerk ; FU = Drehzahlregelung mit Frequenzumformer ; PZ = Zulaufpumpe ; PS = Schlammpumpe ; PR = Rezirkulationspumpe ; O2/T = Sauerstoff/Temperrmessung ; Q = Abflussmengenmessung ; VL = Verdichter zur Belüftung

Das Verfahrensschema der Anlage (siehe Bild 6) beinhaltet neben den im Antrag dargestellten Verfahren zusätzlich eine aerob-thermophile Schlammbehandlung, die chargenweise in zwei Behältern durchgeführt wird.

Die Anlage ist mit einer speicherprogrammierbaren Regelung/Steuerung ausgestattet, die bereits auf dem Betriebsgelände der 2H-Kunststoff überprüft wurde. Die Fertigstellung der Anlage erfolgte Ende Juni 2006.

1.3. Auswerten von Betriebserfahrungen

Erfahrungen von 2-3 bestehenden 2H(Munters)-Festbettanlagen sammeln und auswerten.

Bei der Auswertung von Betriebsergebnissen bestehender Festbettanlagen wurden insbesondere die Daten der Kläranlagen B und H herangezogen. Während die Kläranlage H zur alleinigen C-Elimination ausgelegt wurde, ist das Reinigungsziel der Anlage in B höher angesetzt: Die Anlage wurde zur weitergehenden Abwasserreinigung mit Nitrifikation und Denitrifikation ausgelegt.

Bei der Anlage B wurden vom planenden Ingenieurbüro im Bereich der Festbett-Denitrifikation keine Aggregate zur Umwälzung vorgesehen. Gleichzeitig wurde keine Zugangsmöglichkeit zum Bereich unter dem Festbett bei entleertem Becken vorgesehen (Die Beckenfläche ist vollständig mit Festbettmaterial ausgefüllt). Zusätzlich wurde auf ein Vorklärbecken verzichtet. Die Kombination dieser verfahrenstechnischen Merkmale erwies sich als ungünstig und führte zu einer Verschlammung des Bodenraums in der Denitrifikationszone. Kurioserweise wurden trotz – oder gerade wegen – des Schlammes am Boden im ersten Betriebsjahr sehr gute Reinigungsergebnisse erzielt.

Die folgende Zusammenstellung zeigt die Betriebsauswertung der Kläranlage B:

Die KA B wurde für 2000 E + EW bemessen. Die Bemessungsfrachten wurden entsprechend dem Regelwerk A-131 der DWA berechnet.

Die Siedlungsentwässerung erfolgt im Verbund von Mischsystem (alte Ortsteile) und Trennsystem (neue Wohngebiete)

Verfahrenstechnik:

Vorklärung mit Feinsieb

2.375 m² Festbettfläche zur Denitrifikation

11.900 m³² Festbettfläche zur C-Elimination

10.800 m² Festbettfläche zur Nitrifikation

Nachklärung, Nitrat-Rezirkulation

Inbetriebnahme: Herbst 2000

Datenauswertung: Zur Auswertung wurde der Erhebungszeitraum 2002 herangezogen. Als Datengrundlage standen wöchentlich durchgeführte Analysewerte zur Verfügung

Ergebnisse: Die flächenspezifischen Umsatzraten, welche zur Bemessung herangezogen wurden sind in Tabelle 1 den betrieblich ermittelten Umsatzraten gegenübergestellt.

Die Berechnungen beruhen auf den Jahresmittelwerten, als Streumaß ist der Bereich einer Standardabweichung (n=12 Monatsmittelwerte) über und unter dem Jahresmittelwert dargestellt.

Zur Bilanzierung wurden folgende Annahmen getroffen:

- a) Parallel zur Nitratelimination findet ein BSB₅ Abbau im Verhältnis von 4,5 gBSB₅/gNO₃-N statt

b) Die gesamte TKN Fracht ergibt sich zu 2/3 aus NH₄-N, und zu 1/3 aus organischen N-Verbindungen. Die gemessenen NH₄-N Frachtwerte wurden folglich mit dem Faktor 1,5 auf TKN Werte umgerechnet. Diese Größenrelation konnte durch wenige Einzelmessungen im Jahresverlauf bestätigt werden.

c) In der N-Bilanz wurde ferner ein bestimmter Anteil inkorporierter N-Verbindungen (2% pro abgebauten BSB₅) und eine mittlere N_{org}-N Konzentration von 2 mg/L im Ablauf der Anlage berücksichtigt. Diese Werte sind der Literatur entnommen. (ATV 2000)

d) Aufgrund dieser Annahmen wurde die N-Bilanz nur anhand der NH₄-N Zulauf bzw. Ablaufwerte berechnet

Auffällig ist, dass die tatsächlich ermittelten Umsatzraten zumeist deutlich höher liegen als die zur Bemessung zugrunde gelegten. D.h. mit den verwendeten Werten liegt man auf der sicheren Seite. Die Denitrifikationsrate im anoxischen Festbett liegt mit 8,8 gN/m²d mehr als doppelt so hoch wie angesetzt., dieser Befund ist vermutlich auf Schlammablagerungen zurückzuführen, die ihrerseits – neben den Festbettflächen – zur Denitrifikation beitragen. Die BSB-Eliminationsraten in der Denitrifikation lassen sich anhand der Nitratelimination berechnen (Annahme Faktor 4,5 g BSB₅/ g Nitrat-N). Demzufolge liegt die BSB₅-Elimination bereits deutlich über der Tagesfracht, sodass sich eine rechnerisch negative BSB₅-Elimination in der C-Stufe ergibt. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die C-Belastung der C-Stufe sehr gering war, sodass sich hier bereits eine Nitrifikation eingestellt hat. Entsprechend liegen die Nitrifikationsleistungen der Anlage höher, etwa im doppelten Bemessungsbereich (2,3 g N/m²d)

In der weiteren Betriebszeit hat die zunehmende Verschlammung der Denitrifikationsreaktoren eine Umkehr der guten Ergebnisse bewirkt, sodass nunmehr unzureichende Ergebnisse erzielt wurden.

Tabelle 1.: Flächenspezifische Umsatzraten der Kläranlage R (Bemessung und Messwerte)

	Deni-C g BSB/m ² d	Deni-N g N/m ² d	C-Stufe g BSB/m ² d	N-Stufe g N/m ² d
Bemessung (Lit.)		2 - 4	8 - 12	2 - 4
Bemessung (KA R)	8,0	3,5	8,0	1,1
Mittel - STABW	11,3	3,2	-3,0	1,2
Mittelwert	30,9	8,8	1,8	2,3
Mittel + STABW	50,5	14,4	6,5	3,5

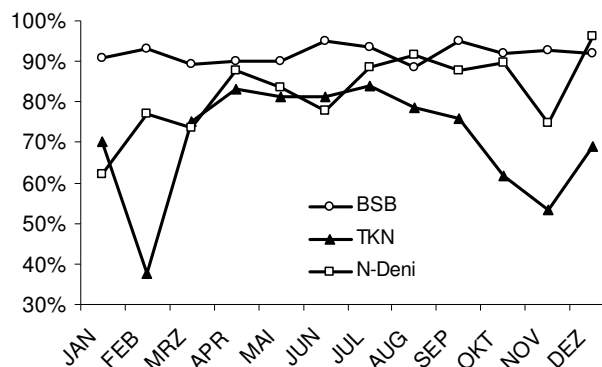


Bild 8. Mittlere Eliminationsraten für BSB, TKN (Nitrifikation und Inkorporation) und Nitrat (ausgehend vom nitrifizierten TKN) der KA R im Betrachtungszeitraum 2002

Bei der Anlage H stellte sich die Überwachung der Sauerstoffkonzentration und damit die Steuerung der Belüftung in der Festbettstufe als Problem heraus. Die Sauerstoffkonzentration wurde dort mittels einer fest im Becken installierten Sauerstoffsonde überprüft und geregelt. Der Ort der Sonde erwies sich aber als sehr problematisch. Das Festbett verändert die Strömungsverhältnisse in den Becken, wodurch insbesondere bei sehr geringer oder keiner Belüftung innerhalb des Festbetts deutlich geringere (zu geringe) Sauerstoffgehalte gemessen werden. Im Fall der Anlage E wurde die Sonde bei starkem turbulenten Regenwasserzufluss mit sauerstoffreichem Wasser angeströmt, obwohl eine Entfernung von mehreren Metern vorlag. In der Folge lag die Sauerstoffkonzentration im Festbett zu niedrig, was die Abbauleistung der im Biofilm ansässigen Mikroorganismen verringerte. Zusätzlich wurde unzureichend Schlamm aus dem Festbett wegen zu geringer Belüftung abgeführt.

Bei einer Festbetтанlage muss daher anders als bei einer Belebungsanlage bei einer stationär installierten Sonde für die Position die Stelle gesucht werden, wo die geringsten Sauerstoffwerte zu erwarten sind. Die Sonde sollte daher nicht oberhalb des Festbetts sondern nach Möglichkeit im Abströmkanal ca. 1m unter der Festbettoberkante installiert werden. Zusätzlich sollte nach der Inbetriebnahme durch manuelle Messungen nachgeprüft werden, welche Unterschiede innerhalb der Anlage bestehen. Die Gebläseregelung muss diese Unterschiede berücksichtigen und verhindern, dass lokal nachteilige Betriebsverhältnisse auftreten. Wichtig ist zusätzlich, dass der Sondenkopf täglich per Hand z.B. mit einem Tuch gereinigt wird oder selbstreinigende Sonden eingesetzt werden, um Messfehler durch Zusetzen mit Biofilmen zu vermeiden.

Hinsichtlich der Belüftungselemente ist zu erwähnen, dass beide Anlagen mit Membranbelüftungselemente ausgerüstet sind. Diese werden flächig auf Belüftungsschienen unter den getauchten Festbettreaktoren angebracht. Da die Membranen nach einigen Jahren wegen Verschleißerscheinungen ausgetauscht werden müssen, sind die Membranteller so montiert, dass ein Austausch im entleerten Becken möglich ist, ohne unter dem Festbett zu arbeiten. Noch einfacher ist es, wenn das Festbett in einer Käfigkonstruktion aus dem Becken gehoben werden kann. Allerdings ist so eine Lösung auch teurer. Grobblasigere Düsenbelüfter können ebenfalls zum Eintrag von Sauerstoff eingesetzt werden. Jedoch sind auch sie nicht frei von Wartungsbedarf.

1.4. Aufbau, Inbetriebnahme und Erprobung der Demonstrationsanlage

1.4.1. Untersuchungen in Halle

Die Demonstrationsanlage wurde am 14.07.06 in Halle auf der Kommunalen Kläranlage Nord aufgestellt. Die hydraulische Inbetriebnahme konnte jedoch erst vom 16ten bis 20ten Oktober erfolgen.

Bei der Inbetriebnahme zeigten sich einige Mängel des Prototyps, die behoben werden konnten, z.B.:

- Messgeräte (O₂, Q) kalibriert
- Schwingungen in der Zulauf und O₂-Regelung (Reglerverhalten optimiert)
- Schwingungen im Bereich der Rührwerksauflagerung (Reduzierung der max. Drehzahl)

- Rohrführung der Luftdruckversorgung führt zu hohen Verlusten (Änderung der Rohrführung)

Ferner wurde die Anlage mit einer Fernüberwachung ausgestattet, mit den Funktionen:

- Fehler-, bzw. Alarmmeldung and die verantwortlichen Sachbearbeiter der MLU
- Tägliche elektronische Post der Betriebszustände (Log-Datei) an alle Projektbeteiligten

Die Fernüberwachung ermöglicht zudem Modifizierungen der Steuerungsprogrammierung vom Standort Aachen.



Bild 9.: Gesamtansicht der Containeranlage. Hinten: Messcontainer der MLU. Die beiden Container im Vordergrund zeigen die Rückseite der 2H-Versuchsanlage



Bild 10.: Ansicht der 2H-Containeranlage von der Vorderseite (Eingangsseite zum Schaltraum)



Bild 11.: Sicht auf die Containeranlage. Im vorderen Behälter sind die drei Nitrifikationskaskaden zu erkennen.

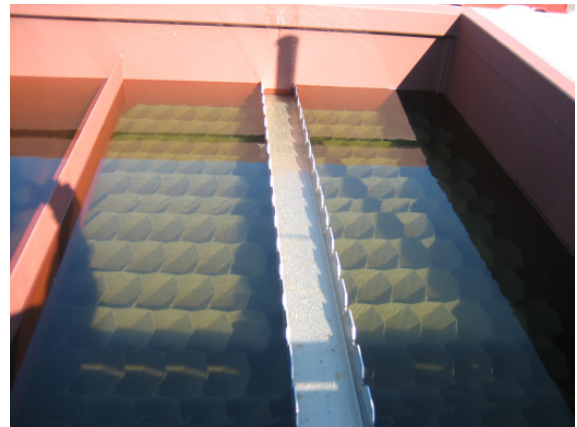


Bild 12.: Zwischenklärung mit Lamellen und Ablaufrinne.

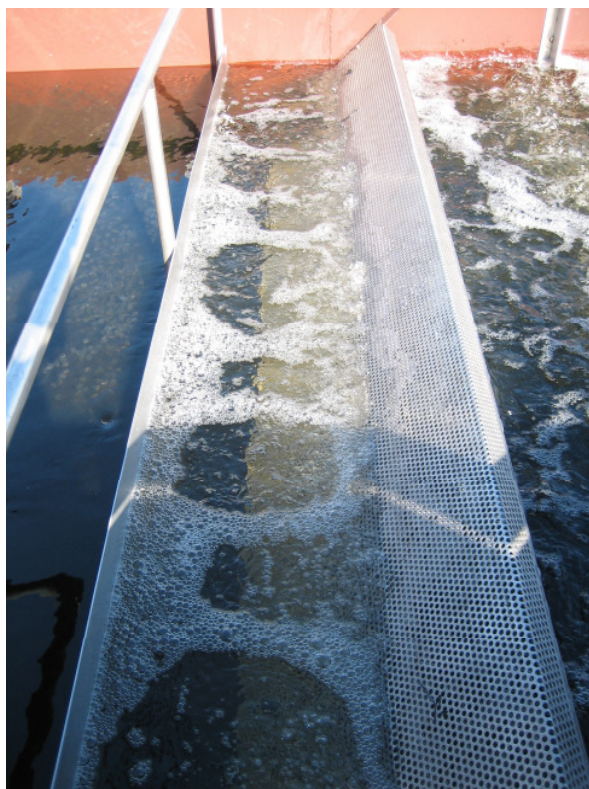


Bild 13.: Vorrichtung zum Rückhalt der Schwebekörper aus der Denitrifikationsstufe. Links: verstellbare Tauchwand. Rechts: Schräg gestelltes Lochblech zur Spülung der Schwebebettelemente

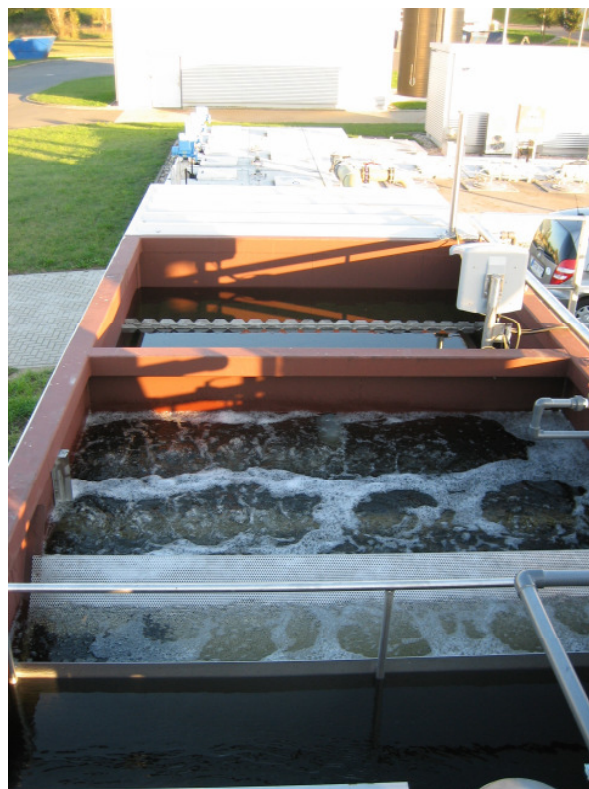


Bild 14.: Teilansicht der Anlage vom Bereich des Rechens fotografiert. Zu sehen sind Tauchwand, Trennsieb, die erste Festbettstufe und die Zwischenklärung im Hintergrund.

Der Betrieb in Halle wurde bis zum 15.4.2008 fortgesetzt. Von April 2007 bis April 2008 konnte die Pilotanlage im funktionstüchtigen Zustand betrieben werden. Vorgeklärtes Abwasser der Kläranlage Halle-Nord wurde für den Versuchsbetrieb verwendet. Es wurden von den Mitarbeitern der Uni Halle-Wittenberg verschiedene ReZirkulations/Zulauf-Verhältnisse eingestellt (siehe Tabelle 2), um deren Einfluss auf die Reinigungsleistung zu evaluieren. Durch wöchentlich zweimal stattfindende Beprobungen aller Anlagenstufen sollte die Effektivität einzelner Reinigungsstufen innerhalb dieser sieben Versuchsregime untersucht werden.

Tabelle 2: Versuchsreihen mit dazugehörigen Versuchsbedingungen (Volumenströme Zulauf/ReZirkulation m^3/h ; Rückführverhältnis RV; Umgebungstemperatur T_U , Abwassertemperatur T_W)

Versuchsreihe	Zulauf in m^3/h	ReZi in m^3/h	RV = ReZi/Zulauf	T_U in $^\circ\text{C}$	T_W in $^\circ\text{C}$
1	1	2,5	2,50	10...15	13...16
2	1	1,75	1,75	15...20	15...19
3	0,5	1,75	3,50	20...30	17...23
4	0,5	4,5	9,00	15...20	16...20
5	1,5	2,5	1,67	10...15	14...19
6	2	2,5	1,25	0...5	11...14
7	1,25	2,5	2,00	5...15	8...14

Zur Überwachung der Reinigungsleistung wurde der Abbau von organischen und stickstoffhaltigen Verbindungen gemessen. Dazu wurden die Konzentrationen von CSB (vereinzelt BSB₅), Nitrat, Nitrit, Ammonium und Gesamtstickstoff (TN) ermittelt.

Die wichtigsten Ergebnisse zum Betrieb der Anlage lassen sich qualitativ wie folgt zusammenfassen:

1. Die Konzeption der Anlage hat sich als tauglich erwiesen. Technische Änderungen waren lediglich in einem Detail nötig: Das Lochblech erwies sich als zu niedrig und musste erhöht werden. Dieser Fehler in der Konzeption hatte zur Folge, dass die Schwebekörper in einer Ausnahmesituation, bedingt durch einen unbeabsichtigten kurzzeitigen Aufstau, in die nachgeordneten Reaktoren gelangten. Hieraus ergaben sich häufigere Blockaden der Schlammpumpe. Beim Ausbau der Füllkörper zur Vorbereitung der Verschiffung fanden sich zudem insbesondere an den Stoßkanten der Füllkörperpakete verhakte Schwebetelemente, an denen sich klumpigen Biofilm verfangen hatte. Dadurch waren bis zu 25% der Kanäle in der C-Stufe nicht mehr frei durchströmbar.

Der Abtrieb der Schwebetelemente in die Festbettstufen muss bei großtechnischen Anlagen mit großer Sorgfalt begegnet werden. Dabei sind auch vorstellbare anormale Betriebssituationen zu berücksichtigen.

2. Die weiteren Komponenten der Anlage arbeiteten ohne nennenswerte Störungen.
3. Die Reinigungsleistung entspricht weitgehend den Erwartungen. Es wurden auch Überlastungssituationen und Grenzzustände berücksichtigt
4. Die Schlammbehandlungsstufe ist hinreichend bemessen, um eine Geruchsbildung zu unterbinden.
5. Das Konzept der Zwischenklärung hat sich als tragfähig erwiesen. Bei einigen durchgeführten Versuchsszenarien war die Feststoffbelastung im Ablauf so gering, dass sich die finale Nachklärung als vollkommen überdimensioniert zeigte. In der großtechnischen Praxis könnte daher die Absetzstufe verkleinert werden. Unter bestimmten Voraussetzungen, die noch zu definieren sind, lässt sich auf die abschließende Feststoffabtrennung verzichten. Insbesondere bei hohen Rezirkulationsverhältnissen und geringer Belastung im Rohabwasser.

Die konstruktiven Zwänge der Versuchsanlage erwiesen sich hinsichtlich der Ausformung des Trichterbodens als erwartungsgemäß nachteilig. Der abgesetzte Schlamm wurde z.T. nicht von der Schlammpumpe erfasst und wurde anaeroben oder anoxischen Prozessen unterworfen, die zu einer Gasbildung und zum Aufschwimmen einzelner „Schlamminseln“ führen. Diese Probleme lassen sich aber bei großtechnischen Anlagen vermeiden. Probleme durch Schwimmschlamm bildung konnten durch das Anfang 2008 eingebaute pneumatische Räumsystem beseitigt werden.

1.4.2. Untersuchungen zum Lufteintragsvermögen in Karlsruhe

Wie bereits unter 1.1.5. erwähnt, gibt es die unterschiedlichsten Füllkörper-(Festbett)-Ausführungen. Um zu prüfen, ob unterschiedliche Füllkörperformen Einfluss auf den

Sauerstofftrag haben können wurden deshalb Versuche durchgeführt,. Es ist möglich die Füllkörperplatten so zu prägen und zu konfigurieren, dass sich die aufsteigenden Luftblasen in „Näpfen“ (Nach oben geschlossene Vertiefungen) vorübergehend sammeln und dadurch ihr Aufstieg verlangsamt wird. Die längere Verweilzeit kann zu einem besseren Sauerstoffeintrag führen. Umgekehrt kann eine damit verbundene Blasenvergrößerung den Sauerstofftrag vermindern

Die Ergebnisse legen nahe, dass der Lufteintrag in Festbetten durch diese zwei Faktoren beeinflusst wird: Einerseits führt eine Verlängerung der Verweilzeit durch die Ablenkung der Luftblasen zu besseren Eintragswerten. Andererseits ist eine Koaleszenzwirkung der Luftbläschen festzustellen. Durch die Vereinigung kleiner zu größeren Luftblasen vermindert sich die Phasengrenzfläche und der Sauerstoffübergang wird herabgesetzt. Die Ergebnisse deuten an, dass die Koaleszenzwirkung bei feinblasigen Belüftern überwiegt und der Sauerstoffübergang in der Gesamtbetrachtung herabgesetzt wird. Bei mittelblasigen Belüftern und höheren Luftdurchsatz ist die Koaleszenzwirkung weniger bedeutungsvoll und es zeigen sich kaum noch Unterschiede zwischen den Belüftungskurven, die in den Versuchen mit Einbauten gegenüber dem Blindversuch ermittelt wurden.

In der betrieblichen Praxis ist jedoch dem sicheren Schlammaustrag aus dem Festbett gegenüber der Optimierung des Sauerstofftrages höhere Priorität einzuräumen. Aus diesem Grund wurden diese Untersuchungen im Rahmen dieses Vorhabens nicht weiter vertieft.

1.4.3. Ergebnisse vom kontinuierlichen Betrieb in Halle-Nord

Der Betrieb der Anlage in Halle und die Untersuchungen lagen in der Hand der MLU. Die Untersuchungsergebnisse sind daher in diesem Bericht nur verkürzt wiedergegeben. Eine Ausführliche Darstellung findet sich im Bericht zum Teilvorhaben der MLU im Kapitel 6.5.

Kohlenstoffabbau

Abbildung ... zeigt die typische Verminderung der CSB-Konzentration über die Reaktorstufen. Mit der Mischzulaufkonzentration ist hier die aus der Zulauf- und der rezirkulierten Ablaufkonzentration errechnete theoretische CSB-Konzentration gemeint. Die für die Kohlenstoff-Elimination verantwortlichen Stufen (DeNi und C) sind erkennbar. In der DeNi erfolgt der C-Abbau durch die Verwendung des rezirkulierten Nitrat-Sauerstoffs, in der C-Stufe steht Sauerstoff durch die Belüftung bereit. Bei stärkerer organischer Belastung setzte sich der C-Abbau auch in den N-Stufen, allerdings in geringem Maße, fort, bis ein gewisser Anteil an sehr schwer abbaubaren Kohlenstoff-Verbindungen blieb, der die Ablauf-Konzentration darstellte.

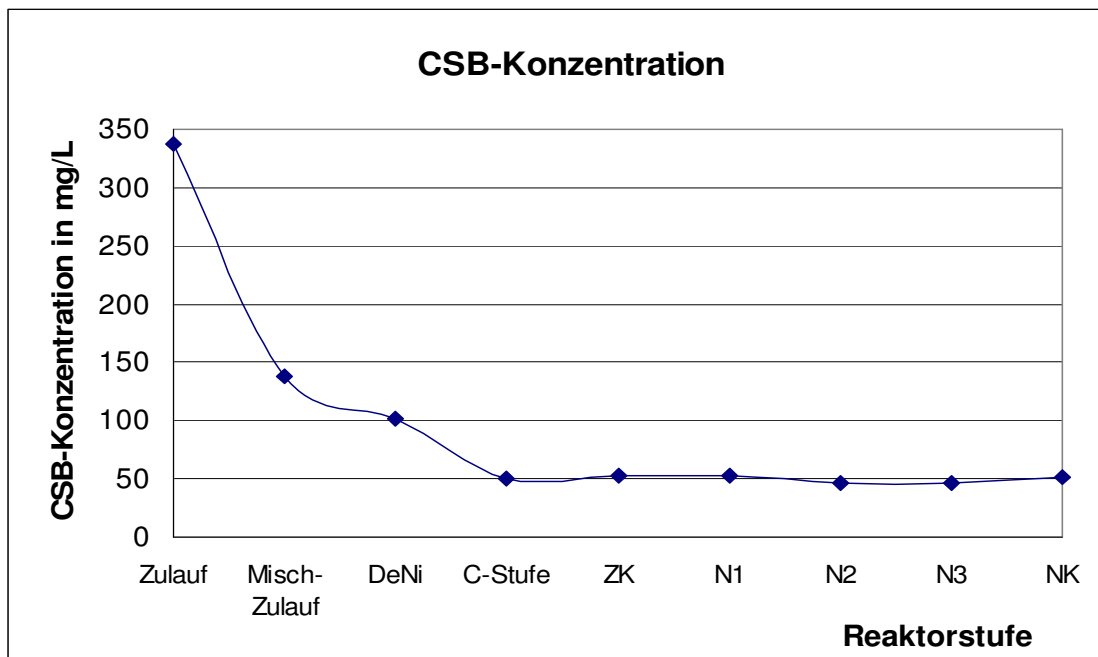


Bild 15: Typischer Verlauf der CSB-Konzentration über die Anlage in Versuchsreihe 7 (RV = 2)

Bezüglich des Kohlenstoff-Abbaus kann gesagt werden, dass er unabhängig von den eingestellten Zulauf/Rezirkulationsverhältnissen, also während des gesamten Versuchsbetriebes, relativ konstant zwischen 85 und 90 % lag. Abbildung ... zeigt die durchschnittlichen CSB-Zulauf- und Ablaufkonzentrationen sowie die dazugehörigen Abbaugrade während der sieben Versuchsreihen.

Es ist als sehr wahrscheinlich anzunehmen, dass höhere CSB-Abbaugrade über die dafür verantwortlichen Reaktorstufen möglich sind, wenn man bedenkt, dass ein nicht unbeträchtlicher Teil an (leichter abbaubaren) Kohlenstoffverbindungen durch die Vorklärung der Kläranlage Halle-Nord bereits vermindert wurde und der damit nicht der Pilotanlage zugeführt wurde. Im Mittel wurden bereits 45 % der organischen Verbindungen in der Vorklärung abgebaut. Abbildung ... zeigt den als refraktär bezeichneten schwer abbaubaren Anteil an organischen Verbindungen (4-7%), die durch die Kläranlage Halle-Nord nicht entfernt werden können (Diagramm aus Daten von Messungen, durch Labor der Kläranlage Halle-Nord ermittelt), sowie jeweils die Zulauf- und Ablaufkonzentrationen der Kläranlage und der Pilotanlage im Vergleich.

In Tabelle 3 finden sich die CSB-Zulaufmengen mit und ohne Rezirkulation sowie die jeweils dazugehörigen CSB-Einwohnerwerte wieder. Bedenkt man, dass die Vorklärung der Pilotanlage fehlt und diese für 200 Einwohner ausgelegt ist, sind die Versuchsreihen 1,5,6 und 7 für die Bewertung der Leistungsfähigkeit der Kohlenstoff-Elimination bei ungefähr voller Auslastung am besten geeignet. Die anderen Versuchsreihen spiegeln Ergebnisse für den Betrieb bei schwacher organischer Belastung wieder.

Tab.3: CSB-Frachten in den Versuchsreihen (Annahme tägliche CSB-Fracht pro EW=120 g CSB/d*EW)

VR	CSB-Frachten in kg/d						
	1	2	3	4	5	6	7
Zulauf Anlage [kg/d]	11,4	8,9	4,9	4,1	11,9	16,1	12,3
EW	95	74	41	34	99	134	103
Misch-Zulauf [kg/d]	15,3	11,4	7,2	9,0	15,1	19,1	16,0
EW	128	95	60	75	126	159	133

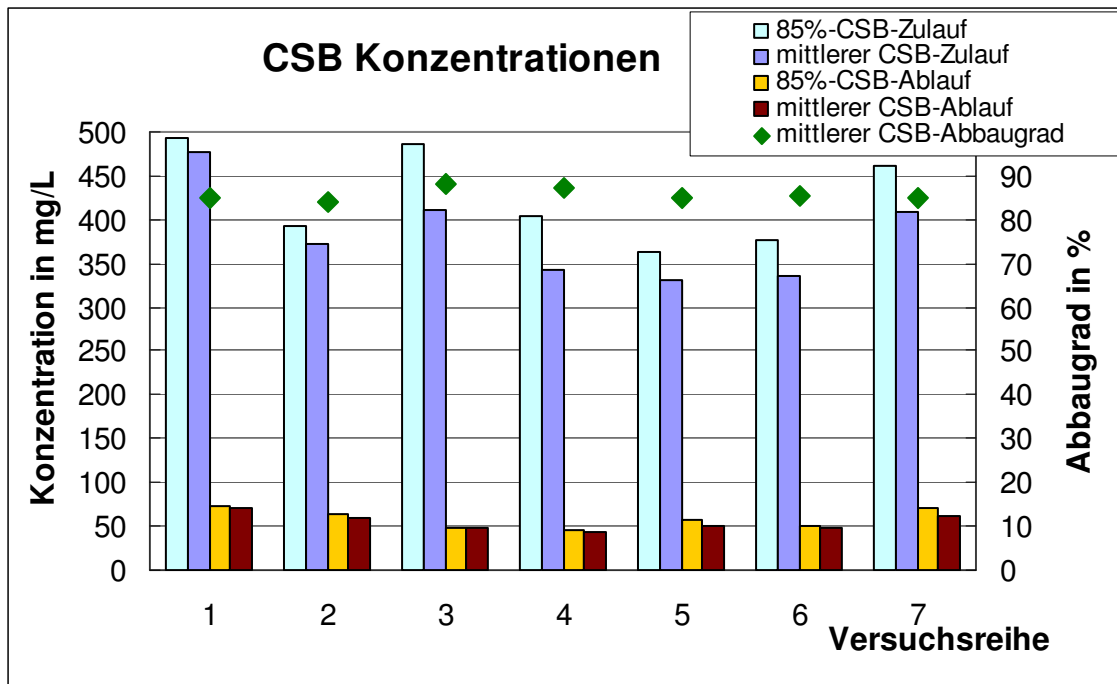


Bild 16: CSB-Abbau in der Pilotanlage in den verschiedenen Versuchsreihen (homogenisiert; KA Halle: 2h-Mischproben; Pilotanlage: 24-Mischproben)

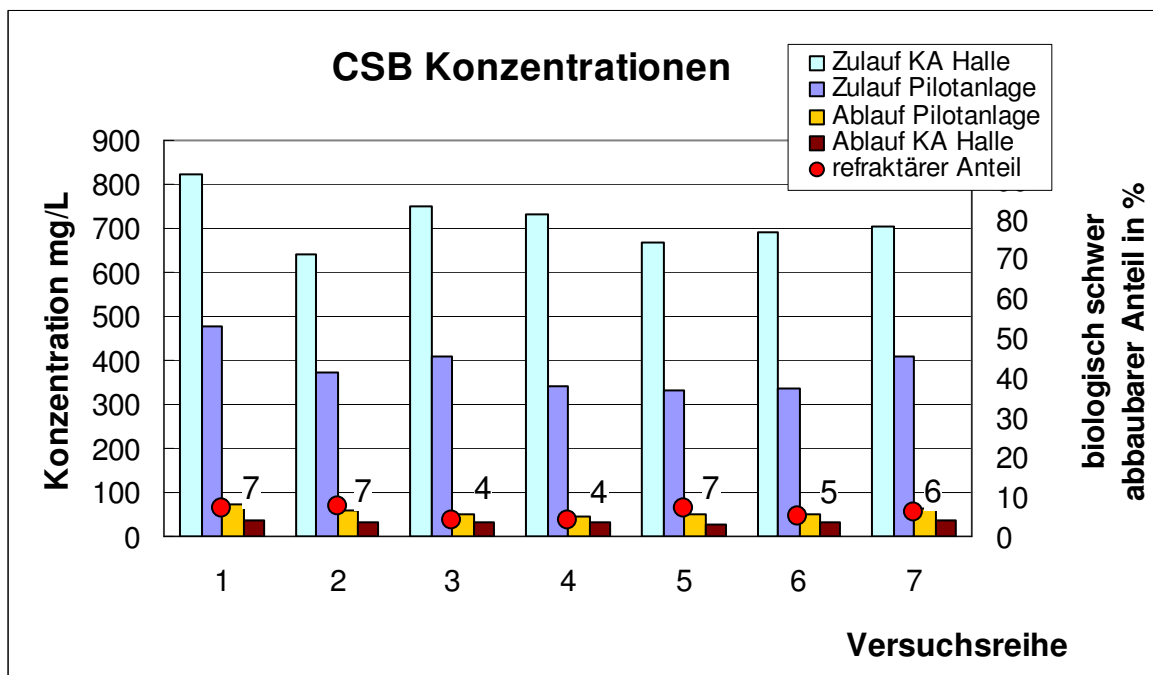


Bild 17: CSB-Abbau in Vorklärung der KA Halle/Nord und in der Pilotanlage sowie biologisch schwer abbaubarer CSB-Anteil (angegebener Zahlenwert) im Zulauf der Pilotanlage (homogenisiert; KA Halle: 2h-Mischproben; Pilotanlage: 24-Mischproben).

In den Abbildungen 16 und 18 sind die Konzentrationen von CSB und BSB5 der homogenisierten 24-h-Mischproben von Zu- und Ablauf der Pilotanlage dargestellt. Die aufgetragenen Ergebnisse stellen Einzelwerte in den Versuchsreihen dar. Während der Versuchsreihen 1 und 6 wurden keine Daten ermittelt.

Die BSB5-Konzentrationen liegen im Versuchsbetrieb im Zulauf im Bereich von 111 bis 163 mg/L und im Ablauf von 3,6 bis 16,5 mg/L. Dies entspricht Abbaugraden von 89 bis 97 %. Auch hier wird deutlich, dass ein Großteil der leicht abbaubaren organischen Verbindungen bereits in der Vorklärung der Kläranlage abgebaut werden (ca. 50%), denn vor dem Passieren der Vorklärung befinden sich noch BSB5-Konzentrationen von durchschnittlich 280 mg/l über den gesamten Versuchszeitraum.

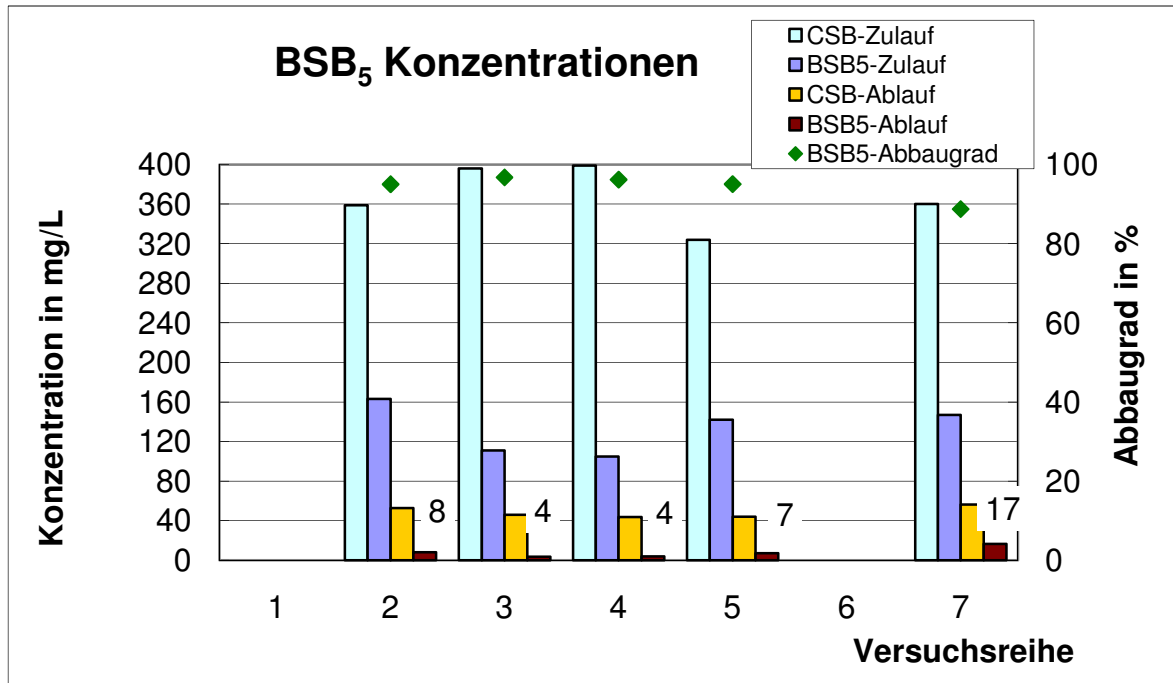


Bild 18: Vergleich der CSB- und BSB5- Konzentrationen der Pilotanlage aus Zu- und Ablauf anhand von 24-h-Mischproben an einzelnen Tagen in den Versuchsreihen. (Der angegebene Zahlenwert entspricht der BSB5-Ablauf-Konzentration.)

Die prozentuale Leistungsfähigkeit der C-Stufe ist hauptsächlich vom Rezirkulations/Zulauf-Verhältnis abhängig. Mit zunehmender Rezirkulation vermindert sich die Anfangskonzentration durch Verdünnung, während die Ablaufkonzentration konstant, dem nicht abbaubaren Anteil entspricht. Insofern sind prozentuale Bewertungen nur von eingeschränkter Bedeutung.

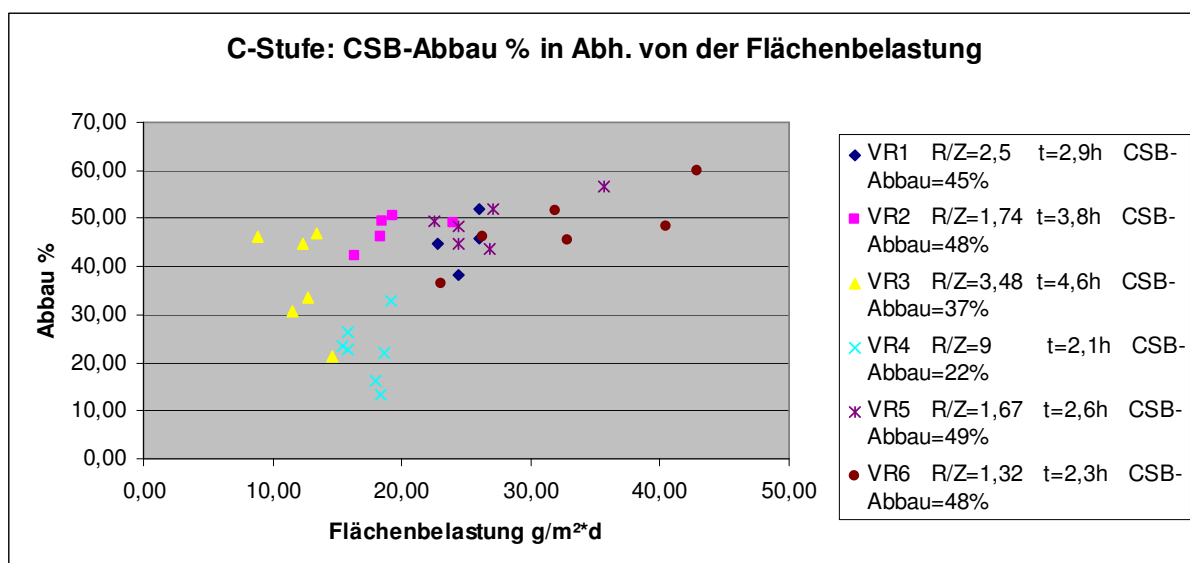


Bild 19: CSB-Abbau in der C-Stufe in Abhängigkeit von der CSB-Flächenbelastung (auf C-Stufe bezogen; CSB-Flächenbelastung von der DeNi ausgehend berechnet; R/Z=Rezirkulations/Zulauf-Verhältnis; t=theoretische Verweilzeit in C-Stufe)

Während der Versuchsreihe 6 wurde mit 2 m³/h der höchste Zulaufvolumenstrom gewählt. Das führte zu den höchsten CSB-Flächenbelastungen (ca. 40 g/m²*d), die im Versuchsbetrieb eingestellt wurden (siehe Tabelle ... und Abbildung ...). Die DWA [DWA IG-5.6, 2007] empfiehlt für die Vor- bzw. Teilbehandlung 12 bis 40 g CSB/(m²*d). Die maximal erreichten CSB-Abbaugeschwindigkeiten in der C-Stufe von 25 g CSB/(m²*d) entsprechen wiederum ungefähr den vorgeschlagenen 24 g CSB/(m²*d) für die Auslegung der Kohlenstoff-Elimination. Ein Einfluss der Verweilzeit des Abwassers in der C-Stufe auf den Abbau (%) bzw. die Abbaugeschwindigkeit konnte hier nicht festgestellt werden. Unabhängig von der Flächenbelastung erreicht der C-Abbau in der C-Stufe die 60% nur einmal während des gesamten Versuchszeitraumes.

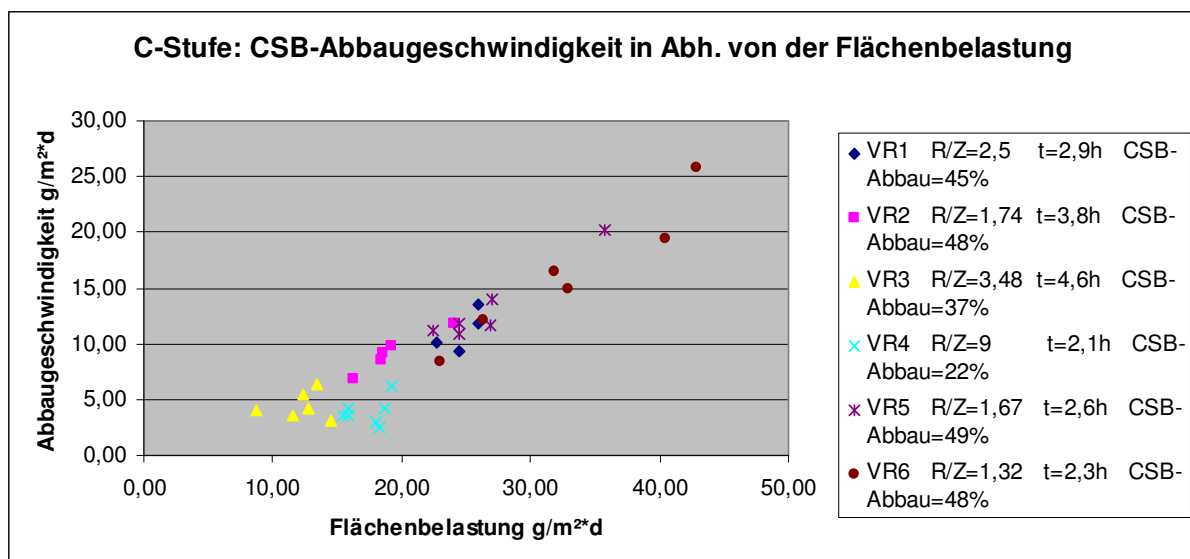


Bild 20.: CSB-Abbaugeschwindigkeit in der C-Stufe in Abhängigkeit von der CSB-Flächenbelastung (auf C-Stufe bezogen; CSB-Flächenbelastung von der DeNi ausgehend berechnet; R/Z=Rezirkulations/Zulauf-Verhältnis; t=theoretische Verweilzeit in C-Stufe)

Stickstoff-Umsetzung

In Abbildung ... ist der typische Verlauf der Stickstofffraktionen über die Reaktorstufen dargestellt. Der Anteil des Ammoniums am Gesamtstickstoff im Zulaufstrom betrug während des Versuchszeitraumes etwa 60 bis 80 %. Das Ammonium entsteht zum großen Teil bereits beim Zerfall von Stickstoffverbindungen (Einweiße, Harnstoff) in der Kanalisation und im Vorklärbecken, aber auch in der Anlage. So ist vom Mischzulauf (Konzentration aus Zulaufstrom und rezirkuliertem Strom) hin zur Denitrifikation eine Erhöhung der Ammonium-Konzentration zu erkennen, die zumindest zum Teil noch auf Ammonifikation während des Abbaus von organischen Verbindungen in der Denitrifikation zurückgeführt werden kann. Die erhöhte Konzentration an Nitrat im Misch-Zulauf stammt aus dem Rezirkulationsstrom, wird aber in der Denitrifikationsstufe erwartungsgemäß abgebaut. Hier erfolgt auch der Großteil des Gesamtstickstoffabbaus. Von der Zwischenklärung aus erfolgt hauptsächlich über die beiden ersten Nitrifikationsstufen die Umwandlung des Ammoniums zum Nitrat. Während des Versuchsbetriebes reichen meist zwei Drittel der dafür vorgesehenen Reaktionsfläche aus, um

die NH₄-N-Konzentration auf unter 1 mg/l zu bringen. Nitrit tritt im stabilen Betrieb in keiner Reaktorstufe in nennenswerten Maßen auf.

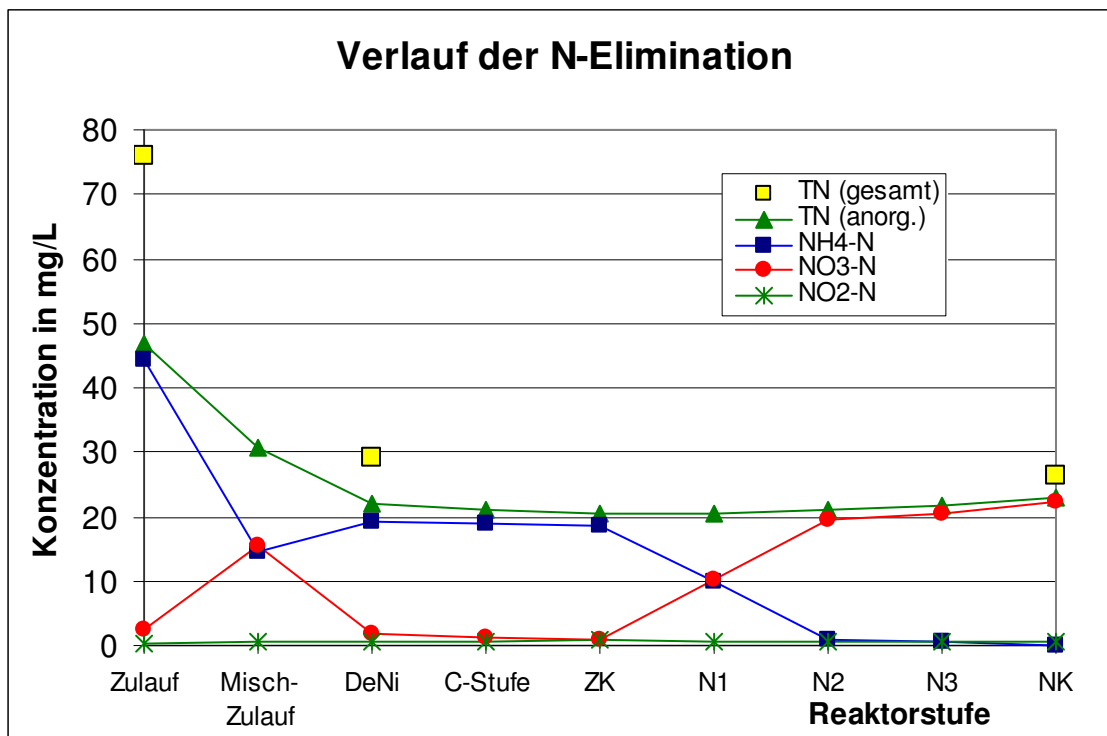


Bild 21: Typischer Verlauf der gemessenen NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N und TN-Konzentrationen über die Anlage in Versuchsreihe 7 (RV= 2; TN(gesamt) aus homogenisierten 24-h-Mischproben; TN(anorg.) Summe aus NH₄-N, NO₃-N und NO₂-N)

In Tabelle 4 finden sich die durchschnittlichen TKN Zulauffrachten sowie die entsprechenden TKN-Einwohnerwerte während der 7 Versuchsphasen. In den Phasen C5 und C6 lag die höchste Belastung vor, in den Versuchen C3 und C4 wurde die Nitrifikationskapazität der Anlage zu weniger als 50% ausgeschöpft:

Tab.4: TKN-Frachten in den Versuchsreihen (Annahme tägliche Stickstofffracht pro EW=11 g N/d*EW)

Versuchsreihe	TKN-Frachten in kg/d						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Zulauf Anlage kg/d	1,6	1,7	0,8	0,8	2,2	2,5	79,1
~EW	146	154	75	73	203	232	171

Bild 21 stellt die gemittelten TN-Konzentrationen in Zu- und Ablauf in den Versuchsreihen dar. Zur Abschätzung ungelöster N-Verbindungen ist TN(gesamt) und TN(anorg.) aufgetragen. Dabei entspricht TN(gesamt) den Konzentrationen aus homogenisierten 24-h-Mischproben. Der Anteil ungelöster N-Verbindungen im Zulauf bewegt sich im Bereich von 19 bis 39 %. Im Ablauf wurden 8 bis 35 % ungelöste N-Verbindungen ermittelt.

Der Abbau der N-Verbindungen (TN(gesamt)) über die Versuchsanlage erfolgt zwischen 59 und 78 %. Dabei sind die geringeren Abbaugrade in den Versuchsreihen 5 bis 7 auf das geringe Rücklaufverhältnis RV zurückzuführen (siehe Tab. 4), wodurch weniger Nitrat zum Abbau in der Denitrifikation bereit gestellt wurde.

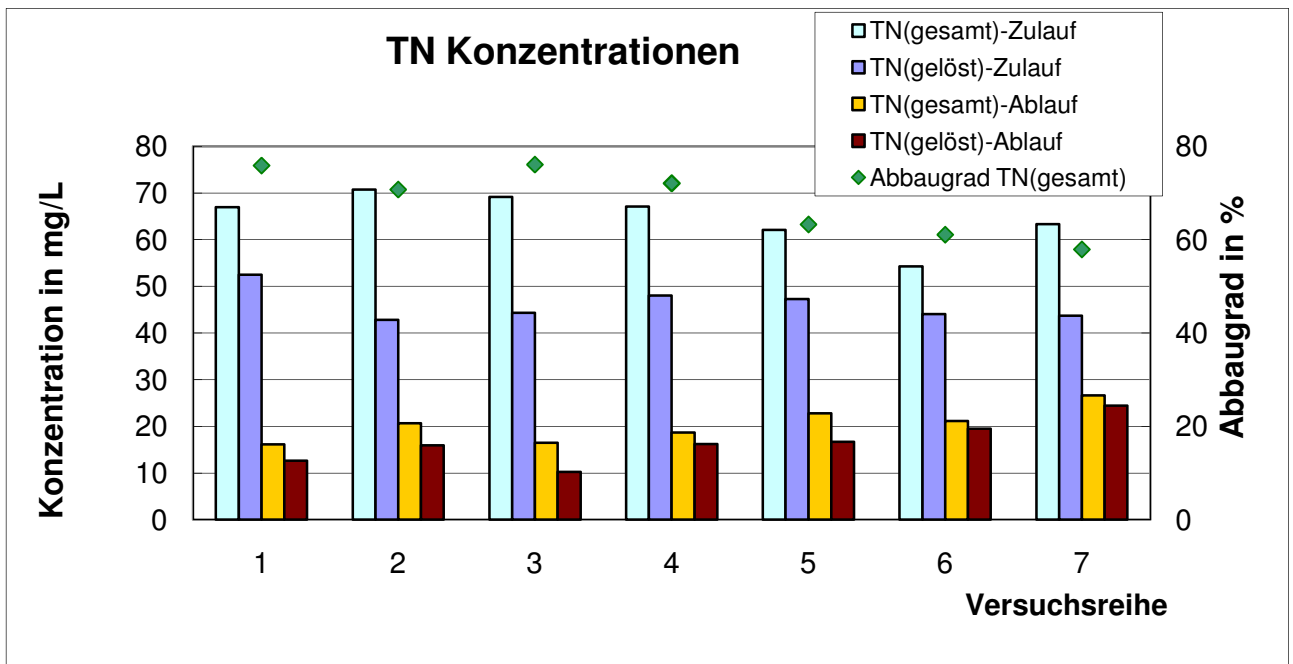


Bild 21: TN-Abbau und Vergleich gelöster und partikulärer TN-Verbindungen

In Bild 22 wird gezeigt, dass Ammonium fast vollständig umgewandelt wird. Es konnten im Mittel noch $\text{NH}_4\text{-N}$ -Restkonzentration im Bereich von 0,3 bis 1,2 mg/L nachgewiesen werden. Dies entspricht Abbaugraden von ca. 99% in allen Versuchsreihen. Die niedrigeren Abwassertemperaturen, die sich verstärkende Verschlämzung der Festbetten sowie die höheren Flächenbelastungen in diesen Versuchsreihen (höhere Zulaufvolumenströme und $\text{RV} < 2$) können in den Versuchsreihen 5 bis 7 Grund für die leicht erhöhten Restkonzentrationen an $\text{NH}_4\text{-N}$ sein.

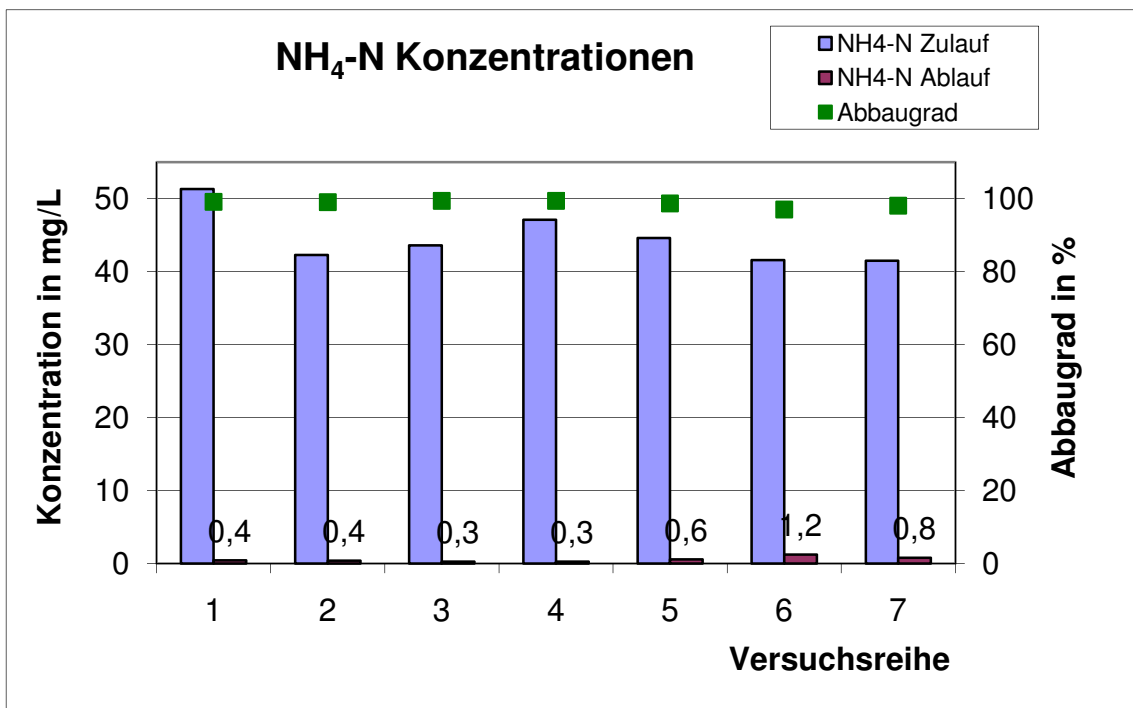


Bild 22: Abbau von $\text{NH}_4\text{-N}$ in den verschiedenen Versuchsreihen

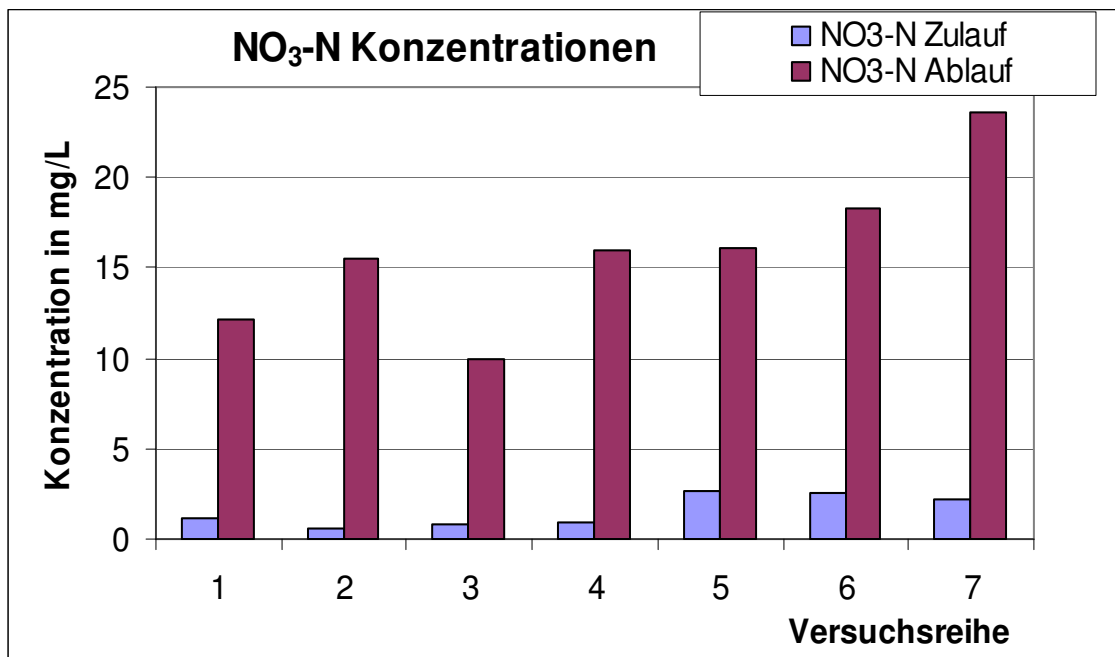


Bild 23: NO₃-N Konzentrationen in Zu- und Ablauf in den Versuchsreihen

Mit Ausnahme der Versuchsreihen 3 und 4 können die anderen, ausgehend von den TKN-bezogenen Einwohnerwerten, als der Auslegung der Anlage (200 EW) entsprechend bezeichnet werden (Tabelle ...).

Aus Bild 25 geht hervor, dass die NH₄-N-Flächenbelastungen in der Forschungsanlage während der Versuchsreihen, die DWA-Grenzbelastung von 1,75g/m²*d nicht erreichten. Das ist auch an den durchweg hohen Abbaugraden zu erkennen auch bei Temperaturen unter 12°C. Die höchste über die gesamte Nitrifikationsstufe errechnete NH₄-N-Abbaugeschwindigkeit lag bei 1,47 g/m²*d. Insofern wurde in Halle die Anlage unterkritisch belastet.

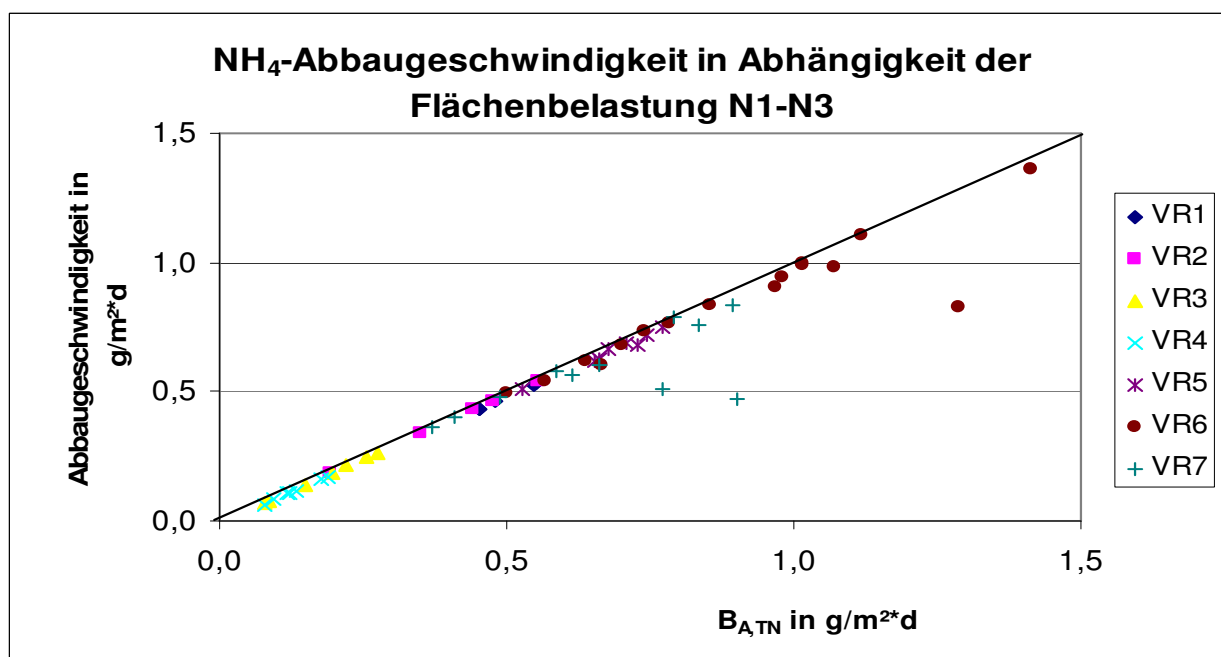


Bild 25: NH₄-N-Abbaugeschwindigkeit in Abhängigkeit von der TKN-Flächenbelastung im Versuchszeitraum über N1-N3 (Flächenbelastungen und Abbaugeschwindigkeiten von Konzentration in ZK über Gesamtfläche der N-Stufe berechnet)

In den folgenden Bilder 26 und 27 wird detaillierter auf die Leistungsfähigkeit der einzelnen Stufen eingegangen. Dabei werden für die Nitrifikationsstufen N1 bzw. N2 die jeweiligen NH₄-N-Flächenbelastungen dargestellt mit den jeweils zugehörigen NH₄-N-Abbaugeschwindigkeiten verglichen.

Dabei zeigt sich, dass in der ersten Stufe in der Regel die Abbaugeschwindigkeiten unterhalb von 1 g/m²*d lagen. Dies lag vermutlich an der Verlagerung des C-Abbaus in die N1 Stufe bei bestimmten Versuchsreihen. So wurden nur während der Versuchsreihe C7 Abbaugeschwindigkeiten von bis zu 1,36 g/m²*d erreicht. In dieser VR wurden die Nitrifikationsstufen häufiger gespült. Während der VR 6 war die organische Belastung am höchsten wodurch Reste des refraktären CSB noch in der ersten N-Stufe abgebaut wurden. Dadurch hat sich der Schwerpunkt der Nitrifikation in die 2. N-Stufe verlagert. Hier steigern sich die Abbaugeschwindigkeiten und erreichen Werte von bis zu 2 g/m²*d. Möglicherweise war zu dieser Zeit die erste Stufe auch teilweise verstopft, was zu einer Verschiebung der Nitrifikationsaktivität in die zweite Stufe führte. Somit waren in der zweiten N- Stufe über den Versuchszeitraum eine höhere Stabilität der Nitrifikationsleistung festzustellen. Die zweite Stufe bildet in dieser Weise eine Art Sicherung zum Abfangen von höheren Belastungen, was den großen Vorteil der Kaskadenbauweise von Festbetтанlagen bestätigt (ATV 2002). Die dritte Nitrifikationsstufe war während der meisten der Versuchsreihen nur noch sehr schwach belastet, weil über N1 und N2 der Großteil der Nitrifikation stattfand und die Gesamtbelastung insgesamt nicht noch genug war. Dennoch konnten unter Substratlimitierung Abbaugeschwindigkeiten von bis zu 1 g/m²*d festgestellt werden.

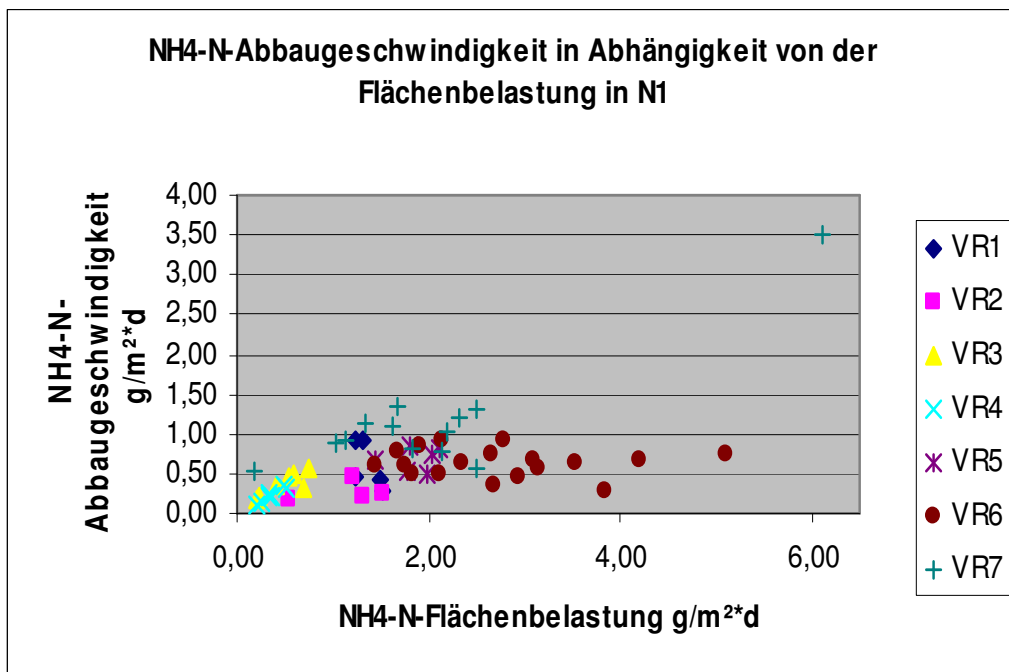


Bild 26: NH₄-N-Abbaugeschwindigkeiten in der N-Stufe 1 ausgehend vom Ablauf der ZK

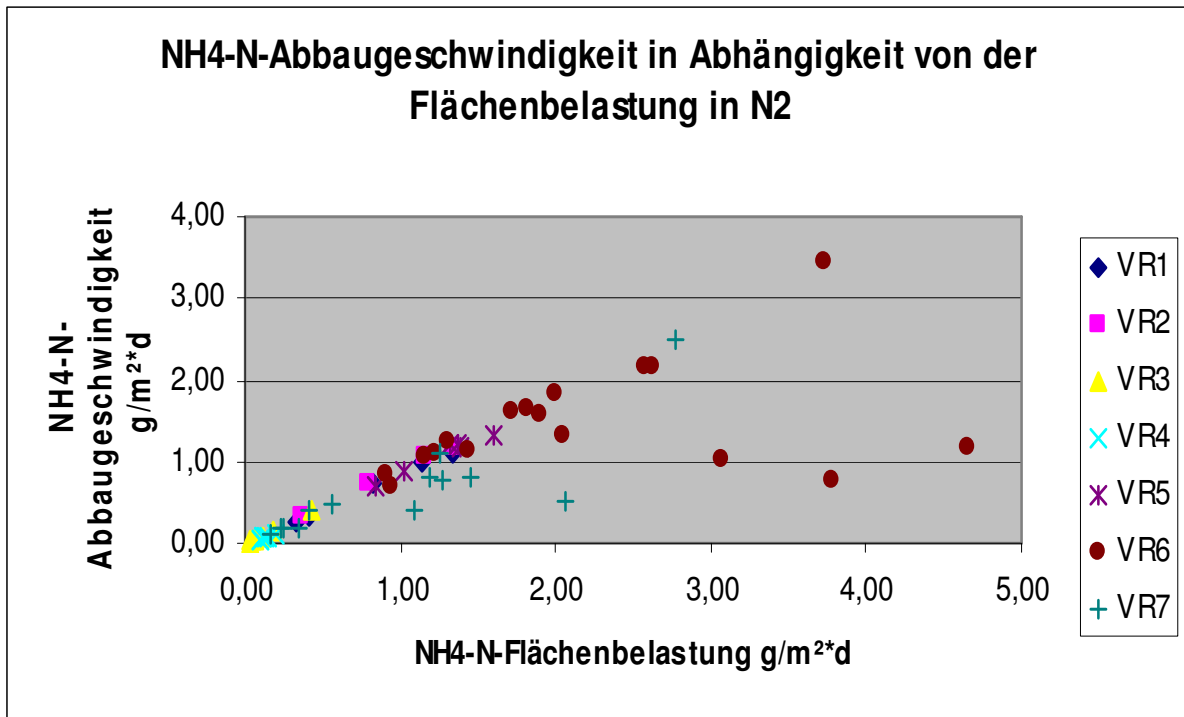


Bild 27: NH₄-N-Abbaugeschwindigkeiten in der N-Stufe 2 ausgehend vom Ablauf der Stufe N1

Ergebnisse weiterer Untersuchungen zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Nitrifikationsstufen

Harnstoffdosierung und Batch-Versuche

Zwischen den Versuchsreihen C6 und C7 (20.12.2007-7.2.2008; siehe Bild 28) wurde die Leistungsfähigkeit der Nitrifikationsstufe durch zusätzliche Harnstoffdosierung und damit der Erhöhung der TKN-Flächenbelastung getestet. Die Dosierung erfolgte in die Zackerinne der Zwischenklärung, also direkt in den Zulauf der Nitrifikationsstufe. Die Nitrat-Bildungsgeschwindigkeit wurde in dieser Phase als Parameter zur Leistungsbeurteilung herangezogen. Für die erste Stufe, die direkt mit dem Harnstoff beaufschlagt wurde, ergab sich eine deutliche Zunahme der Nitrifikation auf fast 2 g/m²*d. Damit konnten, wenn auch nur für kurze Zeit, die Nitrat-Aufbaugeschwindigkeit verdoppelt werden. Kurz vor Beendigung der Dosierung sank die Nitrat-Aufbaugeschwindigkeit in N1 jedoch wieder und erreichte in der restlichen Zeit (Versuchsreihe C7) wiederum nur noch Werte um 1 g/m²*d. Die Ursache dafür konnte nicht eindeutig gefunden werden.

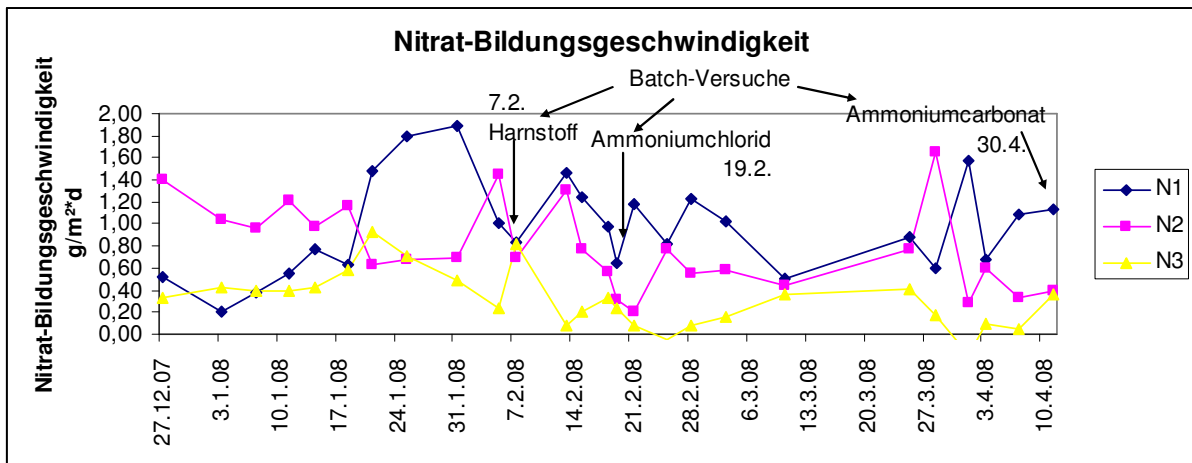


Bild 28: Nitratbildungsgeschwindigkeiten bei kontinuierlicher (bis 5.2.2008) und diskontinuierlicher Harnstoff- zugabe.

Unmittelbar nach der kontinuierlichen der Harnstoff-Dosierung wurde der erste von drei Batch-Versuchen durchgeführt. Während der Versuche wurde der Abwasserfluss zwischen den Stufen der Anlage unterbrochen (Stoppen der Zulauf- und Rezirkulationspumpe), wobei die Belüftung beibehalten wurde. Nach Unterbrechen des Abwasserflusses wurde in die N-Stufen gleichzeitig Harnstoff (Versuch 1), Ammoniumchlorid (Versuch 2) und Ammoniumcarbonat (Versuch 3) dosiert. Der erste Versuch zeigte, dass bei gleichzeitiger Gabe von Harnstoff in die drei Becken, im Gegensatz zum kontinuierlichen Betrieb, die Nitrat-Aufbaugeschwindigkeiten vergleichbar waren.

In Bild 29 ist für den dritten Batch-Versuch die Konzentrationszunahme an Nitrat nach der Zudosierung von Ammoniumcarbonat für die drei N-Stufen aufgetragen.

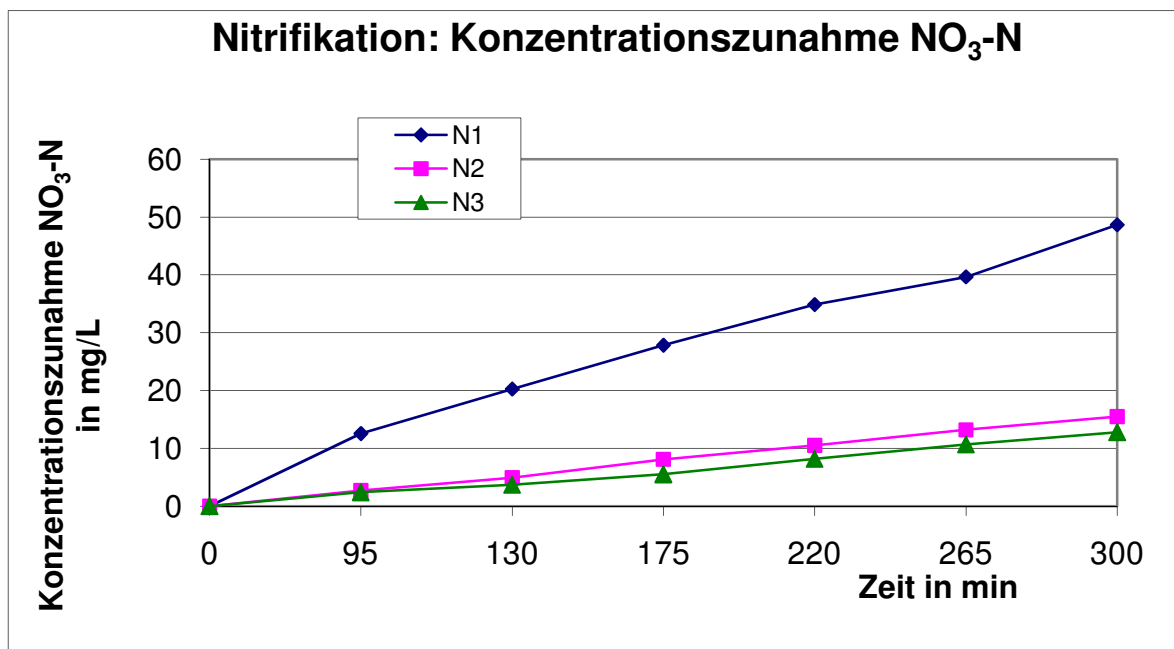


Bild 29 Verlauf der NO₃-N-Konzentration nach Zugabe von Ammoniumcarbonat in die N-Stufe (TW: 14 °C)

Dabei zeigt sich ein für alle Batch-Versuche typisches Bild. Die Abnahme der NH₄-N-Konzentration verlief in der ersten Stufe schneller, während sich die zweite und dritte Stufe nicht signifikant voneinander unterschieden. Die Differenz zwischen N1 und N2/N3 war

jedoch während der Versuche unterschiedlich hoch, was möglicherweise auch durch andere Parameter, wie den unterschiedlichen Sauerstoff-Konzentrationen in den Versuchen zu erklären ist (die Belüftung war vor Beginn der Versuchsreihe 7 in N2 und N3 zugunsten der Denitrifikation verringert worden). Tabelle 5 zeigt die NO₃-N-Bildungsgeschwindigkeiten während der Batch-Versuche mit zusätzlicher Angabe der an den entsprechenden Tagen vorgefundenen Sauerstoff-Konzentrationen, sowie den Abwassertemperaturen.

Tab. 5: NO₃-N-Bildungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Sauerstoff-Konzentration und der Temperatur während drei Batch-Versuche

Versuch	TW in °C	Parameter	N1	N2	N3
I	10,0	O ₂ in mg/L	9,08	8,58	6,25
		rA(NO ₃ -N) in g/m ² *d	0,84	0,69	0,82
II	8,0	O ₂ in mg/L	9,66	5,06	4,1
		rA(NO ₃ -N) in g/m ² *d	0,65	0,31	0,24
III	14,3	O ₂ in mg/L	7,27	4,19	3,3
		rA(NO ₃ -N) in g/m ² *d	1,14	0,39	0,37

Zum Einen ist es möglich, dass die niedrigeren Sauerstoff-Konzentrationen die NO₃-N-Bildungsgeschwindigkeiten in N2 und N3 herabsetzen. Weiterhin ist aber auch die Temperatur von Bedeutung. So sind trotz durchgehend niedrigerer Sauerstoff-Konzentrationen während des dritten Versuches (14 °C) die Abbaugeschwindigkeiten noch höher als während des zweiten Versuches (8 °C).

Die Nitrat-Bildungsgeschwindigkeiten während der Batch-Versuche blieben allesamt deutlich unter der von der DWA empfohlenen Auslegung von 1,75 g/m²*d für Nitrifikation in getauchten Festbetten, jedoch schon dichter an den 1,2 g/m²*d, die für kleinere Anlagen empfohlen werden. Dass höhere Bildungsgeschwindigkeiten möglich sind, zeigten die Harnstoff-Dosierungsversuche.

Als begrenzend muss sicher auch die den Batchversuchen vorausgehende Substratlimitierung angesehen werden, die den möglichen Biomasse aufwuchs begrenzt hat.

Leistungsfähigkeit der Denitrifikation

Wie bereits unter dem Punkt Kohlenstoffabbau erwähnt, erfolgte die Zuführung des Wassers zur Pilotanlage nach der Vorklärung. Die Denitrifikation erhielt daher nur in geringerem Maße leicht abbaubaren Kohlenstoff.

Zum Ende der Versuchsreihe C7 (siehe Tab.2) wurden fünf Nitrat-Dosierungsversuche an der Denitrifikationsstufe der Pilotanlage durchgeführt, um gegenüber dem normalen Versuchsbetrieb höhere Nitrat-Belastungen zu simulieren. Die Versuche erfolgten kontinuierlich über mehrere Stunden hinweg bis zur Einstellung einer weitgehend konstanten Ablauf-Konzentration (Berücksichtigung der Durchmischung des Wasserkörpers der Denitrifikationsstufe). Während der Dosierung von Kaliumnitrat-Lösung wurde die Rezirkulation abgeschaltet, um eine konstante Nitrat-Zulaufkonzentration zu gewährleisten und nicht unnötig große Mengen an Nitrat in die Anlage zu fahren.

In Bild 30 sind zum einen Messwerte aus dem „normalen“ Versuchsbetrieb (Versuchsreihe C7) aufgetragen und zum anderen die Resultate der Dosierungsversuche. Die Flächenbelastung für NO₃-N liegt bei den ersten meist unter 2,5 g/m²*d. Für Flächenbelastungen bis 1,5 g/m²*d sind auch die dazugehörigen Abbaugeschwindigkeiten groß, sodass sich die Punkte relativ dicht an

der 100%-Abbaulinie befinden. Bis auf den ersten Punkt der Dosierungsreihe liegen die Flächenbelastungen hier deutlich über 2,5 g/m²*d.

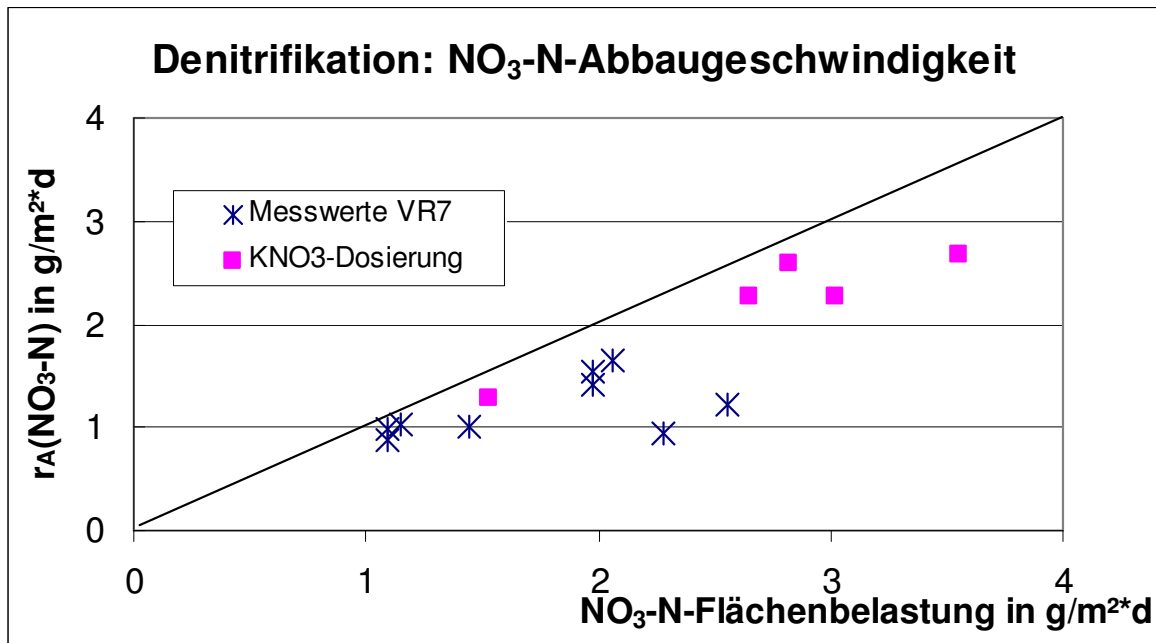


Bild 30: NO₃-N-Abbaugeschwindigkeit in Abhängigkeit von der NO₃-N-Flächenbelastung für die Versuchsreihe 7 (Zulauf = 1,25 m³/h; Rezirkulation = 2,5 m³/h) und die fünf Termine der KNO₃-Dosierung

Dennoch liegen für die Dosierungsversuche die Abbauraten immer über 75% (siehe Abb. 21), während beim „normalen“ Betrieb eine Abnahme des NO₃-N-Abbaus mit zunehmender Flächenbelastung zu beobachten ist.

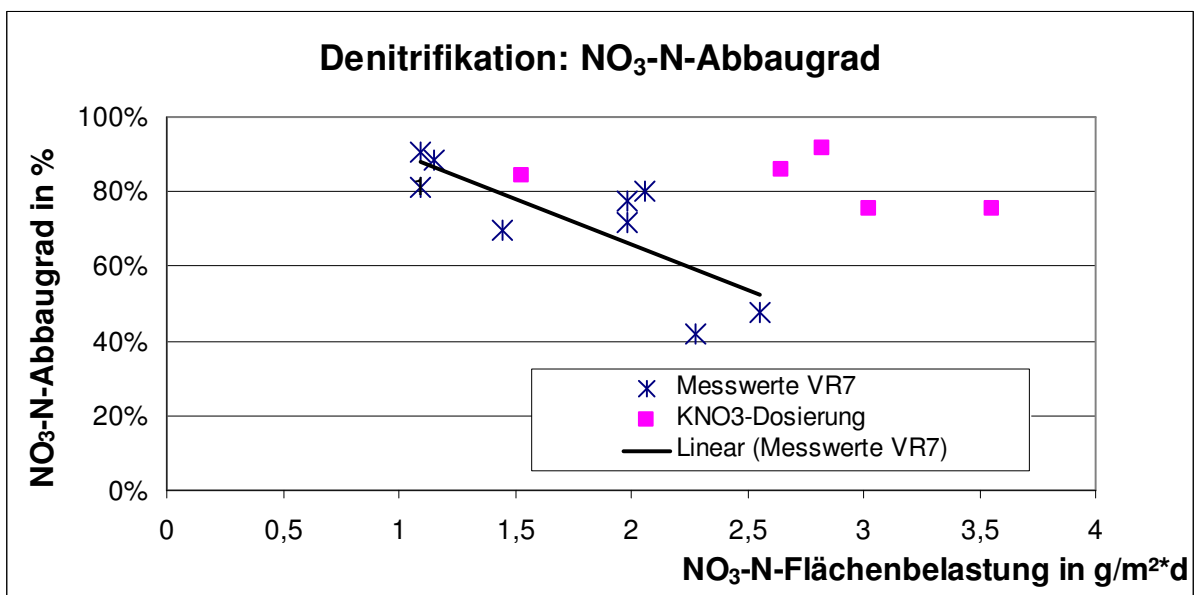


Bild 31: NO₃-N-Abbaugrad in Abhängigkeit von der NO₃-Flächenbelastung für die Versuchsreihe C7 (Zulauf = 1,25 m³/h; Rezirkulation = 2,5 m³/h) und die fünf Termine der KNO₃-Dosierung

Da während der Dosierungsversuche die Rezirkulation abgeschaltet blieb, senkt sich die gelöste Sauerstoff-Konzentration in der DeNi ab. Das ist eine Erklärung für die höheren Abbauraten. In Bild 32 ist deutlich zu erkennen, dass mit steigender Sauerstoff-Konzentration ($>0,5 \text{ mg/L O}_2$) die Abbauraten sinken, weil die Mikroorganismen für den Kohlenstoff-Abbau weniger auf den im Nitrat gebundenen Sauerstoff, sondern auf den im Abwasser gelösten Sauerstoff für den Nitrat-Abbau zurückgreifen. Infolge der ausgeschalteten Rezirkulation ist im Vergleich zum Normalbetrieb die Konzentration an leicht abbaubarem CSB höher und die Verweilzeit des Abwassers länger.

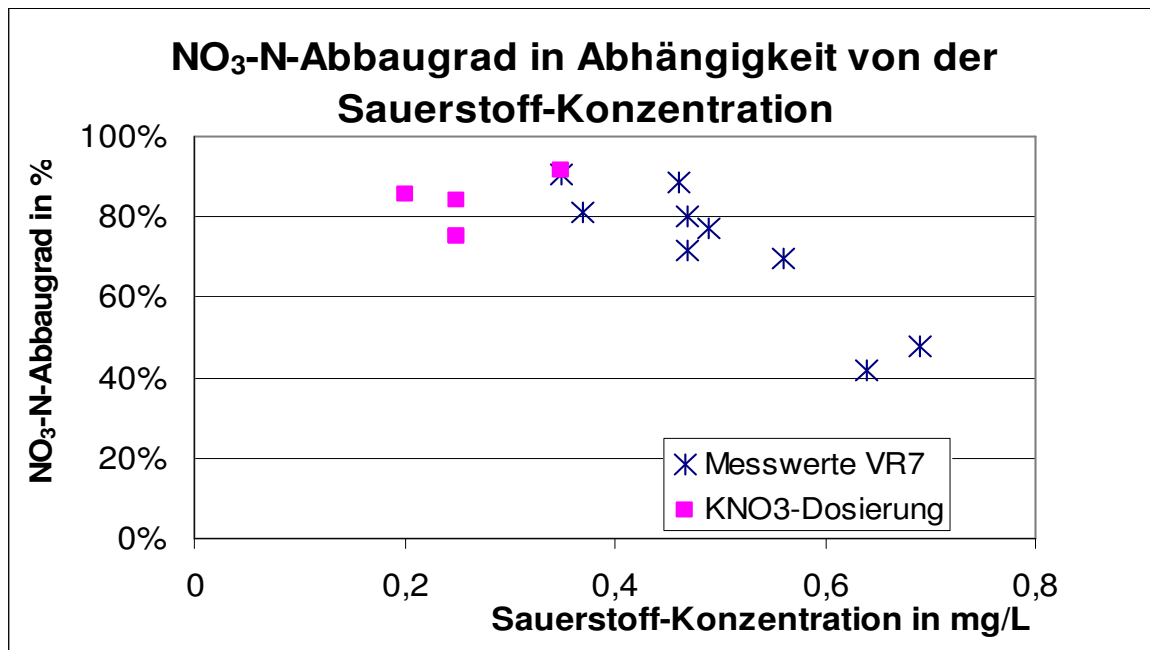


Bild 32: NO₃-N-Abbauraten in Abhängigkeit von der O₂-Konzentration (Schwebebett-DeNi)

Überwachung der Spülung

Als Indikator für die Größe der Biomasse im Festbett in den Festbettstufen wurde die sedimentierbare Biomasse nach einer Spülung bestimmt. Dazu wird die entsprechende Reaktorstufe mit Luft gespült (d.h. erhöhte Luftzufuhr). Aus dieser intensiv aufgewirbelten Stufe, wird 1L Abwasserprobe entnommen und in einem Absetztrichter 15min stehen gelassen. Das in dieser Zeit sedimentierbare Schlammvolumen wird abgelesen und als mL pro Liter angegeben.

Mit dieser Überwachung kann der Gefahr der Verschlämzung bei zu hohen Werten entgegnet werden. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn eine Anlage neu in Betrieb zu nehmen ist und für Spüldauer und Spülzyklen noch keine Referenzwerte ermittelt werden konnten.

Zur Orientierung gibt Bild 33 typische Verläufe der gemessenen Schlammvolumina in den Reaktorstufen im Normalfall und bei erhöhter Biofilmdicke.

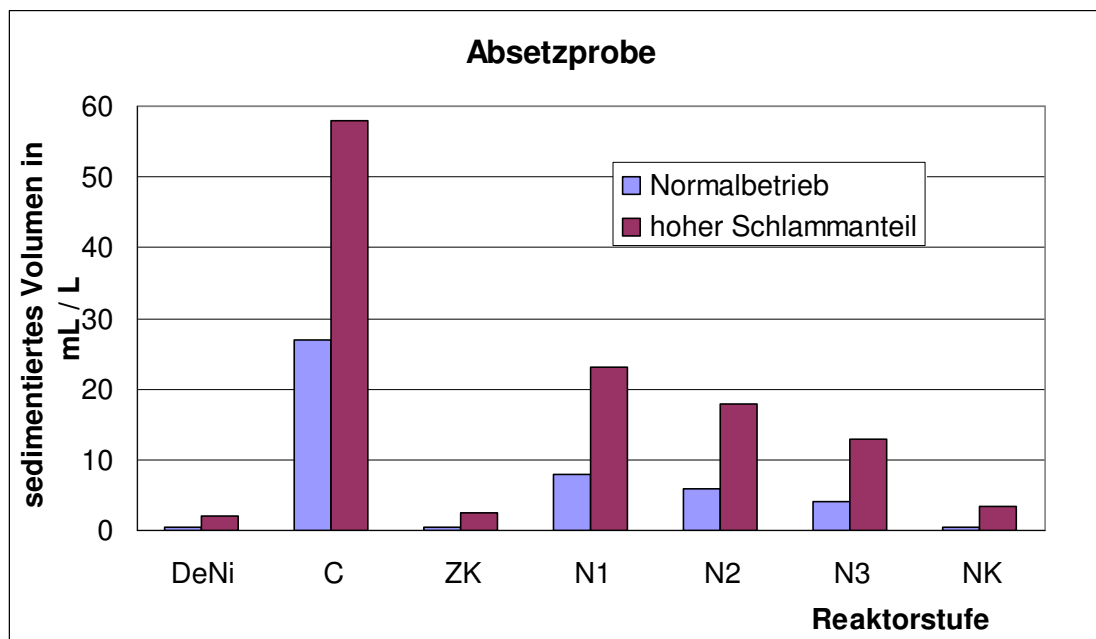


Bild 33.: Verlauf der sedimentierbaren Schlammvolumina in den Reaktoren (Absetzprobe)

Die in Bild 32 gezeigten erhöhten Schlammgehalte traten gegen Ende der Versuchsreihe C6 auch verursacht durch Probleme in der ZK und NK auf. Der hohe Schlammgehalt wurde durch Reinigen der Lamellen in der ZK und NK vermindert. Zudem wurde ein Schlammbrückenzerstörers nachgerüstet, der durch regelmäßiges Ansaugen bzw. Ausstoßen von Luft einerseits für die Reinigung der Lamellen und andererseits für die Vermeidung von Totzonen am Grund der Absetzbecken sorgen sollte. Zusätzlich wurde das Spülen der Festbettreaktoren mit Luft intensiviert (Erhöhung von 2 auf 3 mal Luftspülen pro Woche, Erhöhung der Spüldauer auf ca. 15 bis 20 min).

Im Normalbetrieb betrug der Schlammgehalt in DeNi, ZK und NK < 1mL/L.

Schlammstabilisierung

Im ersten Stabilisierungsansatz nahm der Glühverlust des Schlammes (ca. 3,5% Trockensubstanz) über einen Zeitraum von 38 Tagen von 70% (siehe Abb. 9) auf ca. 65% ab und somit erfolgte eine erwünschte Reduzierung der organischen Bestandteile im Schlamm. Damit erreichte der Schlamm auch die Stufe der Teilstabilisierung (Teilstabilisierung für Glühverlustwerte zwischen 55 % und 65 %) laut Vorgabe im Leitfaden des Landesverbandes Bayern (Nr. 2-4).

Während eines Batch-Versuches ergab die Messung der Atmungsaktivität dieses Schlammes am Ende seiner Stabilisierungszeit einen Sauerstoffverbrauch von 5 mg O₂/l*h (5,64 g O₂/kg oTS*d). Zeitnah wurde das Experiment im Labormaßstab unter Nitrifikationshemmung (Zugabe von N-Allylthioharnstoff) wiederholt und ergab einen Sauerstoffverbrauch von 3 mg O₂/l*h (3,39 g/kg oTS*d). Im Leitfaden vom Landesverband Bayern (Nr. 2-3) ist für Schlamm mit Teilstabilisierung eine Abnahme der Sauerstoff-Konzentration von 12 bis 18 mg/l*h angegeben, für ausreichend stabilisierten Schlamm 6 bis 9 mg/l*h. Somit zeigte das Experiment für den belüfteten Schlamm einen guten Stabilisierungsgrad an. Auch der TTC-Test führte zu der Aussage, dass dieser Schlamm als ausreichend stabilisiert bezeichnet werden kann, denn er behielt unter Zugabe der Testreagenz Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC) seine gelb-braune Färbung, während einzudickender Schlamm mit hohem organischen Anteil sich rötlich verfärbt, die die Folge der Reaktion des Enzyms Dehydrogenase ist.

Während des zeitgleichen Eindickens des Schlammes im anderen Behälter erfolgte war der Schlammbrückenzerstörer in die Zwischenklärung eingebaut worden, der zusätzlich Luft in die Region der Zwischenklärung einbrachte, aus der der Schlammabzug zur weiteren Eindickung in die Schlammstapelbehälter erfolgte. Dies führte zu einer Vorstabilisierung des Schlammes bereits während der Eindickungsphase. So konnten bereits nach vier Tagen Glühverlust-Werte bestimmt werden, die denen des ersten Stabilisierungsansatzes am Ende der Stabilisierung ähnelten und auch nicht mehr weiter abnahmen. Auf diese Weise könnten die Belüftungszeiten stark verringert werden.

Jedoch sollte das Trübwasser nicht vergessen werden, das während des Versuchsbetriebes in Halle nicht wieder der Pilotanlage zugeführt wurde, aber in der Wirklichkeit eine zusätzliche Belastung der Anlage bedeuten würde.

1.4.4. Abschluß der Arbeiten in Halle und Vorbereitung des Auslandseinsatzes

Der Betrieb in Halle wurde bis zum 15.4.2008 fortgesetzt. Danach wurde die Verschiffung zum Auslandseinsatz in Tunesien geplant und umgesetzt.

Zur Vorbereitung auf den Einsatz im Ausland wurden noch einige technische Änderungen an der Anlage durchgeführt.

- Erneuerung von Teilen der Luftzufuhrleitung durch Edelstahlleitungen
- Ergänzung der Sauerstoffsonde mit einer Spülvorrichtung
- Komplette Erneuerung aller Festbetten und Lamellenklärer, Veränderung des Festbetts auf Typ KVP 623 für die C-stufe und KVP 6198 für die N-Stufe
- Änderungen der Steuerungseinheit, Ergänzung mit französischem Befehlssprachsatz
- Änderungen an der Arbeitsbühne
- Ergänzung der Reaktoren mit einem Sonnenschutz zur Vermeidung übermäßigen Algenwachstums
- Beschaffung eines weiteren Niveaumessgeräts zur Steuerung der Zulaufpumpe.

1.5. Durchführung von Feldtests im Zielland - Optimierung der Demonstrationsanlage

1.5.1. Auswahl des Standorts

Die Konzeption der Testanlage wurde Vertriebspartnern der GEA 2H Water Technologies GmbH, die in potenziellen Zielländern aktiv sind, vorgestellt. (u.a.Südafrika, Thailand). Es wurde ferner auf den Messen IFAT 2006 und Pollutec Lyon 2007 Kunden vorgestellt.

An einem Standort sind folgende Anforderungen an die Rahmenbedingungen gestellt worden:

1. Ortschaft mit Einwohnerzahl im Bemessungsrahmen (200EW) oder Anschluss an Kanal mit einem Einzugsgebiet von mindestens 200EW.
2. Kanalisation vorhanden
3. Z.Z. keine Kläranlage vorhanden

Insbesondere die Voraussetzung Nr. 2, eine vorhandene Kanalisation, erwies sich als kritischer Faktor. Schlussendlich entschied man sich für eine Aufstellung in Tunesien. Hierfür waren folgende Überlegungen maßgebend:

1. Tunesien als Mittelmeerranrainer und auf Tourismus angewiesenes Gebiet, entspricht den Vermarktungsüberlegungen der GEA 2H Water Technologies GmbH.
2. Der Partner CITET verfügt über eigene Laboreinrichtungen zur Abwasseruntersuchung und wurde wegen der Zusammenarbeit mit der GTZ als vertrauenswürdig eingeschätzt.
3. Das CITET führt selbst Demonstrationsvorhaben aus und sucht eine informative Wirkung im arabischen Raum.

1.5.2. Durchführung von Tests im Zielland

Seitens der CITET wird der Standort Bent Saidene, ca. 70 km von Tunis angeboten. Die Zusammenarbeit mit dem CITET gestaltete sich jedoch schwierig und äußerst bürokratisch. Die Zusammenarbeit wurde in einem Vertrag zwischen CITET und 2H geregelt.



Bild1 : Infrastrukturvorbereitung für den Betrieb der Anlage; Vorne: die Fundamente; hinten: Betriebsgebäude

Die Inbetriebnahme der Anlage in Tunesien wurde von zahlreichen Schwierigkeiten überschattet, die zum Teil bis über den Projektabschluss hinaus angehalten haben.

U.a. wurde die erforderliche Infrastruktur (Fundamente; Stromversorgung) erst verspätet von CITET bereitgestellt. Die Pumpvorlage zur Zuführung des Abwassers wurde nicht entsprechend den Absprachen mit CITET umgesetzt und war nicht zur Zurückhaltung des allgegenwärtigen Feinsands geeignet.

Erst eine Einbeziehung des tunesischen Vertriebspartners der GEA 2H Water Technologies GmbH, führte zu Verbesserungen.

Als Folge des Fehlens eines entsprechend dimensionierten Sandfangs sind verschiedene Schäden entstanden, die zwischen Dezember 2008 und Mai 2009 den Betrieb unterbrachen. Die Schäden wurden in unserem Auftrag von unserem Partner repariert. Außerdem wurde eine ausführliche französische Bedienungsanleitung erstellt.

Die Anlage wurde danach gereinigt und mit Abwasser gefüllt. Im Mai 2009 hat sich wieder ein Bewuchs mit Mikroorganismen eingestellt. Laut Aussage des Servicetechnikers unseres Partners läuft die Anlage seitdem stabil und mit einem sehr sauberen Klarwasserablauf.

Wie schon bei der Inbetriebnahme wirkte sich die schwierige Kommunikation mit dem CITET auch erschwerend für die Betreuung aus. Insbesondere war es nicht möglich, die Parameter der Anlage wie vorgesehen, über Modem abzufragen. Erst nachdem wiederholte Versuche gescheitert waren, wurden wir vom CITET darüber informiert, dass solche Fernabfragen nach dem tunesischen Telekommunikationsgesetz nicht gestattet also auch nicht möglich sind.

Somit haben wir erst am 12.10. 2009 nach ständigem Anmahnen eine erste Übersicht über die Werte der Anlage und zwar für den Zeitraum 20.Mai bis 2. Juli 2009 erhalten. Warum danach keine Messwerte mehr verfügbar sind konnten wir nicht erfahren.

Die Analysen zeigen:

Reduktion AFS von i.M. 500 auf <20 mg/l

CSB von i.M. 1300 auf 110mg/l

BSB von i.M. 570 auf <20mg/l

NH4-N von i.M. 118 auf 18 mg/l, wobei hier die Werte bis zum 8. Juni nicht einbezogen wurden, weil in dieser Zeit die Nitrifikation noch im Aufbau war.

Auffallend sind bei den Einzelwerten Spitzenzulaufwerte von >2000mg/l beim CSB und bis nahe 200mg/l beim TKN.

Nitratwerte im Ablauf wurden nicht gemessen. Somit lässt sich leider auch keine Stickstoffbilanz ziehen. Durch die Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg wurden ergänzende Untersuchungen durchgeführt und in deren Bericht dargelegt.

In Anbetracht der Gesamtsituation darf das erreichte Ergebnis als voll zufriedenstellend angesehen werden. Eine Optimierung der Anlage, insbesondere eine Stabilisierung der Nitrifikation unter 10mg/l, die durchaus im Leistungsbereich der Anlage liegt, wird weiterhin in Zusammenarbeit mit dem Partner in Tunesien angestrebt.

1.5.3. Andere zwischenzeitliche Verwendungen der Ergebnisse

Aufgrund der Erkenntnisse aus dem Verfahren wurden die Kläranlage R, die im Vorfeld untersucht worden war auf eine Denitrifikation mit Schwebebett umgebaut und weitere Anlagen wurden nach dem Verfahren konzipiert und gebaut.

2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Einen wesentlichen Anteil der Gesamtkosten von rund 500.000 € nimmt die Erstellung der Pilotanlage ein. Für Materialkosten sind rund 105.000,- € angefallen. Das waren die Containerbecken, Siebanlage, Rührwerk, MSR-Ausrüstung, die eigenen Produkte wie Festbetten und Lamellenklärer.

Die Personalkosten für die Vorplanung, Detailkonzeption und den Zusammenbau der Anlage beliefen sich etwa auf 70.000 bis 80.000 €.

Weitere Personalkosten waren mit der Aufstellung und Inbetriebnahme sowie der Vorbereitung des Transports nach Tunesien, bzw. den erforderlichen Umbau- und Verbesserungsmaßnahmen verbunden. Sehr zeitaufwändig waren die Abstimmungsgespräche mit dem CITET zur Vorbereitung und Durchführung der Erprobung in Tunesien.

Ein weiterer wesentlicher Personalaufwand betrifft die Auswertung und Begleitung der Untersuchungen der MLU.

Für ergänzende Untersuchungen wurden F+E Aufträge an die Universität Karlsruhe für die Untersuchung des Einflusses des Festbetts auf den Sauerstoffeintrag und Untersuchungen der MLU außerhalb deren eigenen Forschungsprogramms vergeben. (25.000 €).

Reisekosten sind im Wesentlichen für die Betreuung der Aufstellung in Tunesien sowie für eine für das Verbundvorhaben in Vietnam durchgeführte Messebeteiligung angefallen. (18000 €).

Die sonstigen Kosten betreffen vor allem den Transport der Anlage nach Tunesien.

Die Verzögerung des Projekts und die Problem mit der Inbetriebnahme vor Ort führten am Ende zu höheren Reise- und Personalkosten als geplant, die vom Zuwendungsempfänger getragen werden.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das Vorhaben sollte durch grundlagen- und anwendungsbezogene Untersuchungen den Export von deutscher Festbett-Kläranlagentechnik unterstützen und damit Arbeitsplätze und Betriebsstätten in Deutschland zu sichern helfen. Es bildet Teil des BMBF-Verbundprojektes „Exportorientierte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung. Teil 2 – Abwasserbehandlung und Wasserwiederverwendung.

Die Arbeiten haben sich als erforderlich erwiesen, weil es für die sehr hohen TKN- Zulauf-Werte keine verlässliche Bemessungssicherheit gegeben hat. Schlussendlich wurden in Tunesien sogar erheblich höhere TKN-Konzentrationen im Zulauf gemessen als zuvor angenommen. Der Umgang und die Wirkung von TKN Zuflusskonzentrationen bis 200mg/l musste erprobt werden. Nur Betriebserfahrungen über einen längeren Zeitraum geben dem Anlagenanbieter und dem Käufer die Gewissheit, dass auch unter erschwerten Bedingungen eine verlässliche Reinigungsleistung erreicht wird.

Für das Verfahren und den Exporterfolg musste auch der Einsatz von Lamellenklämern getestet werden. Es hat sich gezeigt, dass für eine sichere Funktion, die Wassertiefe in Lamellenklämern bestimmte Werte erfüllen muss. Innerhalb der Pilotanlage waren hier Grenzen gesetzt, die sich auch im Laufe der Versuchsphase in Halle gezeigt haben und die daraufhin im Rahmen der Möglichkeiten korrigiert wurden. Beim Festbett wurden verschiedene Strukturen erprobt. Da eine hohe spezifische Oberfläche zwar die Wirtschaftlichkeit durch ein kleines Bauvolumen unterstützt aber durch enge Strukturen deutlich die Verblockungsgefahr erhöht, wurden in der Pilotanlage zunächst in Deutschland ein Typ mit hoher spezifischer Oberfläche getestet und für den Einsatz im Ausland durch eine andere Bauform ersetzt:

Mit der Inbetriebnahme der Pilotanlage in Tunesien im Mai 2009 ist trotz der aufgetretenen Schwierigkeiten für die GEA 2H Water Technologies GmbH ein erfolgreicher Markteintritt gelungen. Laboruntersuchungen wurden vom CITET durchgeführt und haben die Leistungsfähigkeit der Anlage auch unter erschwerten Bedingungen nachgewiesen. Damit ist das wesentlichste Ziel des Vorhabens erreicht.

Eine Einweihung der Anlage in Anwesenheit des tunesischen Umweltministers ist weiterhin unter Anwesenheit des CITET sowie der GEA 2H geplant.

4. Voraussichtlicher Nutzen und Fortschreibung des Verwertungsplans

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Die untersuchte Kombination von Schwebebettverfahren und Festbettverfahren wurde bereits auf einer Kläranlage in Hessen zur vollen Zufriedenheit der Betreiber großtechnisch umgesetzt.

Weitere Anlagen sind während der Projektlaufzeit in Deutschland entsprechend geplant worden, was wichtig ist, um Referenzen zu zeigen.

Durch die Kontakte mit Tunesien hat sich eine Partnerschaft der GEA 2H Water Technologies GmbH mit tunesischen Anlagenbauern ergeben, die das Verfahren insbesondere für Hotelanlagen propagieren möchten.

5. Zwischenzeitliche relevante F+E-Ergebnisse von dritter Stelle

Es liegen keine neueren wissenschaftlichen Ergebnisse vor, die die Zielsetzung des Vorhabens in Frage stellen oder die Beantwortung der zentralen Fragestellung vorweg nehmen. Es werden aber vermehrt Anlagen im In- und Ausland unter der Verwendung der Ergebnisse des Forschungsvorhabens geplant (z.B. KA Egenhofen)

6. Veröffentlichungen und Vorträge

Marggraff, M.; Kegebein, J.; Kohnert, S.; Köser, H.: „Pilot evaluation of a novel hybrid wastewater treatment plant: combining aerobic submerged fixed bed and anoxic moving bed biofilm technology“; Biofilm Systems VI, 24.-27. Sept. 2006, Amsterdam, Netherlands.

Fachvortrag: „Abwasserreinigung im ländlichen Raum mit getauchten Festbetten und Tropfkörpern“ Expertentreffen „Umweltherausforderungen in Tunesien“ 17.4 bis 18.4 April 2008, Hammamet, Tunesien.

Quellenverzeichnis

[ATV, 2000]: ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 131 (2000): Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen,

[ATV, 2001]: ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 281 (2001): Bemessung von Tropfkörpern und Rotationstauchkörpern

[ATV, 2002]: ATV-DVWK-Arbeitsbericht AG KA-6.3 (2002): „Neue Erkenntnisse über Anlagen mit getauchtem Festbett“. KA - Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall 49 (12): 1703-1707

[ATV, 2003a]: ATV-DVWK-Arbeitsbericht IG-5.6 (2003): „Aerobe Biofilmverfahren in der Industrieabwasserreinigung. Definitionen, Verfahrenstechniken und Einsatzgebiete.“

[Baumann, 2009]: Baumann, P.; Roth, M. (2008). Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen, DWA Landesverband Baden-Württemberg, Stuttgart, Heft 4; 2. Auflage

[Chapanova, 2008]: Chapanova, G. (2008): Einfluss von Temperatur und hohem Salzgehalt auf die Abwasserbehandlung mit dem getauchten Festbett-Biofilmverfahren, Dissertation Uni Halle

[DIN EN 1484] DIN EN 1484 (1997): Anleitungen zur Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) und des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC), Normenausschuss Wasserwesen im DIN. Beuth Verlag, Berlin

[DIN EN 1899] DIN EN 1899-1 (1998): Bestimmung des Biochemischen Sauerstoffbedarfs nach n Tagen (BSB_n); Teil 1: Verdünnungs- und Impfverfahren mit Zugabe von Allylthioharnstoff; Normenausschuss Wasserwesen im DIN, Beuth Verlag, Berlin

[DIN 19557] DIN 19557 (2004): Kläranlagen: Mineralische Füllstoffe und Füllstoffe aus Kunststoff für Tropfkörper – Anforderungen, Prüfung, Lieferung, Einbringen, Normenausschuss Wasserwesen im DIN. Beuth Verlag, Berlin

Quellenverzeichnis

[DIN EN 26777].DIN EN 26777 (1993). Wasserbeschaffenheit. Bestimmung von Nitrit – Spektroskopische Verfahren. Normenausschuss Wasserwesen im DIN, Beuth Verlag, Berlin

[DIN 38405] DIN 38405-9 (1979): Deutsche Einheitsverfahren. Teil 9: Anionen (Gruppe D) Bestimmung des Nitrat-Ions. Normenausschuss Wasserwesen im DIN, Beuth Verlag, Berlin

[DWA, 2007a]: DWA-Arbeitsbericht IG-5.6 (2007): „Aerobe Biofilmverfahren in der Industrieabwasserreinigung – Beispielanlagen“.

[DWA, 2007b]: DWA-Arbeitsbericht AG KA-6.3 (2007): „Leitfaden zur Erkennung und Behebung von Betriebsproblemen bei Tropfkörpern, Rotationstauchkörpern und getauchten Festbetten“.

[Egli, 2003]: Egli, K., Langer, C., Siegrist, H.-R., Zehnder, A.J.B., Wagner, M., van der Meer, J.R. (2003): Community analysis of ammonia and nitrite oxidizers during start-up of nitrification reactors. Appl. Environ. Microbiol. 69: 3213-3222

[Höll, 1979]: Höll, K. (1979): Wasser - Untersuchung Beurteilung Aufbereitung Chemie Bakteriologie Virologie Biologie. Walter de Gruyter Berlin New York

[Jubany, 2009]: Jubany, I., Lafuente, J., Baeza, J.A., Carrera, J. (2009): Total and stable washout of nitrite oxidizing bacteria from nitrifying continuous activated sludge system using automatic control based on oxygen uptake rate measurements; Water research 43: 2761-2772

[Landesverband, 2003]: ATV-DVWK-Landesverband Bayern (2003): „Betrieb von Abwasseranlagen“; Leitfaden Nr. 2-3: „Nachweis der aeroben Schlammstabilisierung. Vereinfachter TTC-Test/Atmungsaktivität.“ Leitfaden Nr. 2-4: „Glühverlust des Überschussschlammes bei Belebungsanlagen mit aerober Schlammstabilisierung.“

Quellenverzeichnis

[Marggraff, 2006]: Marggraff, M.; Kegebein, J.; Kohnert, S.; Köser, H. (2006): Pilot evaluation of a novel hybrid wastewater treatment plant: combining aerobic submerged fixed bed and anoxic moving bed biofilm technology"; Biofilm Systems VI, 24.-27. Sept. Amsterdam, Netherlands.

[Schlegel, 1999]: Schlegel, S. (1999): Die Vorbehandlung industriellen Abwassers in einer Anlage mit getauchten Festbetten auf der Kläranlage Dorsten-Wulfen. KA 46: 1231-1235

[Schlegel, 2002]: Schlegel, S. (2002): Untersuchungen zur Behandlung kommunalen Abwassers in einer Anlage mit getauchten Festbetten. KA 49(12): 1674-1681

[Schulz-Menningmann, 1993] Schulz-Menningmann, J. (1993): Der Einfluss des Trägermaterials auf die Leistungsfähigkeit von Biofilmsystemen zur Abwasserreinigung. Korrespondenz Abwasser 40: 68-73

[Schulz-Menningmann, 1998]: Schulz-Menningman, J., Gerard, I. (1998): Industrielle Abwasserreinigung mit getauchten Festbetten. Entsorgungspraxis 10: 51-56.

[Yang, 2007]: Yang, Q., Peng, Y., Liu, X., Zeng, W., Mino, T., Satoh, H. (2007): Nitrogen removal via nitrite from municipal wastewater at low temperatures using real-time control to optimize nitrifying communities; Environ. Sci. Technol. 41: 8159-8164