

FELDVERSUCH ZUR OPTIMIERUNG DER TEICHKLÄRANLAGE VOLKERTSWEILER

IN DER GEMEINDE NEUHAUSEN OB ECK
GEFÖRDERT DURCH DIE *BADENOVA*

ABSCHLUßBERICHT

4. FEBRUAR 2004

KONTAKT

PROJEKTLEITUNG

DR. INGO BRUCH

06362 – 99 30 20
0171 – 21 84 786

INHALT

1.	FRAGESTELLUNGEN UND ZIELSETZUNG	3
2.	AUFBAU DES FELDVERSUCHS	5
2.1	Allgemeines.....	5
2.2	Hydraulik	5
2.3	Beschickungsmodus	8
2.4	Vertikalfilter	9
2.4.1	Filtersubstrat	9
2.4.2	Bepflanzung.....	9
2.5	Horizontale Filterdämme.....	10
2.5.1	Filtersubstrat	10
2.5.2	Bepflanzung.....	10
3.	ERGEBNISSE	11
3.1	Charakteristik des Zulaufwassers aus dem 2. Teich	11
3.2	Nitrifikationsleistung	12
3.2.1	Nitrifikationsleistung der Vertikalfilter	12
3.2.2	Nitrifikationsleistung der Horizontalfilter	13
3.3	Dauerhafte Einhaltung des NH ₄ -N Überwachungswertes	15
3.4	Pufferkapazität der Filtersubstrate	15
3.5	Auswirkungen unterschiedlicher Beschickungsmengen	15
3.6	Auswirkung des Kf-Wertes.....	15
3.7	Einfluß der Außentemperatur.....	16
3.8	Sonstige Parameter - Vegetation	17
4.	DISKUSSION DES STATUS EINES NACHGESCHALTETEN BODENFILTERS.....	19
5.	ZUSAMMENFASSUNG	20
6.	LITERATUR	21

1. Fragestellungen und Zielsetzung

Die Teichkläranlage Volkertsweiler in der Gemeinde Neuhausen ob Eck reinigt das Abwasser von 900 Einwohnerwerten (EW) aus den Ortsteilen Ober-Volkertsweiler, Unter-Volkertsweiler, Schwandorf und Holzach. Geplant ist der Anschluß von insgesamt 1100 EW. Die wasserrechtlichen Überwachungswerte wurden im August 2000 neu festgesetzt, wobei für den Parameter Ammonium-Stickstoff eine Duldung erhöhter Ablaufkonzentrationen bis spätestens Ende 2004 in Aussicht gestellt wurde. Die Überwachungswerte orientieren sich an den Mindestanforderungen für kommunales Abwasser. Die Anforderungen der Wasserwirtschaft an die Teichkläranlage Volkertsweiler lauten:

Tabelle 1: Überwachungswerte und Ablaufwerte TKA Volkerstweiler

<i>Parameter</i>	<i>Einleitewerte alt</i>	<i>Einleitewerte ab 8 / 2000</i>	<i>Ablaufwerte 2000 - 2002</i>
BSB ₅ (mg/l)	35	25	5 – 17
CSB (mg/l)	160	90	20 – 50
NH ₄ -N (mg/l)	-	5	2 – 12
Bei Wasser-Temperatur:		ab 12°C	2,5 – 25
Ungelöste Stoffe (mg/l)	-	30	nicht analysiert
Absetzbare Stoffe (mg/l)	0,5	0,5	nicht analysiert
pH-Wert	-	6,5 – 8,5	7,5 – 8,9
Sichttiefe (m)	-	0,6	Teich 3: > 1m (10/03)

Im Ablauf der Teichkläranlage Volkertsweiler-Schwandorf (Werte von 2000, 2001 und 2002) liegt der BSB₅ zwischen 5 und 17 mg/l, der CSB zwischen knapp 20 und ca. 50 mg/l. Der Kohlenstoff-Abbau ist folglich ausreichend, um die verschärften Einleiteanforderungen einzuhalten.

Die Ablaufkonzentration bei Ammonium liegt zwischen ca. 3 mg/l (Minimum Winter) und über 12 mg/l im Sommer. Damit werden die Einleiteanforderungen um mehr als 100% überschritten.

Aus diesem Grund wurden Ende 2001 Überlegungen angestellt, die Teichkläranlage Volkertsweiler-Schwandorf nachzurüsten. Der naturnahe Charakter soll dabei unbedingt beibehalten werden. Als naturnahe Verfahren kommen prinzipiell nur ein nachgeschalteter Vertikalfilter oder ein in die vorhandenen Teiche eingebauter Horizontalfilter in Frage.

Eine theoretische Abschätzung der Randbedingungen der TKA Schwandorf inkl. eine darauf basierende Entscheidung zugunsten des einen oder anderen Verfahrens und ein Bau auf „gut Glück“ wurden verworfen. Stattdessen wurde im Herbst 2002 ein Feldversuch installiert, der vertikale wie horizontale Filter mit verschiedenen Filtermaterialien wissenschaftlich untersucht.

Die wichtigsten Fragestellungen des Feldversuchs lauteten:

- Wie hoch ist die Nitrifikationsleistung der vertikal bzw. der horizontal durchströmten Bodenfilter (NH₄-N-Elimination im beaufschlagten ammoniumhaltigen Abwasser)?
- Wird der entscheidende Überwachungsparameter NH₄-N von einem oder mehreren Filtern dauerhaft eingehalten?
- Ist aufgrund der unterschiedlichen Pufferkapazität der verwendeten Materialien (Sand / Kalksplitt) die Nitrifikationsleistung signifikant unterschiedlich?
- Welche Auswirkung auf die Reinigungsleistung verschiedener Parameter hat eine erhöhte Beschickungsmenge?
- Welche Auswirkung auf die Reinigungsleistung hat die Verwendung von Substraten mit verschiedenen Kf-Werten als Bodenfilter?
- Wirken sich niedrige Außentemperaturen auf die Reinigungsleistung der Bodenfilter aus? Und wenn ja, ist dieser Effekt derart, dass er bei einer Anlage im Originalmaßstab anders wirkt?

Ziel war es, durch die Wahl verschiedener Filtermaterialien und steuerbarer Zulaufmengen klar definierte und gleichzeitig potentiell variable Versuchsbedingungen zu erhalten. Diese erlauben eine optimale Auswertung der Analysedaten und eine klare Beantwortung möglichst aller oben gestellter Fragen.

2. Aufbau des Feldversuchs

2.1 Allgemeines

Um die Kosten einer Nachrüstung so gering wie möglich zu halten, wurde vorab entschieden, auf Geländeerwerb zwecks Bau weiterer Teiche oder eines neuen Bodenfilters zu verzichten und statt dessen den dritten Teich als Fläche für einen Vertikalfilter oder als Einbaufäche für horizontale Filterdämme zu nutzen.

Daher wurde der Feldversuch zwischen dem zweiten und dritten Teich errichtet und mit dem Ablaufwasser des zweiten Teichs beschickt.

Die Feldversuchsanlage besteht aus 3 Vertikalfiltern und 2 horizontal durchflossenen Becken, in die je zwei Kiesdämme eingebaut wurden.

2.2 Hydraulik

Wesentliche Grundlage für die Beschickung der vertikalen und horizontalen Filter ist eine hydraulische Betrachtung der Anlage (s. nächste Seite). Des weiteren sind die Effekte zu berücksichtigen, die durch den Umbau des dritten Teiches entstehen.

Grundlage aller Berechnungen sind die Angaben der Gemeinde Neuhausen zum Trockenwetterzufluß (9 l/s) bzw. zum Regenwetterzufluß (13 l/s) [Daten von der Ortsbegehung vom November 2001 und des darauf folgenden Schriftverkehrs vom 04.12.2001]. Die beiden Zahlen der Zuflußmengen liegen sehr eng zusammen und legen den Schluß nahe, dass bei sommerlichem Trockenwetter tatsächlich weniger Wasser in die Anlage kommt, bei starken Niederschlägen mehr (mündl. Nachricht Herr Brugger). Dies belegen auch die Zuflußdaten aus 2002, die mehrheitlich eine Trockenwetter-Zuflussmenge von 4,5 bis 6,5 l/s ausweisen.

Für die kritischen Sommermonate, in denen die Ammoniumwerte über 10 mg/l klettern, ist die angenommene Zuflussmenge von 9 bis 13 l/s also vollkommen ausreichend.

Die angenommene Zulaufmenge von 9 bis 13 l/s entspricht ca. 775 bis ca. 1125 cbm pro Tag. Diese Zulaufmenge muß je nach Nachrüstung entweder zwei oder mehr horizontale Filterdämme passieren bzw. über einen Vertikalfilter laufen. Umgerechnet auf eine Fläche von ca. 2250 qm, die nach Umbau des dritten Teiches für einen Vertikalfilter zur Verfügung stehen, bedeutet dies eine Beaufschlagungsmenge von ca. 350 bis 500 mm/d. Damit sind an einen Vertikalfilter äußerst hohe Ansprüche bezüglich der hydraulischen Leitfähigkeit zu stellen. Die Filterdämme sind mit 0.8 bis 1.2 cbm Abwasser je cbm Filterdamm zu beschicken.

Hydraulik	Bodenfilter TKA Volkertweiler		(Mischsystem)
Bemessungsgrundlagen	Ausbaugröße		1100 EW
	spezifischer Abwasseranfall		130 l / EW * d
= Schmutzwasseranfall	Q _s	143,0	cbm / d
= Schmutzwasserzufluß	Q _s	1,66	l / s
= Tagesspitze	Q _{tx}	2,84	l / s
	Fremdwasseranfall (vermindert wg. Kanalsanierung, so daß Q _f = Q _s)	Q _f	1,66 l / s
= Trockenwetterzufluß Tagesmittel; <u>neue Auslegung</u>	Q _t	3,3	l / s
= Tagesabwassermenge Trockenwetter	Q _t	286,0	cbm / d
	Minimaler Trockenwetterzufluß, <u>beobachtet</u>	Q _t	2,0 l / s
= Tagesabwassermenge Minimum Trockenwetter	Q _t	172,8	cbm / d
	Bemessung des Regenwetterzuflusses		* Q _s + Q _f
	<i>alternativ:</i> Bemessung über alte Auslegung		13 l / s
= Maximalzufluß nach alter Auslegung	Q _m	13,0	l / s
	Drosselzufluß zur biologischen Behandlung	Q _{md}	13,0 l / s
= Tagesabwassermenge Regenwetter	Q _d	1123,2	cbm / d
	Maximaler Regenwetterzufluß, <u>beobachtet</u>	Q _t	35,0 l / s
= maximale Tagesabwassermenge Regenwetter	Q _d	3024,0	cbm / d
Vorgaben Vorklärung	Absetzraum		7800,0 cbm
Vorgaben Pflanzenbeet	Spezifische Beetfläche		2 qm / EW
	Durchlässigkeitsbeiwert des Bodenfilters n. A 262	kf	5,00E-04 m / s
	angenommene Durchlässigkeit im Betrieb	kf	5,00E-05 m / s
	Anzahl der Beete (im Trockenwetterbetrieb)		1
	Max. Anzahl der Beschickungsintervalle pro Tag		4 n / Beet
Kriterien Vorklärung, die sich aus obigen Angaben errechnen:			
	= Aufenthaltszeit Trockenwetterzufluss gemäß Auslegung		27,3 Tage
	= max. Aufenthaltszeit bei Trockenwetterzufluss _{min.}		45,1 Tage
	= Aufenthaltszeit Regenwetterzuflusses gemäß Auslegung		6,9 Tage
	= min. Aufenthaltszeit bei Regenwetterzufluss _{max.}		2,6 Tage
Kriterien Vorhalteteich, die sich aus obigen Angaben errechnen:			
	= Zufluß durch Drosselbauwerk		13,0 l / s
	= Mindestvolumen eines Beschickungsschwall		280,8 cbm / Schwall
	= Fläche für Vorhaltebecken mit Nutzhöhe 0.4m	A	702,0 qm
	mittlerer Abfluß Schwallbeschicker		40,0 l / s
	= Entleerungsdauer des Vorhalteteichs theoretisch	t	117,0 min.
	= Entleerungsdauer des Vorhalteteichs bei Q _T	t	117,2 min.
	= Entleerungsdauer des Vorhalteteichs bei Q _M	t	155,0 min.
	Alternative: mittlerer Abfluß über Schwallbeschicker DN 250		60,0 l / s
	= Entleerungsdauer des Vorhalteteichs theoretisch	t	78,0 min.
	= Entleerungsdauer des Vorhalteteichs bei Q _T	t	78,3 min.
	= Entleerungsdauer des Vorhalteteichs bei Q _M	t	94,9 min.
Kriterien Pflanzenbeet, die sich aus obigen Angaben errechnen:			
	hydraulische Belastung		
	= Pflanzenbeetfläche (EW * spez. Fläche)	A	2200 qm
	= Beschickungshöhe im Trockenwetterfall (neue Auslegung)		130 mm / d
	= Beschickungshöhe im Regenwetterfall (alte Auslegung)		511 mm / d
	stoffliche Belastung		
	= CSB im Zulauf Bodenfilter	CSB	61 mg / l
	= spez. Belastung im Trockenwetterfall (neue Auslegung)		3,6 g CSB / qm * d
	= spez. Belastung im Regenwetterfall (alte Auslegung)		14,1 g CSB / qm * d

Idealerweise wird im Feldversuch die Belastung der Filter so gewählt wird, dass für eine Anlage im Originalmaßstab auf jeden Fall ein Puffer existiert.

Für eine Simulation des Trockenwetterereignisses hätten die Vertikalfilter mit 130 mm/d beaufschlagt werden müssen, für eine Regenwettersimulation (13 l/s) mit 511 mm. Die theoretische Pumpleistung liegt dagegen bei 722 mm/d. In Abhängigkeit vom Ladezustand der Solar-Inselanlage traten Leistungsschwankungen auf, die den Kontrollmessungen nach einer Beaufschlagung von 480 bis über 850 mm/d auf die Container entsprachen.

Tabelle 2: Auslegung der Container und Überprüfung der Beschickungsmengen

Fortsetzung Hydraulik			
Feldversuch			
Vertikalfilter	Container	3	Stk.
	Oberfläche	0,3	qm
	= Beschickungssimulation Container Trockenwetter:	39	l / d
	= Beschickungssimulation Container Regenwetter:	153	l / d
	= Beschickungshöhe im Trockenwetterfall (neue Auslegung)	130	mm / d
	= Beschickungshöhe im Regenwetterfall (alte Auslegung)	511	mm / d
Kontrolle der Beaufschlagungsmengen Container:			
	nach theoretischer Pumpleistung	722	mm / d
	28.11.2002	480	mm / d
	02.10.2003	857	mm / d
→	gewählte Beschickung = ~ Dauer-Regenwetter-Belastung		
Gräben mit Filterdämmen	Volumen von vier Dämmen im 3. Teich	975	cbm
	Gräben mit Filterdämmen im Feldversuch	2	Stk.
	Filterdamm-Breite	1,5	m
	Filterdamm-Tiefe	0,4	m
	Filterdamm-Höhe	0,4	m
	Filtervolumen Dämme	0,5	cbm
	Beschickungssimulation Trockenwetter:	141	l / F-Graben * d
	Beschickungssimulation Regenwetter:	553	l / F-Graben * d
	Beschickungsdurchfluß im Trockenwetterfall	0,29	cbm / cbm Damm
	Beschickungshöhe im Regenwetterfall	1,2	cbm / cbm Damm
Kontrolle der Beaufschlagungsmengen Filtergräben:			
	nach theoretischer Pumpleistung	0,68	cbm / cbm Damm
	28.11.2002	0,25	cbm / cbm Damm
	02.10.2003	0,54	cbm / cbm Damm
→	gewählte Beschickung = ~ Dauer-Trockenwetter-Belastung		

Die Versuchsbedingungen der Vertikalfilter weisen also – auf den Dauerbetrieb bezogen - einen erheblichen Puffer gegenüber einer Anlage im Originalmaßstab auf. Die Versuchsanlage wurde quasi im „Dauer-Regenwetter-Betrieb“ gefahren. Auslegungsgröße bei Vertikalfiltern ist immer die Beschickungsmenge bezogen auf die Filterfläche (mm / qm * Zeiteinheit), da die Reinigung in den oberen Schichten des Filters abläuft und bei Überlastung des Parameters „mm / qm * Zeiteinheit“ eine Kolmation droht.

Im Gegensatz zu den Vertikalfiltern wird bei den Filterdämmen aus Kies oder Kalksplitt ohne Null-Korn dem anströmenden Wasser kaum Widerstand entgegengesetzt. Zudem werden im stehenden Wasser mit Ausnahme der Sohlbereiche die Redoxbedingungen keine derartige Zonierung wie bei einem vertikal durchströmten Bodenfilter aufweisen. Es ist daher anzunehmen, dass das gesamte durchströmte Volumen eines Filterdammes für den NH₄-N-Abbau relevant ist. Daher wurde die Beschickungsmenge bei den Filterdämmen in cbm Abwasser je cbm Filterdamm ausgedrückt.

Anders als bei den Vertikalfiltern konnte aufgrund der Pumpenleistung nur der Trockenwetterfall simuliert werden.

Abweichend von der Bemessung des Regenwetterfalls durch das damals planende Ing.-Büro wurde seitens der Gemeinde berichtet, dass bei Regenwetter auch 30 bis 40 l/s im Zulauf erreicht werden. Ggf. müssen solche Stöße durch eine Drossel abgepuffert oder durch einen Bypass abgeleitet werden, so daß max. 13 l/s dem Bodenfilter zugeführt werden.

2.3 Beschickungsmodus

Das Abwasser wird aus dem Auslauf des 2. Teiches entnommen und über zwei separate Pumpen auf die Vertikalfilter bzw. in die horizontal durchflossenen Filterbecken beaufschlagt (pro Tag je vier Schwälle von je 15 Minuten Dauer).

2.4 Vertikalfilter

Die Vertikalfilter bestehen aus Containern mit einer Grundfläche von 0.3 qm, einer am Bodenliegenden Drainage sowie einem über der Kies-Schutzschicht liegendem Zulaufrohr.

2.4.1 Filtersubstrat

Die Container wurden im Herbst 2002 jeweils mit vier Substratschichten befüllt: Die Filtersohle ist je mit 25 cm Kies (8/16 mm) befüllt, darüber befindet sich eine „Schutzschicht“ von 5 cm Material 2/8, damit das darüberliegende Hauptfiltermaterial nicht in die Kiespackung verlagert werden kann. Es folgen 40 cm Hauptfilterschicht, die – ausgehend vom linken Container (Nr. 1) – folgendermaßen befüllt sind:

Container 1: Sand 0/4 mm

Container 2: Sand 0/8 mm → ausgetauscht am 8.5.2003 gegen Lavasand 0/4 mm

Container 3: Kalk-Splitt 2/5 mm

Die oberste Schicht wird wieder durch Kies 8/16 mm gebildet, wodurch beim Beschicken der Beete verhindert wird, daß es zu Ausspülungen in der Hauptfilterschicht kommt. Beim nachträglich eingebauten Lavasand wurde auf eine schützende Kiesschicht verzichtet und eine Prallplatte eingebaut.

Insgesamt werden 80 cm Filtermächtigkeit erreicht, wie nach dem Arbeitsblatt der ATV A 262 (ATV 1998) für Vertikalfilter gefordert, beim Lavasand 70 cm.

2.4.2 Bepflanzung

Die Container wurden mit Schilfjungpflanzen (*Phragmites australis*) bepflanzt. Gemäß Arbeitsblatt A 262 sind 4 Pflanzen je qm vorgesehen. Aufgrund der kleinen Fläche wurde eine höhere Pflanzdichte gewählt (4 – 6 Stk. je Container).

2.5 Horizontale Filterdämme

Die zweite Versuchseinheit bilden zwei Gräben, die simulieren sollen, wie das Abwasser aus dem Teich 2 gereinigt würde, wenn in Teich 3 sogenannte Filterdämme eingebracht würden. Die beiden Gräben sind mit Vlies ausgelegt (300 g/qm) und mit 1mm-PE-Folie abgedichtet. Am Auslauf wurden Rohrdurchführungen angefertigt, die das Abwasser in den dritten Teich abschlagen.

2.5.1 Filtersubstrat

Die Gräben wurden mit je zwei Filterdämmen ausgerüstet.

Graben auf Seite der Container: 2 Dämme mit Kalksplitt 2/5 mm

Graben auf der Seite des Weges: Je ein Damm aus Kies 8/16 mm bzw. Kies 2/8 mm

Die Beschickung erfolgt über ein aufgeständertes System aus Rohren HT DN 50 mm. Die Bohrungen sind so gewählt, dass in Graben 1 ähnlich viel Wasser läuft wie in Graben 2.

2.5.2 Bepflanzung

Die Filterdämme wurden ebenfalls mit Schilfjungpflanzen (*Phragmites australis*) bepflanzt. Je Damm wurden 5-6 Pflanzen gesetzt, was ca. 10 Stk. je qm entspricht.

3. Ergebnisse

Entsprechend der im Kapitel 1 formulierten Fragestellungen ist das Kapitel Ergebnisse aufgebaut.

Der starke Frost des Winters 2002 / 2003 bewirkte zum einen ein Zufrieren der horizontal durchflossenen Gräben und zum anderen ein Zufrieren der Pumpleitungen (trotz unterirdischer Verlegung und Isolierung der Pumpen). Daher wurde die Beprobung erst Mitte März 2003 gestartet.

3.1 Charakteristik des Zulaufwassers aus dem 2. Teich

Das Ablaufwasser des zweiten Teiches ist weitestgehend mechanisch behandelt, während biologisch je nach Jahreszeit unterschiedliche Restmengen nicht oxidierten Kohlenstoffs und Stickstoffs übrig bleiben. Der CSB schwankte im Untersuchungszeitraum zwischen 27 mg/l im Oktober 2003 und über 150 mg/l während der Algenblüte im Frühjahr. Die Konzentrationen an Ammonium-Stickstoff schwanken im selben Zeitraum zwischen ca. 5.5 mg/l im April und Juni 2003 und 22 mg/l Anfang Oktober 2003.

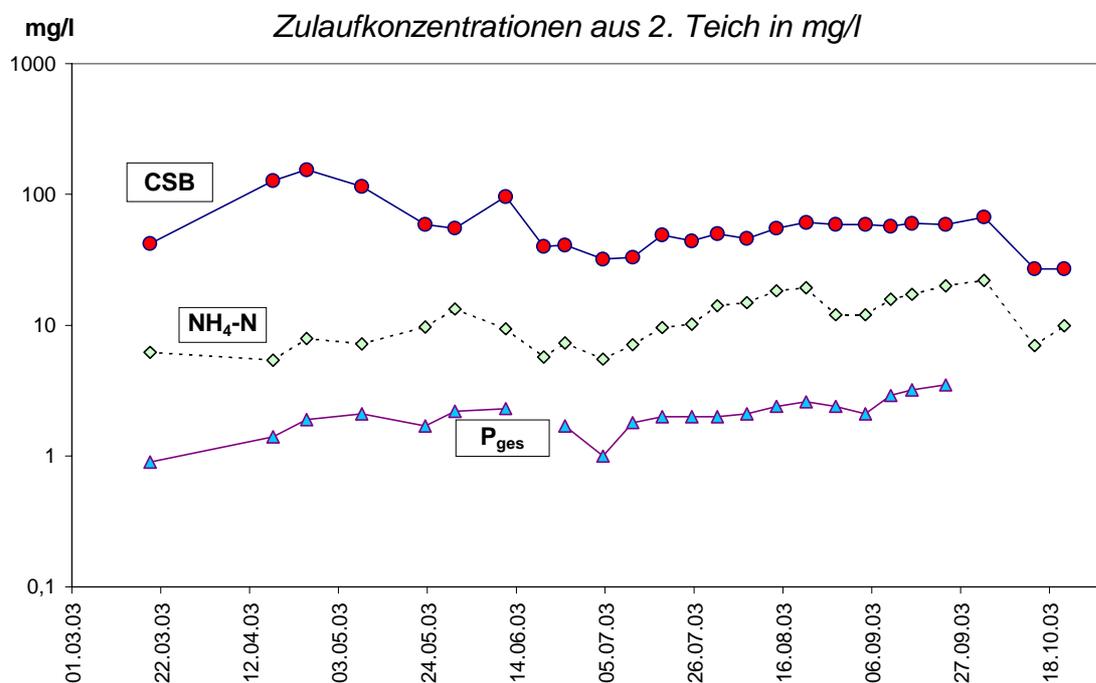


Diagramm 1:

Durch die große Oberfläche der Teiche (Vorklärteich plus 3.000 qm je folgendem Teich) unterliegt die Wassertemperatur größeren Schwankungen (s. auch Kapitel 5.7).

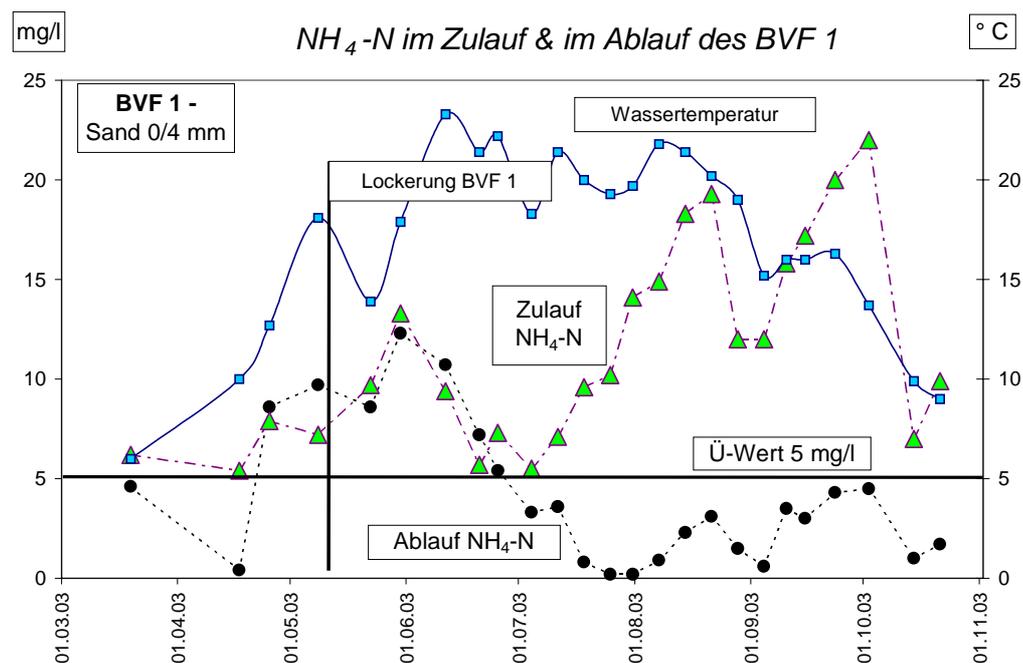
3.2 Nitrifikationsleistung

3.2.1 Nitrifikationsleistung der Vertikalfilter

Die drei ursprünglich eingesetzten Filtersubstrate Sand 0/4 mm, Sand 0/8 mm und Kalksplitt 2/5 mm sowie das nachträglich eingebaute Lavamaterial 0/4 mm weisen sehr unterschiedliche Nitrifikationsleistungen auf.

Der Verlauf der Nitrifikation bei BVF 1 gliedert sich in zwei Phasen: Vom Frühjahr bis Ende Mai folgt die Kurve der Messergebnisse in ihren Höhen und Tiefen der Kurve der Zulaufkonzentration, liegt oft nur wenig unterhalb dieser und steigt bis auf Werte von über 12 mg/l an. Ab Ende Mai 2003 fallen die Ablaufwerte und liegen seit Anfang Juli drei Monate lang unter 5 mg/l.

Diagramm 2:



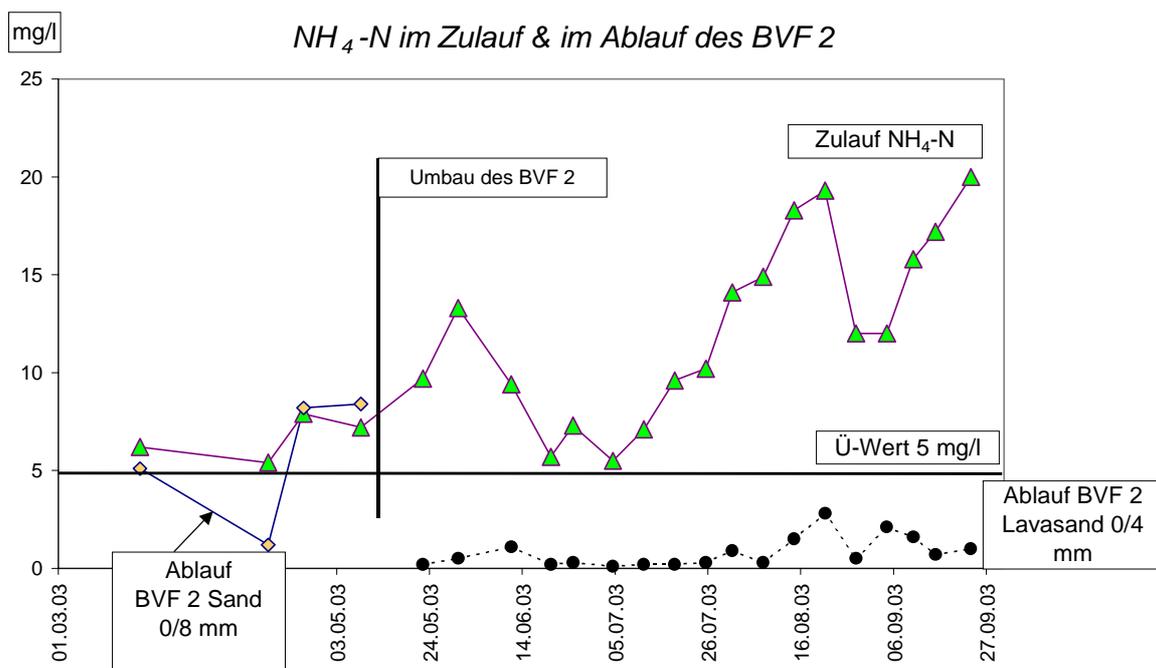
Eine mögliche Erklärung liegt im Verlauf der Wassertemperatur in Verbindung mit der durch die Auflockerung des Filters aufgehobenen Kolmation Anfang Mai. Die Nitrifikation ist stark temperaturabhängig und hat ihr Optimum bei Wassertemperaturen zwischen 20 und 30° Celsius (HAMM 1991:225). Die Wassertemperatur im BVF 1 erreicht Anfang Juni die 20° C-Marke und pendelt im Sommer zwischen ca. 19 und 22 ° Celsius. Anfang September fällt die Wassertemperatur um ca. 5° C und Ende September bzw. Anfang Oktober noch einmal um

fast 10° C. Parallel zum Sinken der Wassertemperatur steigen die Ablaufwerte von NH₄-N wieder etwas an.

BVF 2 (Sand 0/8 mm) verhält sich in der ersten Phase bis Anfang Mai ähnlich wie der Sand 0/4 mm; die Nitrifikation ist nicht zufriedenstellend.

Vollkommen anders verhält sich der im Mai für den Sand 0/8 mm eingebaute Lavasand 0/4 mm. Bereits ab der ersten Messung nach dem Umbau werden Ammonium-Stickstoff-Konzentrationen von unter 2 mg/l erreicht, die im Laufe des Sommers einmal auf 2.8 mg/l anstiegen. Der NH₄-N-Mittelwert liegt unter 1 mg/l .

Diagramm 3:



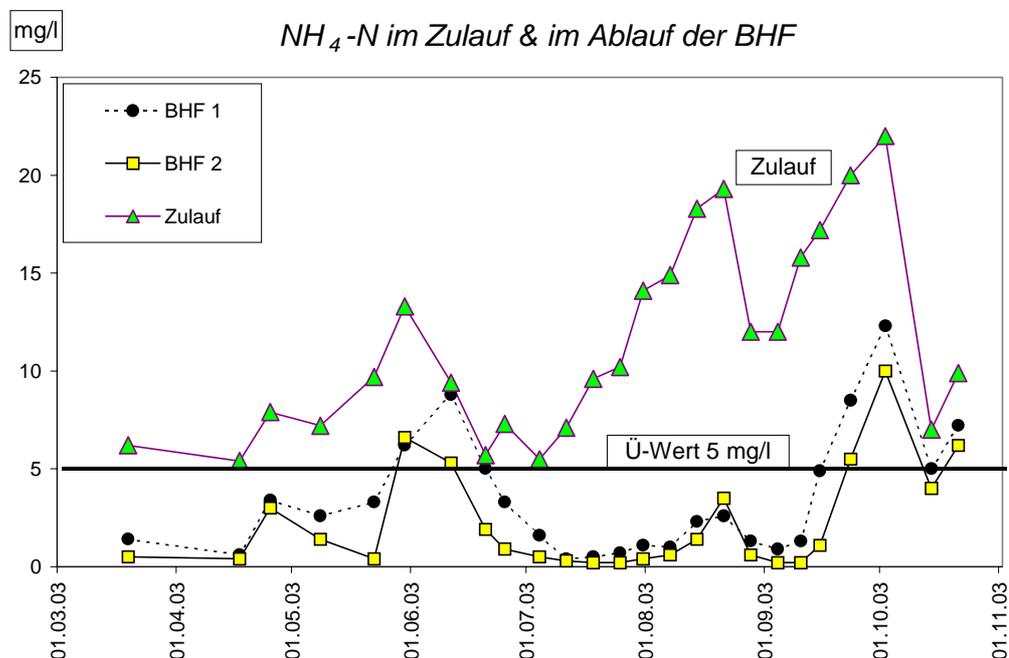
Der in BVF 3 eingebaute Kalksplitt ist hydraulisch so durchlässig, dass keine ausreichende Verweilzeit im Filter erzielt wird und die Nitrifikation unzureichend bleibt. Der NH₄-N-Mittelwert im Ablauf des BVF 3 liegt bei 8.5 mg/l .

3.2.2 Nitrifikationsleistung der Horizontalfilter

Der NH₄-N-Abbau der beiden horizontal durchflossenen Gräben (mit Kalksplitt- bzw. Kiesfilterdämmen) unterscheidet sich nur in der fröhsommerlichen Phase, ansonsten zeigen

die Ablaufwerte der beiden Filtergräben einen sehr ähnlichen Gang. Es lassen sich vier Phasen voneinander trennen: Bis Mitte Mai lag die Ablaufkonzentration in den Gräben unter dem zukünftigen Überwachungswert von 5 mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$. Ende Mai bis Anfang Juni erhöhten sich die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufkonzentrationen auf 8,8 mg/l im Graben mit Kalk-Splitt-Dämmen und bis auf 6.6 mg/l im Graben mit den Kiesdämmen (2/8 und 8/16 mm). Danach fielen die Werte kontinuierlich ab, erreichten ein Niveau von unter 0.5 mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$ und stiegen Ende September sprunghaft auf über 15 mg/l an.

Diagramm 4:



Auch für den Konzentrationsverlauf in den horizontal durchflossenen Filtern lässt sich unter anderem über den Verlauf der Wassertemperatur eine Erklärung finden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Randeffekte durch den Niederschlag aufgrund der hohen Aufenthaltszeit in den Filtergräben erheblich sein können und den Einfluß der Wassertemperatur überlagern. Verstärkt wird der Randeffekt dadurch, dass in den schmalen Filtergräben durch die schräg hochgezogene Folie das Verhältnis „Niederschlags-abflusswirksame Gesamtfläche / Wasserfläche“ deutlich größer 1 ist, während es in den Vertikalfiltern exakt 1 ist.

Durch die beschriebenen Randeffekte lässt sich erklären, warum die Ammonium-Konzentrationen anfangs trotz kühler Witterung auffällig gering sind und mit steigender Temperatur steigen. Über den Sommer können entweder die genannten hohen

Wassertemperaturen oder die hohe Biomassebildung in den Filtergräben die geringen $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen erklären.

3.3 Dauerhafte Einhaltung des $\text{NH}_4\text{-N}$ Überwachungswertes

Nur der mit Lava-Sand 0/4 mm gefüllte Vertikalfilter hat ohne Ausnahme den Überwachungswert von 5 mg/l in den kritischen Sommermonaten eingehalten. Auch während der sehr kühlen Witterung im Oktober 2003 (phasenweise Frost und Schneefall) blieb die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration im Ablauf des BVF 2 unter 1 mg/l.

Der durchschnittliche $\text{NH}_4\text{-N}$ -Abbau lag im BVF 2 (Lavasand) bei 92.5 %.

3.4 Pufferkapazität der Filtersubstrate

Qualitative Aussagen über die Pufferkapazität der verwendeten Materialien sind nicht möglich.

Da sowohl mit Lavasand als auch phasenweise mit Moränensand sehr gute Nitrifikationsleistungen erzielt werden konnten, spielt die Verwendung eines reinen Kalk-Substrates (hier: Kalksplitt 2/5 mm in BVF 3) bezüglich der Optimierung der Nitrifikation (gewünschte Abpufferung der gebildeten Protonen) eine untergeordnete Rolle. Vielmehr ist die Substratoberfläche bzw. die Verweilzeit im Bodenfilter ausschlaggebend.

3.5 Auswirkungen unterschiedlicher Beschickungsmengen

Feldversuche ermöglichen im Gegensatz zu einer Anlage im Originalmaßstab zumindest in Teilen die gewollte Änderung von Randbedingungen. Ändern sich zu viele Parameter gleichzeitig, sinkt jedoch die Aussagekraft, da sich Effekte überlagern oder verstärken können. Aufgrund der stark schwankenden Wassertemperaturen und dem Austausch des Filtermaterials in BVF 2 wurde die Randbedingung „Beschickungsmenge“ während der Versuchsdauer nicht geändert. Allerdings kann es durch die Solarstromversorgung zu unterschiedlichen Pumpleistungen kommen.

Je BVF und BHF wurden kontinuierlich 4 Schwälle zu je 15 Minuten am Tag beaufschlagt.

3.6 Auswirkung des Kf-Wertes

Bei Bodenfiltern gilt es, den optimalen Kompromiß zwischen ausreichender hydraulischer Leitfähigkeit (also eher geringem mineralischem Feinanteil) und möglichst langer Verweildauer (also eher hohem mineralischem Feinanteil) des beaufschlagten Mediums im Substrat zu finden.

Die höchste hydraulische Durchlässigkeit der in den Vertikalfiltern eingesetzten Substrate weist der Kalksplitt 2/5 mm auf. Unmittelbar nach Beschickungsbeginn ist ein Ablauf bemerkbar. Die Verweildauer ist daher gering, ebenso die Nitrifikationsrate mit durchschnittlich 26%.

Der verwendete Lavasand stellt eine Art „Anomalie“ innerhalb bisher üblicher Filtermedien dar: Obwohl er mit einem Anteil von 5 – 10% Feinanteil (Ton- und Schluff; je nach Abbaustandort) bereits die Anforderungen an Substrate von Pflanzenkläranlagen nicht mehr erfüllt (s. ATV-A 262), weist er eine enorme hydraulische Leistungsfähigkeit auf: Im Feldversuch konnten bis über 800 mm pro Tag beaufschlagt werden. Diese Ergebnisse decken sich mit bisher nicht veröffentlichten Daten einer Diplomarbeit an der FH Saarbrücken (LEIBROCK 2003; schriftliche Mitteilung), bei der Lavasandfilter mit ungeklärtem häuslichem Abwasser intermittierend alternierend mit bis zu 500 mm/d beaufschlagt werden konnten. Bei einem weiteren Feldversuch der areal GmbH zur Behandlung kontaminierter Grundwässer wies ebenfalls der Lavasand die besten Abbauleistungen bei problemloser Hydraulik auf.

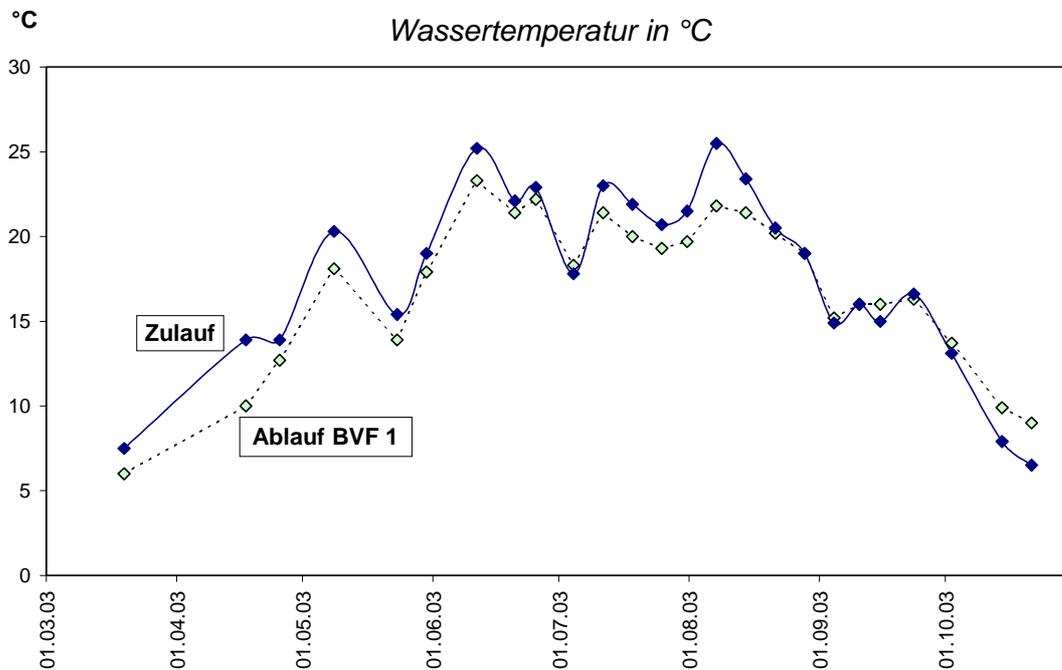
Wissenschaftliche Untersuchungen zu diesem Phänomen hoher hydraulischer Leistungsfähigkeit bei hohem Schluff- und Tonanteil fehlen bisher.

Beachtenswert ist des Weiteren, dass der im Container 2 eingesetzte Bodenfilter abzüglich einer gut 25 cm mächtigen Dränschicht aus Kiesen 8/16 und 2/8 mm mit nur 40 – 45 cm Lavasand gefüllt wurde.

3.7 Einfluß der Außentemperatur

Durch die große Oberfläche der Teiche von je 3.000 qm kann sich das Wasser im Sommer auf bis über 25° C erwärmen (z. B. Probenahme am 11.6. und 7.8.2003).

Ein Einfluß der Außentemperatur auf die Reinigungsleistung der verschiedenen Filter ist zweifelsohne gegeben und kann sich positiv auf die temperaturabhängige Nitrifikation (Optimum zwischen 20 und 30 °C; HAMM 1991:225) auswirken. Negative Folgen einer derart erhöhten Wassertemperatur sind vermehrt gebildeter Ammoniak und geringere Sauerstofflöslichkeit, was besonders für die aquatische Fauna ein Problem darstellt.

Diagramm 5:

Wie das Diagramm zeigt, puffert ein Bodenfilter die Temperaturmaxima leicht ab (um ca. 2 – 3 °C). Die im Boden gespeicherte Wärme bzw. Kälte führt des weiterem im Frühjahr zu einem verzögerten Anstieg bzw. im Herbst zu einem verzögerten Sinken der Wassertemperatur.

3.8 Sonstige Parameter - Vegetation

Aufgrund der Versuchsdauer von 12 Monaten war es ausgeschlossen, dass das Schilf seine volle Wuchshöhe bzw. Funktion in den Containern erreicht. Immerhin wurde eine Wuchshöhe bis zu 1,1 m nach der ersten Vegetationsperiode gemessen. Die Wüchsigkeit des Schilfs war bei den verwendeten Sand-Substraten (s. Foto oben) ähnlich, beim größeren Kalksplitt in BVF 3 schwächer (nur ca. 60 cm).

Da die Reinigungsleistung einer PKA jedoch hauptsächlich (bezogen auf C-, NH₄-N- und P-Elimination) durch die Mikroorganismen im Substrat erfolgt und zu einem untergeordneten Anteil durch die Schilfpflanzen (GRIES, KRETZSCHMAR & WIDMOSER 1991, GELLER ET AL. 1992), spielte der Anwachszustand des Schilfs nur eine untergeordnete Rolle.



Im Laufe der Jahre kommt dem Schilf auf einer PKA vor allem die Funktion zu, durch Halmbewegungen den Filterkörper zu lockern und durch Wurzelbahnen abgestorbener organischer Masse die hydraulische Leistungsfähigkeit zu verbessern. Positiv trägt dazu bei, daß die unterirdischen Wuchsorgane der Schilfpflanzen sich sehr rasch ausbreiten (s. a. RODEWALD-RODESCU 1974).

4. Diskussion des Status eines nachgeschalteten Bodenfilters

Ein nachgeschalteter Bodenfilter an der TKA Volkertsweiler würde eine Art Hybrid zwischen verschiedenen bekannten Systemen darstellen: Von der hydraulischen Belastung her (78 bis über 1000 mm / d je nach Vorregen) entspricht er eher einem Retentionsbodenfilter (RBF), von der Abwasserzusammensetzung her (durch 3 Teiche weitgehend vorgeklärt) und aufgrund der wasserwirtschaftlichen Anforderungen eher der 2. Stufe einer Pflanzenkläranlage (PKA).

Der Begriff Bodenfilter, ein Überbegriff für die RBF, PKA und Klärschlammvererdungsanlagen, wird daher als passend angesehen und durch das Wort „nachgeschaltet“ ergänzt.

Entsprechend des Hybridcharakters des nachgeschalteten Bodenfilters sollten sowohl stoffspezifische Bemessungsansätze für PKA als auch die Bemessungsgrundlagen für RBF (z. B. LfU 2002) bei der Auslegung beachtet werden. Die Kriterien des z. Z. noch gültigen ATV A 262 (ATV 1998) sind weniger geeignet, da es auf PKA im Trennsystem beschränkt ist und damit sowohl beim Flächenansatz (qm / EW) als auch beim hydraulischen Ansatz (mm / d) hohe Kohlenstoff-Zulaufkonzentrationen zu Grunde gelegt werden. Beispielsweise wird im A 262 von 40 g BSB₅ (abgesetzt) ausgegangen. Vereinfacht 2:1 auf den CSB übertragen hieße das eine Zulaufkonzentration von 500 bis 600 mg/l, während sie tatsächlich im Ablauf des zweiten Teiches bei 61 mg/l lag (Mittelwert März bis Oktober 2003; inkl. Algenblüte im April 2003).

Bezüglich der CSB-Flächenbelastung kann vom nachgeschalteten Bodenfilter die Forderung des „Anwenderhandbuchs Pflanzenkläranlagen“ (GELLER & HÖNER 2003) sowie der Vorschlag der ATV für das überarbeitete A 262 weitgehend eingehalten werden. Die Forderung liegt bei $< 20 \text{ g} / qm * d$, während je nach Beschickungsmenge in Volkertsweiler zwischen ca. 8 und 26 g bei max. Zufluß je qm und Tag beaufschlagt werden. Der Median der Flächenbelastung dürfte also deutlich unter $20 \text{ g} / qm * d$ liegen.

Bezüglich der hydraulischen Belastung werden – wie oben dargelegt – die Bemessungsansätze für PKA weit übertroffen. Aufgrund der im Feldversuch - ohne Einbruch der Leistungsfähigkeit beim Lavasand – durchgeführten Beschickungs-Simulation eines Dauerregens (500 – 800 mm/d) sind jedoch sowohl bei der täglichen wie auch bei der jährlichen Beaufschlagungsmenge deutliche Pufferkapazitäten bei einer Anlage im Originalmaßstab vorhanden (130 bis 511 mm/d).

Hohe hydraulische Belastungen wurden auch auf einer Bodenfilter-Versuchsanlage des Entsorgungsverbandes Saar mit unbehandeltem Mischwasser (500 mm/d alternierend im Wochenrhythmus) sowie in einem RBF im Nordsaarland (Stapelhöhe = 110m / a) erfolgreich durchlaufen (EVS 2003).

5. Zusammenfassung

Die Teichkläranlage Volkertsweiler, bestehend aus einem Vorklärteich sowie drei Teichen á 3.000 qm, reinigt das Abwasser von 900 Einwohnerwerten (EW) in der Gemeinde Neuhausen ob Eck, Landkreis Tuttlingen.

Die im Jahr 2000 verschärfte wasserwirtschaftlichen Anforderungen an den Kohlenstoffabbau von 90 mg CSB/l werden bereits vom 2. der drei Teiche der bestehenden Anlage weitgehend erfüllt. Der Überwachungswert von 5 mg/l NH₄-N wird von der bestehenden Anlage nicht eingehalten.

Ziel des Feldversuchs war es, verschiedene Substrate in vertikal- bzw. horizontal durchflossenen Bodenfiltern zu testen, um auch den wasserwirtschaftlich relevanten Parameter NH₄-N dauerhaft einzuhalten.

Trotz einer für Vertikalfilter sehr hohen hydraulischen Belastung von 500 mm/d und mehr konnte der vertikal durchströmte Lavasandfilter im Ablauf dauerhaft 5 mg NH₄-N/l unterschreiten (NH₄-N Mittelwert = 0.8 mg/l; n = 21). Die anderen Substrate in den Vertikalfiltern (Moränensand, Kalksplitt) und die Horizontalfilter erreichten dies nicht.

Für die Optimierung der TKA Volkertsweiler wird daher ein nachgeschalteter, mit Lavasand befüllter Vertikalfilter vorgeschlagen, um die wasserwirtschaftlichen Anforderungen dauerhaft zu erfüllen.

6. Literatur

Abwassertechnische Vereinigung (ATV) (1998): Arbeitsblatt A 262. Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenbeeten für kommunales Abwasser bei Ausbaugrößen bis 1000 Einwohnerwerte. Juni 1998.

ENTSORGUNGSVERBAND SAAR [EVS] (2003): Fachkolloquium bewachsene Bodenfilter – Ein Einblick in Praxis, Forschung & Kosten“. Tagungsband zur Tagung vom 13.11.2003 in Otzenhausen.

GELLER, G., KLEYN, K, LENZ, A., NETTER, R., RETTINGER, S. & W. HEGEMANN (1992): Leistungsfähigkeit eines „Bewachsenen Bodenfilters zur Reinigung von Wässern“ – Endbericht zum BMFT-Forschungsvorhaben o2-WA-5162/884067. In: GELLER, G. [Hrsg.] (1992): Bewachsene Bodenfilter zur Abwasserreinigung. Lehrstühle für Landschaftsökologie sowie Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen der TU München, Landschaftsökologie Weihenstephan, Bd. 7. 177 S.

GELLER, G. & G. HÖNER (2003): Anwenderhandbuch Pflanzenkläranlagen. 221 S. Springer Verlag.

GRIES, C., KRETZSCHMAR, R. & P. WIDMOSER (1991): Die Bedeutung von *Phragmites australis* für die Abwasserbehandlung in einer Wurzelraumanlage. In: Wasser & Boden 1991, Nr. 5:280-295.

HAMM [Hrsg.] (1991): Studie über Wirkungen von Nährstoffen in Fließgewässern. St. Augustin.

LEIBROCK (2003; schriftliche Mitteilung): Ergebnisse eines Feldversuch zur Behandlung kommunalen Abwassers mit verschieden aufgebauten Bodenfiltern.

LFU. LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG [Hrsg.] (2002): Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem. 2. überarbeitete Auflage. Karlsruhe.

RODEWALD-RUDESCU, L. (1974): Das Schilfrohr. In: Die Binnengewässer, Band XXVII. Stuttgart.