

# Untersuchungen zu Reinigungsleistung und Prozessstabilität von Kleinkläranlagen mit getauchten Festbettsystemen

Im Auftrag des  
Ministeriums für Umwelt, Raumordnung  
und Landwirtschaft NRW

- Nr. VW3409/1098/A1278-

Wissenschaftlicher Leiter: Prof. Dr.-Ing. M. Lohse

Institut für Abfall- und  
Abwasserwirtschaft e. V.  
an der  
Fachhochschule Münster

Bearbeiter:  
Dipl.-Ing. G. Hegemann  
Dipl.-Ing. T. Böning

**März 2000**

## Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
<b>1</b>	<b>Veranlassung ..... 1</b>
<b>2</b>	<b>Funktionsbeschreibung der Festbettsysteme ..... 1</b>
<b>3</b>	<b>Vorgehensweise ..... 3</b>
3.1	Anlagenauswahl für die Untersuchung ..... 3
3.2	Probenahme- und Analytikprogramm ..... 5
<b>4</b>	<b>Auswertung der Versuchsergebnisse ..... 7</b>
4.1	Schlammanfall ..... 7
4.2	Abwasseranfall und -verweilzeiten in der Kleinkläranlage ..... 8
4.3	Analysenergebnisse ..... 9
4.3.1	Ergebnisse der qualifizierten Stichproben ..... 9
4.3.2	Ergebnisse der 24-h-Beprobungen ..... 13
4.3.3	Prozessstabilität ..... 14
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Empfehlungen für den Betrieb ..... 15</b>
<b>6</b>	<b>Literatur ..... 17</b>
<b>7</b>	<b>Anhang ..... 17</b>

## Tabellenverzeichnis

	<u>Seite</u>
Tab. 3.1: Wesentliche Kenndaten der Untersuchungsanlagen .....	4
Tab. 3.2: Untersuchungsparameter und Probenahmestellen .....	6
Tab. 4.1: Schlammanfall in Kleinkläranlagen [LUA, 1994] .....	7
Tab. 4.2: Ermittelter Abwasseranfall .....	8
Tab. 4.3: Abwasserverweilzeiten in der Kleinkläranlage mit getauchtem Festbett .....	8
Tab. 4.4: Analysenwerte im Vor- und Nachklärungsablauf der untersuchten Kleinkläranlagen (qualifizierte Stichproben).....	9

## Abbildungsverzeichnis

	<u>Seite</u>
<b>Abb. 2.1: Mit Festbett-System nachgerüstete Mehrkammergrube – Einbehälteranlage (Fa. Envicon) .....</b>	<b>2</b>
<b>Abb. 4.1: CSB-Werte im Ablauf der Vor- und Nachklärung (qualifizierte Stichproben) .....</b>	<b>10</b>
<b>Abb. 4.2: Abfiltrierbare Stoffe im Ablauf der Vor- und Nachklärung (qualifizierte Stichproben) .....</b>	<b>12</b>
<b>Abb. 4.3: CSB-Ganglinien des Nachklärungsablaufs (Versuchsdaten der 24-h-Beprobungen) .....</b>	<b>13</b>

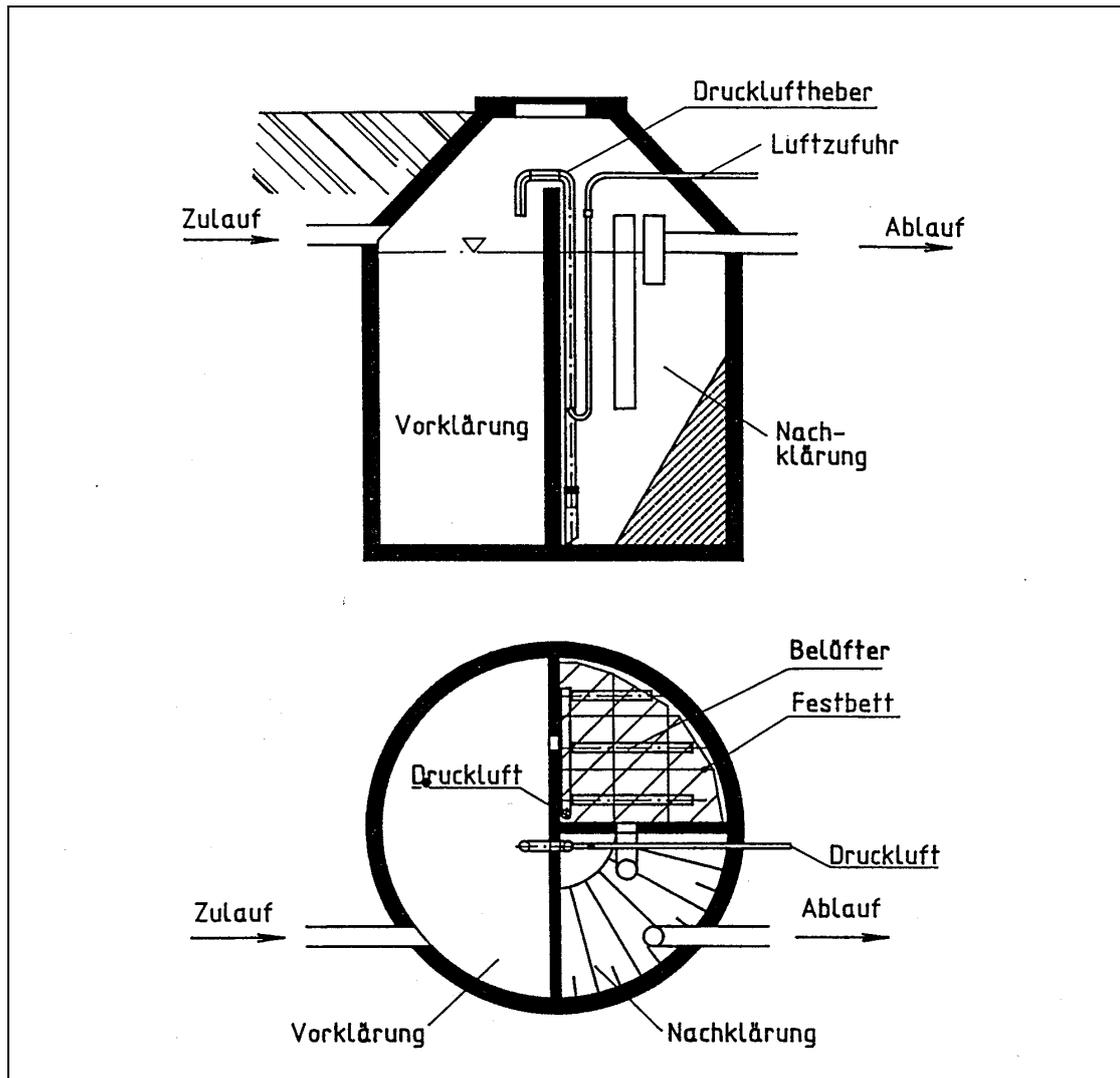
## **1 Veranlassung**

Derzeit werden Festbettssysteme für die Abwasserreinigung in Kleinkläranlagen auf dem Markt angeboten (z. B. 3K-Plus-System der Fa. Envicon), mit denen vorhandene und intakte Mehrkammergruben in vollbiologische Reinigungsstufen umgerüstet werden können, so dass eine Erweiterung der Anlage mit einer zusätzlichen Stufe, wie z. B. Pflanzenbeet oder Tropfkörper, nicht erforderlich ist. Dabei erfolgt eine Unterteilung der Mehrkammergruben in eine mechanische (Sedimentation) und eine biologische Stufe (getauchtes Festbett mit Druckbelüftung und Nachklärung). Die Anlagen sind in der Regel so konzipiert, dass nach Umrüstung ein spezifisches Vorklärvolumen von 350 I/E zur Verfügung steht (entspricht bei halber Fülltiefe 175 I/E Schlamm Speichervolumen). Für diese Art von Reinigungssystemen liegen Bauartzulassungen vom Deutschen Institut für Bautechnik in Berlin vor.

Gegenwärtig fordern – insbesondere bei Gebieten, die als besonders schutzbedürftig eingestuft werden – die zuständigen Unteren Wasserbehörden bei der Umrüstung von vorhandenen Vorklärstufen mit getauchten Festbett-Systemen häufig ein spezifisches Vorklärvolumen von mindestens 750 I/E zur Erzielung einer höheren Prozessstabilität. Nach Überzeugung der Anlagenhersteller verfügen auch Anlagen mit einem Vorklärvolumen von 350 I/E über eine ausreichende Reinigungsleistung und Prozessstabilität, so dass einem Einsatz auch in besonders schutzbedürftigen Gebieten nichts im Wege stehen dürfte. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurde der Einfluss des Vorklärvolumens auf die Reinigungsleistung und Prozessstabilität ermittelt.

## **2 Funktionsbeschreibung der Festbettssysteme**

Handelsübliche 3-Kammer-Ausfaulgruben werden gemäß DIN 4261 – T 1 mit einem spezifischen Volumen von 1.500 I/E ausgeführt. Das Volumen ist in drei Kammern – im Verhältnis 50:25:25 – unterteilt. Der Nachrührsatz wird in die zweite Kammer eingesetzt. Die erste und dritte Kammer werden als Vor- bzw. Nachklärung genutzt.



**Abb. 2.1:** Mit Festbett-System nachgerüstete Mehrkammergrube – Einbehälteranlage (Fa. Envicon)

Das Abwasser läuft zunächst der Vorklärkammer zu, wo die Grobstoffe abgeschieden und gespeichert werden. Das vorgereinigte Abwasser gelangt über die Durchtrittsöffnungen in die belüftete Reaktorkammer mit dem getauchten Festbett, das aeroben Mikroorganismen als Aufwuchsfläche dient. Durch Nutzung des eingebrachten Sauerstoffs bauen diese die im Abwasser gelösten Schmutzstoffe ab. Die Form des Festbettes – i. d. R. gitterartige Hohlzylinder – begünstigt in Koordination mit der Belüftung den Kontakt zwischen Biomasse, Luft und Abwasser. Die Mikroorganismen werden von Druckbelüftungsrohren unter dem Festbett mit Sauerstoff versorgt. Gleichzeitig kommt es zur notwendigen Umwälzung des Beckeninhaltes. Um Energie zu sparen, wird die Belüftung sehr häufig intervallweise betrieben. In den Hauptbelastungsstunden sind in diesem Fall die Belüftungspausen wesentlich kürzer als in den Abend- und Nachtstunden.

Der in der Festbettkammer anfallende biologische Schlamm gelangt über eine Durchtrittsöffnung in die Nachklärkammer und kann dort sedimentieren. Der Boden der Nachklärung ist entsprechend der Grubenform entweder konisch, trichterförmig oder keilförmig angeschrägt. Ein Hebesystem (z. B. über ein Magnetventil gesteuerte Drucklufthebeanlage, versorgt durch die Druckluft des Luftverdichters) fördert überwiegend in den Nachtstunden den abgesetzten Schlamm in die Vorklärkammer, in der dieser gemeinsam mit dem Fäkalschlamm gespeichert wird. Das gereinigte Abwasser gelangt über einen Kontroll- und Probenahmeschacht in einen Vorfluter oder versickert.

### 3 Vorgehensweise

#### 3.1 Anlagenauswahl für die Untersuchung

Im Rahmen des Projektes wurden neun Kleinkläranlagen, die mit einem Festbett-System nachgerüstet wurden, regelmäßig beprobt. Aufgrund der aktuellen Diskussion über die Abhängigkeit der Reinigungsleistung und Prozessstabilität von der Größe des Vorklärvolumens wurden die Untersuchungen an folgenden Anlagen mit unterschiedlichem Vorklärvolumen durchgeführt:

- 6 Anlagen mit einem einwohnerspezifischen Vorklärvolumen von 350 I/E (entspricht bei halber Fülltiefe einem Schlamm Speichervolumen von 175 I/E)
- 3 Anlagen mit einem einwohnerspezifischen Vorklärvolumen von 750 I/E (entspricht bei halber Fülltiefe einem Schlamm Speichervolumen von 375 I/E)

Zur besseren Verständlichkeit wird folgende Vereinheitlichung der Begriffe festgelegt:

- Vorklärvolumen: Gesamtes Volumen der ersten Kammer
- Schlamm Speichervolumen: Volumen vom Kammerboden bis zur Unterkante der Durchtrittsöffnungen von der ersten in die zweite Kammer ( $\geq$  halbe Fülltiefe) zur Speicherung des Bodenschlamm
- Absetzvolumen: Verbleibendes Volumen (Vorklärvolumen minus Schlamm Speichervolumen) von Unterkante der Durchtrittsöffnungen von der ersten in die zweite Kammer bis zur Abwasser Oberfläche

Die Auswahl der Untersuchungsanlagen erfolgte nach Herstellerlisten und Behördenunterlagen. Vor Untersuchungsbeginn wurde überprüft, ob diese Anlagen alle Nebenbedingungen des Zulassungsbescheides des „Deutschen Instituts für Bautechnik“ erfüllen und ordnungsgemäß betrieben werden.

Bei allen beprobten Anlagen handelt es sich um umgerüstete runde Dreikammergruben aus Beton (Aufteilung: 50:25:25), die sich zu Beginn und während der Versuchsphase in einem einwandfreien Bau- und Betriebszustand befanden. Die wesentlichen Kenndaten der neun Untersuchungsanlagen sind in der folgenden Tabelle 3.1 dargestellt. Weitere Details sind dem Berichtsanhang zu entnehmen.

**Tab. 3.1:** Wesentliche Kenndaten der Untersuchungsanlagen

Nr.	angeschlossene Einwohner	Personenbeschreibung <sup>1)</sup>	Baujahr	Gesamtvolumen der KKA	Abwassertiefe	vorhandenes VK-Volumen	einwohnerspez. VK-Volumen	Abstand Unterkante des Durchtritts von AO	verbleibende Schlammtiefe	verbleibendes Schlamm Speichervolumen	einwohnerspez. Schlamm Speichervolumen <sup>2)</sup>	Zeitraum seit letzter Schlammabfuhr bis zum Untersuchungsende
	[E]	[-]	[-]	[m <sup>3</sup> ]	[m]	[m <sup>3</sup> ]	[l/E]	[m]	[m]	[m <sup>3</sup> ]	[l/E]	[Monate]
A1	7	3 Ki + 4 Ew	1999	6,1	1,25	3,1	438	0,60	0,65	1,6	228	8
A2 <sup>3)</sup>	5	1 Ki + 4 Ew	1997	6,4	1,30	3,2	638	0,60	0,70	1,7	343	28
A3	5	5 Ew	1997	6,4	1,30	3,2	638	0,60	0,70	1,7	343	15
A4	5	5 Ew	1998	6,4	1,30	3,2	638	0,60	0,70	1,7	343	15
A5	6	6 Ew	1998	6,4	1,30	3,2	532	0,60	0,70	1,7	286	17
A6	7	8 Ew	1997	6,1	1,25	3,1	438	0,60	0,65	1,6	228	19
A7	5	1 Ki + 4 Ew	1998	8,6	1,75	4,3	859	0,60	1,15	2,8	564	19
A8	4	4 Ew	1997	6,4	1,30	3,2	797	0,60	0,70	1,7	429	10
A9 <sup>4)</sup>	10	5 Ki + 5 Ew	1997	9,8	2,0	4,9	491	0,60	1,40	3,4	343	11

1) Personenbeschreibung: Ki = Kinder, Ew = Erwachsene

2) Anpassen des Schlamm Speichervolumens auf 175 (A1, A3 - A6) bzw. 375 l/E (A7 - A8) durch Kieseinbringung erforderlich

3) Anpassung des Schlamm Speichervolumens aufgrund hohen Schlammspiegels bei Versuchsbeginn nicht erforderlich

4) Anpassung des Schlamm Speichervolumens aufgrund Einwohnerauslastung nicht erforderlich

VK = Vorklärung; AO = Abwasseroberfläche; Durchtritt = Übergangsöffnungen zwischen den Kammern

A1 - A6 = Anlagen mit 350 l VK-Volumen/E; A7 - A9 = Anlagen mit 750 l VK-Volumen/E

Als problematisch für die Untersuchungsdurchführung stellte sich zum einen der allgemein geringe Einwohnerauslastungsgrad der Anlagen heraus, der zu einem erhöhten Vorklärvolumen pro Einwohner und somit auch zu einem erhöhten Schlamm Speichervolumen pro Einwohner führte (s. Tabelle 3.1). Zudem wurde die jeweilige Größe des vorliegenden Schlamm Speichervolumens auch durch die Form und die Positionierung der Durchtritte von der Vorklärkammer in die Festbettkammer beeinflusst. Die Unterkante des Durchtritts sollte gemäß DIN 4261 – T 1 in Höhe der halben Abwassertiefe liegen. In der Praxis sind sehr häufig Abweichungen nach oben hin zu finden. So lag bei allen neun Anlagen die Unterkante der Durchtrittsöffnung (Kreis- oder Rechteckprofil) 60 cm unterhalb der Abwasseroberfläche. Das führte bei zwei Anlagen zu einer

verbleibenden Schlammstochertiefe, die größer als die halbe Abwassertiefe ist (s. Tabelle 3.1), was zu einer weiteren Erhöhung des Schlammstochervolumens aber gleichzeitig auch zu einer Verringerung des Absetzvolumens führte.

Zur Anpassung der vorhandenen Schlammstochervolumina an die erforderlichen Untersuchungsbedingungen mit einwohnerspezifischen Werten von 175 bzw. 375 l Schlammstochervolumen/E (s. v.) wurde in die Anlage A1 und in die Anlagen A3 bis A8 Kies in die Vorklärkammer eingebracht. Die Schlammstochervolumenanpassung konnte für die Anlage A2 aufgrund des hohen Schlammstocherspiegels bei Versuchsbeginn (verbleibender Freiraum entsprach in etwa dem erforderlichen Schlammstochervolumen) und bei der Anlage A9 aufgrund der entsprechenden Einwohnerauslastung und dem daraus resultierenden Schlammstochervolumen entfallen.

Es ist zu bemerken, dass durch diese Art der Schlammstocheranpassung in Zusammenhang mit den vorliegenden Rahmenbedingungen teilweise ein geringfügig erhöhtes (35 bis 125 l/E) bzw. verringertes (0 bis 227 l/E) Absetzvolumen vorlag. Bei den Anlagen A1 bis A6 (350 l Vorklärstochervolumen/E bzw. 175 l Schlammstochervolumen/E) führte das zu einer Verweilzeitverlängerung in der Vorklärkammer um 0,35 bis 1,25 d und bei den Anlagen A7 bis A9 (750 l Vorklärstochervolumen/E bzw. 375 l Schlammstochervolumen/E) zu einer Verweilzeitverringerung von 0 bis 2,27 d. Eine Beeinträchtigung der ermittelten Untersuchungsergebnisse ist somit auszuschließen, da in beiden Fällen – auch bei einer ordnungsgemäßen Anlagenauslastung – die vorhandene Verweilzeit den Anforderungen des großtechnischen Betriebs entspricht (Eindicker 1 bis 3 Tage [STIER et al., 1999]).

Aufgrund dessen wird im Folgenden im Sinne der Verständlichkeit bei der Darstellung der Ergebnisse weiterhin die Größe des Vorklärstochervolumens pro Einwohner mit 350 l/E bzw. 750 l/E angegeben.

### 3.2 Probenahme- und Analytikprogramm

Die Beprobung der neun Kleinkläranlagen erstreckte sich über einen Zeitraum von acht Monaten (Juli 1999 bis Februar 2000). Es wurden in einem Abstand von 14 Tagen (Juli bis Dezember) bzw. von vier Wochen (Dezember bis Februar) Proben als qualifizierte Stichproben gezogen (insgesamt 9 Beprobungen pro Anlage). Die Proben wurden mit einem Tiefenprobenehmer in Höhe der Durchtrittsöffnung zur zweiten Kammer (Ablauf Vorklärung) bzw. in Höhe des Anlagenablaufs (Ablauf Nachklärung) genommen.

Zur Erfassung von tageszeitlichen Schwankungen erfolgten bei zwei der ausgewählten Anlagen mit 350 l Vorklärstochervolumen/E (Anlage A2 und A3) während der letzten drei Beprobungsdurchgänge die Ablaufbeprobungen der Nachklärung über automatische Pro-

benahmegeräte als zeitproportionale Mischproben (6 - 10 Uhr, 10 - 16 Uhr, 16 - 22 Uhr, 22 - 6 Uhr). Die Beprobung des Vorklärungsablaufs erfolgte dabei wiederum mittels qualifizierter Stichproben.

Die Abwasserproben wurden auf die folgenden Parameter analysiert:

**Tab. 3.2:** Untersuchungsparameter und Probenahmestellen

Parameter	Einheit	Vorschrift	Probenahmestelle <sup>3)</sup>
Temperatur <sup>1)</sup>	°C	DIN 38404 C4	VK
Elektr. Leitfähigkeit <sup>1)</sup>	mS/cm	DIN EN 27888	VK
pH-Wert <sup>1)</sup>	-	DIN 38404 C5	VK + NK
Absetzbare Stoffe	ml/l	DIN 38409 H9	NK
Abfiltrierbare Stoffe	mg/l	DIN 38409 H2	VK + NK
CSB <sup>2)</sup>	mg/l	Küvettentest	VK + NK
BSB <sub>5</sub> <sup>2)</sup>	mg/l	DIN 38409 H51	NK
N <sub>ges</sub> <sup>2)</sup>	mg/l	Küvettentest	NK
P <sub>ges</sub> <sup>2)</sup>	mg/l	Küvettentest	NK

1) Mittels In-situ-Sonde

2) Analyse aus der homogenisierten Probe

3) VK: Ablauf Vorklärung, in Höhe der Durchtrittsöffnung; NK: Ablauf Nachklärung, in Höhe des Ablaufs

Parallel zu diesen Parametern wurden bei jeder Beprobung die Höhe des Bodenschlammspiegels (Messgerät: Plexiglasrohr mit Skala und Bodenventil) und des Schwimmschlammes (Messgerät: Messlatte) in der Vorklär- und Nachklärkammer erfasst. Zudem erfolgte die regelmäßige Ablesung der Wasserzähler, um auf den Abwasseranfall schließen zu können.

## 4 Auswertung der Versuchsergebnisse

### 4.1 Schlammanfall

Die Bestimmung des Schlammanfalls pro Einwohner konnte lediglich für die Anlagen A2 und A9 durch regelmäßige Messungen des Schlammspiegels in der Vorklär- und Nachklärkammer (Boden- und Schwimmschlamm) während der gesamten Versuchsreihe erfolgen. Bei den anderen sieben Anlagen war eine Schlammspiegelmessung aufgrund des eingebrachten Kieses zur Anpassung des einwohnerspezifischen Schlamm Speichervolumens nicht möglich.

Die Anlage A2 wurde seit der Errichtung nicht entleert (28 Monate). Bei dieser Anlage ergaben die Schlammmessungen der letzten zwei Beprobungsdurchgänge einen Übertritt von der Vorklärkammer in die weiteren Kammern. Bestätigt wurde das durch erhöhte Ablagerungen im Bereich der Nachklärung (ca. 24 und 35 cm). Bezogen auf die Einwohnerzahl (hier 4 Erwachsene) und einem Zeitraum von ca. 24 Monaten ergibt sich die Schlammmenge von ca.  $400 \text{ l}/(\text{E} \cdot 2\text{a})$ . Bei der Anlage A9 konnte die kontinuierliche Entwicklung mittels der Schlammspiegelmessungen erfasst und direkt umgerechnet werden und ergab etwa  $290 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{a})$ .

Die ermittelten Zahlen entsprechen in etwa Literaturangaben:

**Tab. 4.1:** Schlammanfall in Kleinkläranlagen [LUA, 1994]

Räum-intervall	Primärschlamm	Sekundärschlamm bei getrennter Speicherung (Tauchkörper)	Summe
1 Jahr	240 l/E	80 l/E	320 l/E
2 Jahre	330 l/E	160 l/E	490 l/E

## 4.2 Abwasseranfall und -verweilzeiten in der Kleinkläranlage

Zur Abschätzung des Abwasseranfalls wurde bei vier der neun Anlagen bei jedem Beprobungsdurchgang der Wasserzähler abgelesen. Zuvor wurde sichergestellt, dass der Anschluss nur der Wasserversorgung des Haushalts dient. In der folgenden Tabelle sind die entsprechenden Verbräuche (= Abwasseranfall) aufgeführt. Es wird deutlich, dass der Maximalwert aller Anlagen unter der Norm-Angabe von 150 l/(E · d) [DIN 4261 – T2] liegt. Der Mittelwert aller Anlagen entspricht dem Verbrauch bzw. dem Abwasseranfall in ländlichen Regionen gemäß ATV-A 262 von 100 l/(E · d).

**Tab. 4.2:** Ermittelte Abwasseranfall

Bemerkung			Min.	im Mittel	Max.
Anlage A1	3 Ki + 4 Ew	l/(E d)	62	70	81
Anlage A2	1 Ki + 4 Ew	l/(E d)	95	110	114
Anlage A3	5 Ew	l/(E d)	114	128	143
Anlage A7	1 Ki + 4 Ew	l/(E d)	67	82	95
Gesamt		l/(E d)	62	97	143
Anzahl der Ablesungen		-	28	28	28

Ki = Kinder Ew = Erwachsene

Aus den Minimal-, Mittel- und Maximal-Werten der Wasserverbräuche bei allen Anlagen ergeben sich die in der Tabelle 4.3 dargestellten mittleren Verweilzeiten des Abwassers in den Kleinkläranlagen.

**Tab. 4.3:** Abwasserverweilzeiten in der Kleinkläranlage mit getauchtem Festbett

Bemerkung	Einheit	Verweilzeiten					
		Anlage mit 350 l/E VK-Volumen			Anlagen mit 750 l/E VK-Volumen		
		Min.	im Mittel	Max.	Min.	im Mittel	Max.
Vorklärkammer	d	2,4	3,6	5,6	5,2	7,7	12,1
Festbettkammer	d	1,5	2,9	5,2	1,7	3,7	6,9
Nachklärkammer	d	1,5	2,9	5,2	1,7	3,7	6,9
Gesamtanlage <sup>1)</sup>	d	5,5	9,3	15,9	8,7	15,1	25,9

<sup>1)</sup> Einzelauswertung, nicht als Summe zu sehen

VK = Vorklärkammer

## 4.3 Analysenergebnisse

### 4.3.1 Ergebnisse der qualifizierten Stichproben

Die nachstehende Tabelle 4.4 enthält eine Zusammenfassung sämtlicher aufgenommener Daten der qualifizierten Stichproben, unterteilt in Anlagen mit 350 und 750 l Vorklärvolumen pro Einwohner. Weitere Details sind dem Berichtsanhang zu entnehmen.

**Tab. 4.4:** Analysenwerte im Vor- und Nachklärungsablauf der untersuchten Kleinkläranlagen (qualifizierte Stichproben)

6 Anlagen mit 350 l/E VK-Volumen (= 175 l/E Schlamm Speichervolumen)		Ablauf Vorklärungsstufe				Ablauf Nachklärungsstufe				Reinigungsleistung
Probenahmestelle: <sup>1) 2)</sup>		Datenzahl	Min.	im Mittel	Max.	Datenzahl	Min.	im Mittel	Max.	Mittel [%]
Parameter	Einheit									
Temperatur	°C	48	9,0	15	22	48	8,8	15	20	-
Leitfähigkeit	mS/cm	48	1,35	1,82	2,46	-	-	-	-	-
pH-Wert	-	48	7,0	7,5	8,5	48	7,7	8,0	8,5	-
absetzbare Stoffe	ml/l	36	0,1	2,3	8	-	-	-	-	-
abfiltrierbare Stoffe	mg/l	36	21	97	430	54	4	24	68	68
CSB	mg/l	36	230	460	800	54	26	100	230	78
BSB <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-	-	36	2,6	21	62	-
N <sub>ges</sub>	mg/l	12	55	108	160	54	38	86	130	-
P <sub>ges</sub>	mg/l	12	7	13	18	54	6,1	11	16	-
3 Anlagen mit 750 l/E VK-Volumen (= 375 l/E Schlamm Speichervolumen)		Ablauf Vorklärungsstufe				Ablauf Nachklärungsstufe				Reinigungsleistung
Probenahmestelle: <sup>1) 2)</sup>		Datenzahl	Min.	im Mittel	Max.	Datenzahl	Min.	im Mittel	Max.	Mittel [%]
Parameter	Einheit									
Temperatur	°C	24	9,8	14	22	24	9	15	18	-
Leitfähigkeit	mS/cm	24	1,46	1,80	2,23	-	-	-	-	-
pH-Wert	-	24	7,3	7,6	8	24	7,6	7,9	8,1	-
absetzbare Stoffe	ml/l	18	0	2,5	6,5	-	-	-	-	-
abfiltrierbare Stoffe	mg/l	18	11	95	220	18	2	30	85	64
CSB	mg/l	18	103	320	630	18	24	91	210	72
BSB <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-	-	18	2,4	22	120	-
N <sub>ges</sub>	mg/l	6	57	95	130	18	34	71	120	-
P <sub>ges</sub>	mg/l	6	12	18	31	18	7,9	14	25	-

<sup>1)</sup> Probenahmestelle: Vorklärung: in Höhe der Übertrittsöffnung; Nachklärung: in Höhe der Ablauföffnung

<sup>2)</sup> qualifizierte Stichproben

VK = Vorklärung

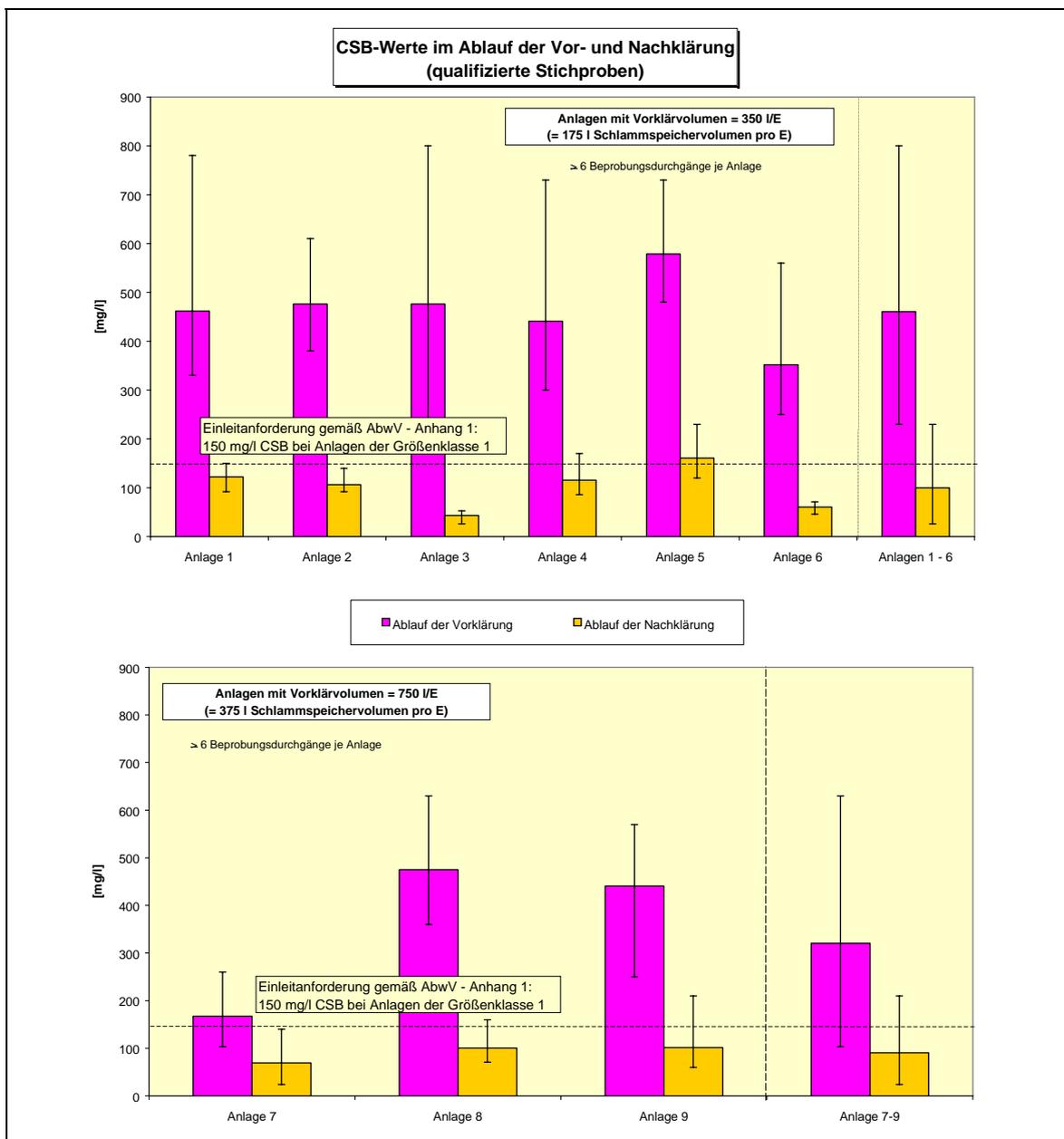
Die gemessenen Konzentrationen an absetzbaren Stoffen im Ablauf der Vorklärung liegen zwischen 0,1 bis 8 mg/l. Die Konzentrationshöhe verhält sich in etwa proportional zur Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe.

Die aufgeführten Ablaufwerte (Mittelwerte) beider Anlagentypen weisen in etwa das selbe Qualitätsniveau auf. Die BSB<sub>5</sub>-Werte liegen im Mittel bei ca. 20 mg/l und erfüllen somit im Mittel die Einleitforderungen der hilfsweise zum Vergleich herangezogenen Abwasserverordnung (Anhang 1) für Anlagen der Größenklasse 1 (< 60 kg BSB<sub>5</sub> pro d) mit 40 mg/l. Die BSB<sub>5</sub>-Maximalwerte überschreiten diesen Einleitwert vereinzelt. Dazu ist zu vermerken, dass die Einleitforderungen (Maximalwerte) der Abwasserverordnung (Anhang 1) nicht für Kleinkläranlagen (< als 8 m<sup>3</sup> Abwasseranfall pro Tag bzw.

50 E) gelten, aber in der Praxis häufig als Grundlage zur Beurteilung der Reinigungsleistung seitens der überwachenden Behörden gewählt werden.

Bezüglich der Parameter Stickstoff und Phosphor konnten nur geringe bzw. keine Abbauleistungen bei beiden Anlagentypen festgestellt werden. Dabei ist die geringe Daudichte zu beachten. Die erfassten Gesamt-Stickstoffablaufwerte lagen zwischen 34 und 130 mg/l und die Gesamt-Phosphorablaufwerte wiesen Konzentrationen zwischen ca. 6 bis 25 mg/l auf.

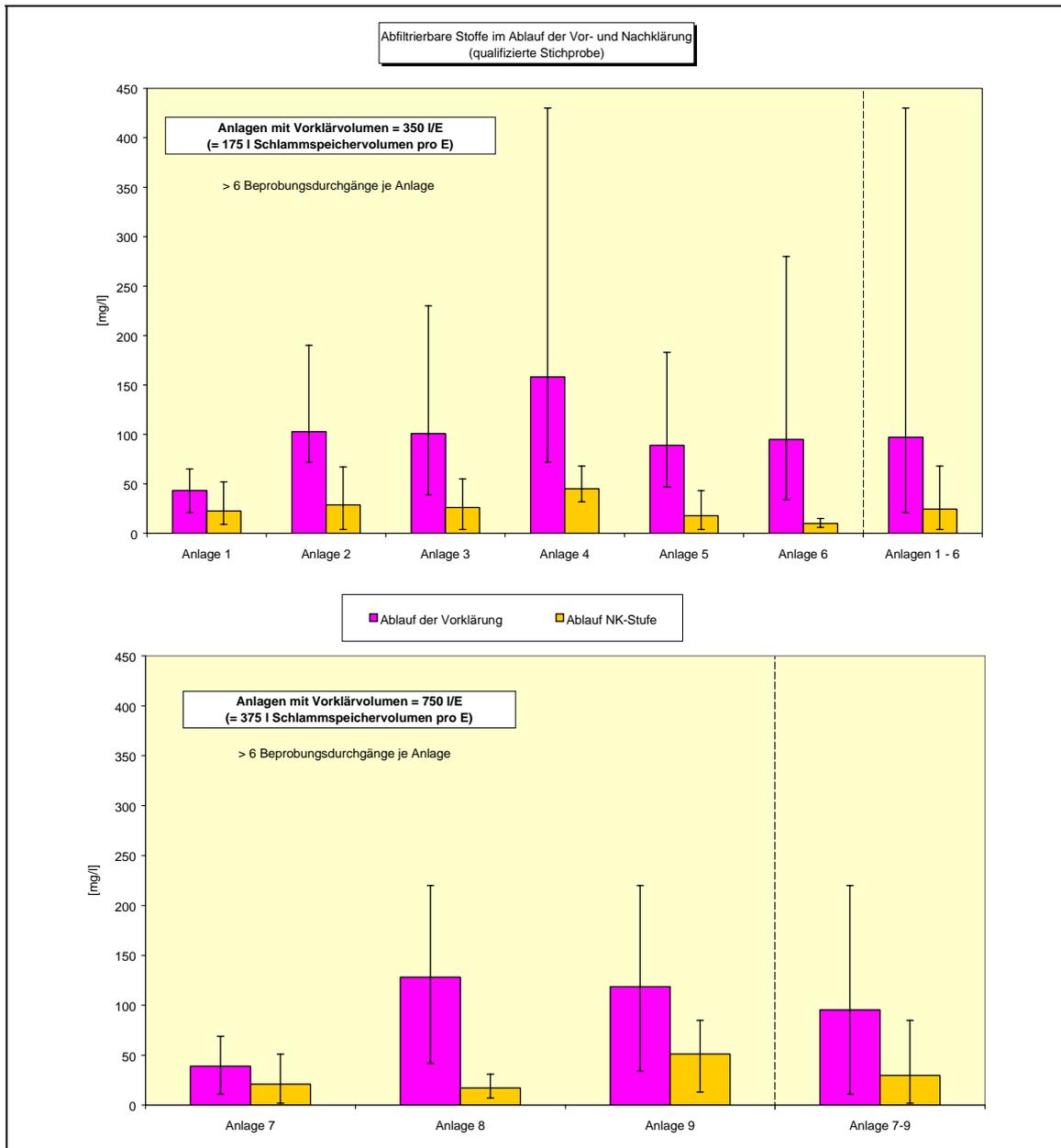
Die folgende Abbildung 4.1 enthält einen Vergleich der CSB-Werte der untersuchten neun Anlagen, gegliedert nach der einwohnerspezifischen Größe der Vorklärkammer bzw. des Schlamm Speichervolumens.



**Abb. 4.1:** CSB-Werte im Ablauf der Vor- und Nachklärung (qualifizierte Stichproben)

Die mittleren CSB-Werte im Ablauf der Vorklärung liegen überwiegend zwischen 400 und 500 mg/l. Die mittleren Ablaufwerte der Nachklärung der Anlagen mit 350 l/E und 750 l/E an Vorklärvolumen liegen in der Regel unterhalb der Einleit Anforderung der hilfsweise zum Vergleich herangezogenen Abwässerverordnung (Anhang 1) für Anlagen der Größenklasse 1 (< 60 kg BSB<sub>5</sub> pro d) mit 150 mg/l. Die Maximalwerte überschreiten diesen Einleitwert vereinzelt bis zu 50 % (230 mg/l). Beim direkten Vergleich der Anlagen ist kein signifikanter Unterschied bezüglich der Reinigungsleistung in Abhängigkeit vom Vorklärvolumen festzustellen. Die Anlagen mit 350 l Vorklärvolumen pro Einwohner weisen mittlere Anlagenabläufe von 100 mg/l auf und die Anlagen mit 750 l Vorklärvolumen pro Einwohner haben im Mittel ein Ablaufwert von ca. 90 mg/l. Der geringfügige Unterschied ist ggf. auf die längeren Verweilzeiten (im Mittel um ca. 6 Tage) in den Anlagen mit 750 l Vorklärvolumen pro Einwohner zurückzuführen.

Analog zur Auswertung der CSB-Werte erfolgt in der folgenden Abbildung 4.2 eine Darstellung bezüglich abfiltrierbarer Stoffe. Es wird dabei deutlich, dass der Mittelwert der Konzentrationen an abfiltrierbaren Stoffen im Ablauf der Vorklärung bei ca. 100 mg/l liegt, jedoch mit teilweise größerer Streubreite als bei den CSB-Werten. Bei den Anlagen mit dem geringeren spezifischem Vorklärvolumen ist die Feststoffabscheidung in der Vorklärung nicht so prozessstabil wie bei den Anlagen mit doppelt so großem spezifischen Vorklärvolumen. Die mittleren Ablaufwerte der Nachklärung bei Anlagen mit 350 l Vorklärvolumen pro Einwohner entsprechen in etwa den Werten der Anlagen mit doppelt so großem Vorklärvolumen. Es ist somit wiederum kein Unterschied bzgl. der Reinigungsleistung in Abhängigkeit vom Vorklärvolumen festzustellen.

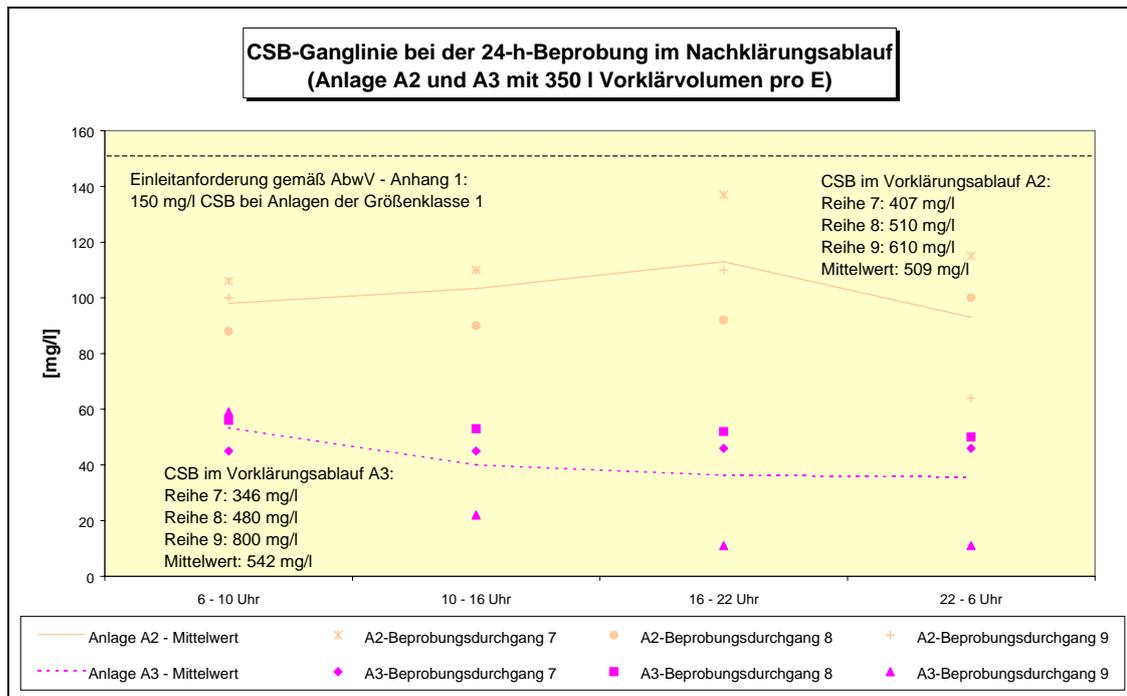


**Abb. 4.2:** Abfiltrierbare Stoffe im Ablauf der Vor- und Nachklärung (qualifizierte Stichproben)

Aus den Untersuchungsergebnissen ist somit kein signifikanter Einfluss des spezifischen Vorklärvolumens auf die Reinigungsleistung bei den Kohlenstoff- und Nährstoffverbindungen abzuleiten.

### 4.3.2 Ergebnisse der 24-h-Beprobungen

In der nachstehenden Abbildung werden die aufgenommenen CSB-Ganglinien der 24-h-Beprobungen im Nachklärungsablauf der Anlagen A2 und A3 (beide mit 350 l Vorklärvolumen/E bzw. 175 l Schlamm Speichervolumen/E) dargestellt. Die Beprobung des Vorklärungsablaufs erfolgte mittels qualifizierter Stichproben. Detaillierergebnisse sind dem Berichtsanhang zu entnehmen.



**Abb. 4.3:** CSB-Ganglinien des Nachklärungsablaufs (Versuchsdaten der 24-h-Beprobungen)

Es werden von beiden Anlagen jederzeit die Anforderungen der Abwasserverordnung (Anhang 1) für Anlagen der Größenklasse 1 (< 60 kg BSB<sub>5</sub> pro d) mit 150 mg/l CSB erfüllt. Die tageszeitlichen Schwankungen sind eher als gering anzusehen. Die Werte im Ablauf der Nachklärung zeigen zwischen beiden Anlagen bei etwa gleichen Konzentrationen im Vorklärungsablauf aber ein unterschiedliches Ablaufniveau auf. Insgesamt bestätigen die oben dargestellten Ganglinien die Aussagekraft der qualifizierten Stichproben.

### 4.3.3 Prozessstabilität

Die Anlagen A1 bis A6 mit 350 l Vorklärvolumen/E bzw. 175 l Schlamm Speichervolumen/E wiesen während der gesamten Versuchsphase über acht Monate eine etwa konstante Reinigungsleistung bzgl. der untersuchten Parameter CSB und abfiltrierbarer Stoffe auf. Die  $BSB_5$ -,  $N_{ges}$ - und  $P_{ges}$ -Ablaufwerte blieben ebenfalls auf einem relativ konstanten Niveau. Sogar im Falle eines nachgewiesenen Schlammübertritts aus der Vorklärkammer in die anschließende Festbett- und Nachklärkammer (Anlage A2) konnte keine signifikante Verschlechterung der Reinigungsleistung festgestellt werden. Bestätigt wird dieses Erkenntnis auch durch die Ablaufwerte der Anlagen A3 bis A6, bei denen es trotz einer Zeitspanne seit der letzten Schlammabfuhr von mehr als einem Jahr (s. Tabelle 3.1) und unter Berücksichtigung der ermittelten Schlammfallmengen pro Einwohner ( $\Rightarrow$  Schlamm Speichervolumen befindet sich am Rand der Speicherkapazität) zu keiner auffälligen Verschlechterung der Reinigungsleistung kommt. Offensichtlich sedimentieren relativ gering übertretende Schlamm mengen des Fäkal-schlamm in der Nachklärung mit dem biologischen Schlamm.

Ein Vergleich mit den Anlagen A7 bis A9 mit 750 l Vorklärvolumen pro Einwohner zeigt eine nahezu identische Prozessstabilität auf, die ebenfalls über den gesamten Versuchsverlauf in etwa konstante Ablaufwerte zur Folge hat.

Folglich können als wesentliche Aussagen festgehalten werden, dass

- ein Schlammübertritt keine erkennbaren Auswirkungen und somit auch
- die untersuchte spezifische Größe der Vorklärkammer keinen erkennbaren Einfluss auf die Prozessstabilität der Kleinkläranlage mit getauchtem Festbett hat.

Dabei ist jedoch zu beachten, dass ein kontinuierlicher Schlammübertritt mit zunehmender Intensität und Dauer langfristig eine Verstopfungsgefahr bzgl. des Festbettes und der intermittierend betriebenen Belüftungseinrichtung mit sich bringt, so dass dann ein ordnungsgemäßer Betrieb nicht mehr gewährleistet ist.

## 5 Zusammenfassung und Empfehlungen für den Betrieb

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes im Auftrage des Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW wurden Untersuchungen bei Kleinkläranlagen mit getauchtem Festbettsystem durchgeführt, um Aussagen über Reinigungsleistung und Prozessstabilität in Abhängigkeit von der Größe des Vorklärvolumens treffen zu können. Dazu wurden sechs Anlagen mit 350 und drei Anlagen mit 750 l Vorklärvolumen/E im Anlagenzulauf (= Ablauf der Vorklärkammer) und Anlagenablauf (Ablauf der Nachklärkammer) über einen Zeitraum von acht Monaten beprobt. Parallel wurden bei vier Anlagen der Abwasseranfall und bei zwei Anlagen die Schlammentwicklung erfasst.

Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten war es erforderlich, eine Anpassung der Schlamm Speichervolumina auf die Untersuchungsbedingungen durch das Einbringen von Kies in die Vorklärkammer vorzunehmen. Eine Beeinträchtigung der Untersuchungsergebnisse aufgrund eines weiterhin erhöhten bzw. verringerten Absetzvolumens ist aufgrund der insgesamt relativ hohen Abwasserverweilzeiten in der Vorklärkammer (5,5 bzw. 8,7 d) auszuschließen (zum Vergleich: Eindicker einer ARA = 1 bis 3 Tage).

Wesentliche Ergebnisse der Untersuchungen sind:

- Im Mittel fallen als zu entsorgende Schlammmenge ca.  $245 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{a})$  an, was in etwa den Angaben des LUA (1994) entspricht.
- Der erfasste mittlere Abwasseranfall liegt mit  $97 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d})$  im Bereich der Angaben des Arbeitsblattes der ATV A-262 ( $100 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d})$ ); daraus ergeben sich relativ hohe mittlere Verweilzeiten von 9 Tagen (Anlagen mit 350 l Vorklärvolumen/E) bzw. 15 Tagen (Anlagen mit 750 l Vorklärvolumen/E) in der gesamten Anlage.
- Die Anlagen mit 350 l Vorklärvolumen/E wiesen über den gesamten Versuchsverlauf die gleichen konstanten Reinigungsleistungen bzw. Ablaufwerte auf wie die Anlagen mit doppelt so großem Vorklärvolumen; mittlere CSB- und BSB<sub>5</sub>-Ablaufwerte erfüllen vergleichsweise die Einleitbedingungen des Anhangs 1 der Abwasserverordnung für Anlagen der Größenklasse 1. Die CSB- und BSB<sub>5</sub>-Maximalwerte überschreiten vereinzelt die jeweiligen Einleitforderungen.
- Die 24-h-Beprobungen zeigten einen Anlagenablauf ohne auffällige tageszeitliche Schwankungen auf und bestätigen die Ergebnisse sowie die Aussagekraft der qualifizierten Stichproben.
- Bei den Anlagen mit 350 l Vorklärvolumen/E konnten keine negativen Auswirkungen auf die Prozessstabilität bei einem Schlammübertritt aus der Vorklärkammer (Anlage A2) bzw. bei Phasen am Rand der Schlamm Speicherkapazität (Anlage A3 bis A6) festgestellt werden.

Die oben dargestellten Ergebnisse haben für die Auslegung und den Betrieb dieses Kleinkläranlagensystems mit getauchtem Festbett im wesentlichen folgende Bedeutungen:

- Das angestrebte Reinigungsziel stellt kein Kriterium für die Festlegung des Vorklärvolumens in Abwägung zwischen 350 und 750 l/E (bzw. 175 l und 375 l Schlamm Speichervolumen/E) dar.
- Die Größe der Vorklärkammer hat lediglich direkte Auswirkungen auf die Festlegung des Abfuhrintervalls für die Schlammmentleerung zur Vermeidung von Schlammübertritt in die Festbett- und Nachklärkammer (mit halber Fülltiefe als Schlamm Speichervolumen):
  - ⇒ 350 l Vorklärvolumen pro Einwohner: ½- bis ¾-jährliche Schlammabfuhr
  - ⇒ 750 l Vorklärvolumen pro Einwohner: 1- bis 1,5-jährliche Schlammabfuhr
  - ↳ Aufgrund des teilweise geringen Einwohnerauslastungsgrades der Anlagen und der daraus resultierenden unterschiedlichen Schlamm Speichervolumina sollte ggf. im Interesse der Bürger/Betreiber von starren Abfuhrintervallen – bezogen auf die theoretische Auslegungsgröße der Anlage – Abstand genommen werden. Die Schlammabfuhr sollte im Rahmen der routinemäßigen Wartungen durch regelmäßige Messungen des Schlammspiegels koordiniert werden.
- Aufgrund der nachgewiesenen Prozessstabilität ist eine kurzfristige Überschreitung des Schlammabfuhrintervalls eher als unproblematisch anzusehen, jedoch ist aber zur Vermeidung von Verstopfungen des Festbetts und der Belüftungseinrichtung eine situationsorientierte Schlammabfuhr empfehlenswert, um jederzeit einen ordnungsgerechten Betrieb gewährleisten zu können.

## 6 Literatur

### **Abwasserverordnung (AbwV)**

Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer

Anhang 1: Häusliches und kommunales Abwasser

Februar 1999

### **Abwassertechnische Vereinigung (ATV)**

Arbeitsblatt A 262 – Grundsätze für Bemessungen, Bau und Betrieb von Pflanzenbeeten für kommunales Abwasser bei Ausbaugrößen bis 1000 Einwohnerwerte, Juli 1998

### **DIN 4261 – Teil 1**

Kleinkläranlagen - Anlagen ohne Abwasserbelüftung (Anwendung, Bemessung und Ausführung), Februar 1991

### **DIN 4261 – Teil 2**

Kleinkläranlagen - Anlagen mit Abwasserbelüftung (Anwendung, Bemessung, Ausführung und Prüfung), Juni 1984

### **LUA – Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen**

Abwasserbeseitigung im Außenbereich (Kleinkläranlagen) – Merkblatt Nr. 3  
Essen, 1994

### **Stier, E.; Baumgart, H.C.; Fischer, M.**

Handbuch für Entsorger – Band 3- Fachrichtung Abwasser

1999, Abwassertechnische Vereinigung, Hirthammer Verlag, München

## 7 Anhang

Anhang A1: Allgemeine Kenndaten der Versuchsanlagen

Anhang A2: Einzeldaten der Probenahmen – qualifizierte Stichproben

Anhang A3: Einzeldaten der Probenahmen – 24-h-Beprobungen