



**„Auswirkungen der Vorreinigung auf bepflanzte Bodenfilter –
Eignung von Mehrkammerabsetzgruben“**

Abschlussbericht über ein Projekt, gefördert unter dem Aktenzeichen

Az. 25524

von

Prof. Dr.-Ing. Matthias Barjenbruch, Dipl.-Ing. Cathrin Hinz, Vivan Blank



Abgabe März 2013

10/01

Projektkennblatt

der

Deutschen Bundesstiftung Umwelt


Az	25524	Referat	23	Fördersumme	124.000,00 €
Antragstitel		Untersuchungen von in Betrieb befindlichen Mehrkammerabsetzgruben zur Leistungssteigerung und Optimierung der Vorreinigung von bepflanzten Bodenfiltern			
Stichworte		Abwasser, Pflanzenkläranlage			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
18 Monate	12.2009	03.2013			
Zwischenberichte					
Bewilligungsempfänger		Joachim Krüger Pflanzenkläranlage GmbH		Tel.: +49-39972-51961	
		Schloß Duckwitz		Fax: 0049-39972-51961	
		17179 Behren-Lübchin, OT Duckwitz		Projektleitung: Dipl.-Ing. Ralf Emmerich	
Kooperationspartner		Technische Universität Berlin		Tel.: +49-30-314 72247	
		Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft		Fax: +49-30-314 72248	
		TIB 25 (2.OG)		Projektleitung: Herr Prof.	
		Gustav-Meyer-Allee 25		Dr.-Ing. M. Barjenbruch	
		13355 Berlin		Projektbearbeitung: Frau Dipl.-Ing. C. Hinz	

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Seit der Überarbeitung des Technischen Regelwerkes für bepflanzte Bodenfilter (DWA A 262, März 2006) sind Mehrkammerabsetzgruben mit einem Nutzvolumen von 500 I/E als Vorklärung (mechanische Reinigungsstufe) nicht mehr zulässig. Bisherige Betriebserfahrungen bei über 300 Pflanzenkläranlagen der J. Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH und gleichartige Erfahrungen anderer Pflanzenkläranlagenhersteller

begründen die Eignung von Mehrkammerabsetzgruben als mechanische Reinigungsstufe. Die Vorgaben der DWA fordern bei Pflanzenkläranlagen im Hauptanwendungsbereich von 4 - 10 Einwohnerwerten (E) ein Nutzvolumen der Vorklärung von 1.500 l/E. Die Verdreifachung des erforderlichen Vorklärvolumens und die damit verbundene drastische Kostensteigerung sind erhebliche Wettbewerbsnachteile im Marktfeld der Kleinkläranlagen und vermindern herstellungskostenbedingt die Anwendung bepflanzter Bodenfilter als naturnahes, leistungsstarkes, wartungs- und energiearmes, dezentrales Abwasserbehandlungsverfahren. Der Ausschluss der Mehrkammerabsetzgruben beruht nicht auf gesicherten Erkenntnissen zur Nichteignung, sondern lediglich auf einer Praxisuntersuchung zur Wirksamkeit von Mehrkammerausfallgruben (SCHÜTTE 2000). Pflanzenkläranlagenhersteller wie auch die DWA als regelgebender Verband haben daher ein Interesse, dass die Eignung bzw. Wirksamkeit von Mehrkammerabsetzgruben als Vorreinigung für Bodenfilter untersucht wird.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Gegenstand des Projektes ist die Untersuchung in Betrieb befindlicher Mehrkammerabsetzgruben zum Nachweis der Eignung als Vorkläreinheit für bepflanzte Bodenfilter. Etwa 75 in Betrieb befindliche Mehrkammerabsetzgruben unterschiedlicher Belastung und Nutzungsdauer sollen untersucht werden. Zusätzlich sollen unter definierten Rahmenbedingungen (Beschickung) ergänzende Absetzttests von Mehrkammergruben erfolgen.

Für die ausgewählten Mehrkammerabsetzgruben werden die tatsächliche Abwasserbelastungssituation, der bauliche Zustand und weitere Randbedingungen mittels eines zu entwickelnden Fragebogens erhoben. Im Projektzeitraum erfolgt eine dreimalige Zustandserfassung mit Probenahme und Analyse zur Untersuchung der Wirksamkeit jeder Mehrkammerabsetzgrube vor Ort.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • <http://www.dbu.de>

Ergebnisse und Diskussion

Die Untersuchungen der Praxisdaten aus dem Wartungsbestand von Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH und GKU mbH wurden zunächst genutzt, um die geeignete Probenahmestelle festzulegen. Dabei stellte sich heraus, dass im Rahmen der Messunsicherheiten die Probenahme in der zweiten Kammer und im Pumpenschacht (dritte Kammer) sehr schwanken, so dass die Probenahmestelle auf die handhabbare Stelle für das Wartungspersonal in der dritten Kammer unmittelbar am Ausgang des Tauchrohres bzw. Schlitzes von der zweiten Kammer festgelegt wurde.

Insgesamt konnten 150 Daten mit Tauchrohrüberlauf und 16 Daten mit Durchlassöffnungen aus dem Bestand von Joachim Krüger und GKU ausgewertet werden.

- Nur 17 % der Anlagen mit T-Stück und 13 % der Anlagen mit Durchlassöffnung halten die geforderten 100 mg AFS/l bei einem durchschnittlichen schlammfreien Volumen von 1,4 bzw. 1,5 m³/E ein. 53 % der Anlagen mit T-Stück und 44 % der Anlagen mit Durchlassöffnung halten 150 mg AFS/l ein. Demnach lässt sich kein deutlicher Unterschied zwischen der Verwendung von Durchlassöffnung oder Tauchrohrüberlauf verzeichnen.
- Im Bereich von 0,5 bis 2,0 m³/E schlammfreien Volumen lässt sich keine Tendenz hinsichtlich verbesserten Feststoffrückhalt bei größerem schlammfreiem Vorklärvolumen erkennen. Demnach kann der Arbeitsbereich zwischen 0,5 und 2,0 m³/E liegen.
- 68 % der Anlagen sind länger als fünf Jahre in Betrieb und seit Bau bzw. Nachrüstung der bepflanzten Bodenfilter als kolmationsfrei zu bezeichnen. D.h. bei dem Großteil der Anlagen wären Kolmationserscheinungen aufgrund des Alters möglich. Bei keiner der Anlagen zeigte sich Kolmation.
- Eine AFS-Flächenbelastung von 5 g AFS/(m²·d), die von Goetz & Winter (2002) zur Vermeidung von Kolmation empfohlen werden, wird von 79 % der Anlagen eingehalten. Da bei den untersuchten Anlagen keine Kolmation auftrat, ist die AFS-Flächenbelastung kein hinreichendes Kriterium.

- Die Begrenzung der Flächenbelastung auf 20 g CSB/(m²·d), die im Arbeitsblatt ATV A 262 (2006) vorgegeben wird, wird von 81 % der Anlagen eingehalten.
- Aufenthaltszeit des Abwassers in der Vorklärung, Schlammspiegelhöhen und Auslastung der Anlagen hinsichtlich der angeschlossenen Einwohner haben keinen Einfluss auf die Ablaufqualität

Auf dem KKA-Demonstrationsfeld in Altentreptow wurden gezielte Untersuchungen hinsichtlich der Parameter CSB und AFS mit variierenden Beschickungsmengen simuliert. Es erfolgten Untersuchungen hinsichtlich des Wirkungsgrades, Unterschreitungshäufigkeit der 100 mg AFS/l – Grenze und der Flächenbelastung bei zwei Mehrkammergruben mit unterschiedlichen Verbindungen (Tauchrohr und Durchlassöffnung). Im Folgenden werden die Ergebnisse zusammengefasst:

- Der durchschnittliche Wirkungsgrad bei 0,375 m³/E, 0,5 m³/E, 0,75 m³/E und 1,125 m³/E beträgt für den CSB rund 60 %. Der Wirkungsgrad hinsichtlich AFS liegt im Durchschnitt rund 64 %. Dabei schneidet die Mehrkammergrube mit dem Tauchrohrüberlauf etwas besser ab als die einfache Durchlassöffnung. Der erreichbare Wirkungsgrad für den CSB von 30 % laut DIN 4261 wird damit deutlich überschritten. Der Wirkungsgrad für die Feststoffe ist ebenfalls als hoch einzustufen, dennoch werden die 100 mg AFS/l im Ablauf der Vorklärungen zu 77 % überschritten. Demnach müssten bei fast 80 % der Anlagen bei andauernder gleicher Betriebsführung Kolmation zu befürchten sein. Während des Untersuchungszeitraumes von über 18 Monaten konnte keine Kolmation an der eingebauten Subterra-Pflanzenkläranlage festgestellt werden. Die Unterschreitungshäufigkeit von 150 mg AFS/l beträgt 71 %.
- Bei der Untersuchung hinsichtlich der Flächenbelastungen wurde lediglich die Vorklärung mit Schlitz betrachtet, da nur hier ein bepflanzter Bodenfilter nachgeschaltet war. Die CSB – Unterschreitungshäufigkeit steigt mit zunehmenden zur Verfügung stehenden Vorklärvolumen bis auf 67 % bei 750 l/E, sinkt dann aber noch einmal bei 1,125 m³/E auf 10 % ab. Die AFS – Unterschreitungshäufigkeit unter 5 g AFS/m²·d bei unterschiedlichen Vorklärvolumen schwankt bei den untersuchten Volumina. von 100 mg AFS/l kann erst ab 0,75 m³/E Vorklärvolumen die 5 g AFS/m²·d eingehalten werden. Ein spezifisches
- Das schlammfreie Volumen bestätigt die Ergebnisse der Praxisanlagen. Im Bereich von 0,1 bis 0,7 m³/E verteilen sich die AFS – Ablaufwerte relativ homogen mit einer Unterschreitungshäufigkeit von 46 %.

Eine zusätzliche Untersuchung hinsichtlich des gesteigerten Feststoffrückhalts mittels Bürsteneinbau in den Tauchrohrüberlauf erfolgte über den Zeitraum von 20 Tagen an zwei ausgewählten Mehrkammergruben. Die Untersuchung lässt einen erhöhten Feststoffrückhalt vermuten. Dies konnte anhand der Mehrkammergrube mit Einbau einer Bürste in die letzte mögliche Verbindungsstufe im Ablauf nach der dritten Kammer gezeigt werden. Der Einbau einer Bürste sollte weiteren Untersuchungen unterzogen werden. Es wird angenommen, dass er als eine Art Polizeifilter bei Stoßbelastungen vermehrte Feststoffkonzentrationen auf den bepflanzten Bodenfilter verhindern kann.

Die Untersuchungen von SCHÜTTE, 2000, die bei bepflanzten Bodenfiltern 150 mg/l AFS im Ablauf bei einem spezifischen Vorklärvolumen von 750 l/E als sicher einhaltbar gilt, konnten weitestgehend bestätigt werden. Nach den vorliegenden Daten können auch 500 l/E und teilweise sogar 375 l/E ausreichen, um den Grenzwert von 150 mg/l AFS einzuhalten.

Die Anforderungen des Arbeitsblattes DWA-A 262 wurden nur bedingt erfüllt, dennoch ließ sich keine Kolmation feststellen. Die Verwendung von Mehrkammerabsetzgruben im Bereich kleiner Anschlussgrößen < 6 Einwohner erscheint sinnvoll. Mehrkammerausfallgruben stellen keine Verbesserung in diesem Bereich dar.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Für die Vorstellung des Projektes wurde im Rahmen der Wasser Berlin 2009 ein Poster präsentiert. Die ersten Ergebnisse des Projektes wurden bereits auf der DWA Fachveranstaltung „Abwasserentsorgung im ländlichen Raum“ im September 2011 in Leipzig vorgestellt. Zwischenergebnisse wurden beim DWA Fachkundekurs für die Wartung von Kleinkläranlagen im November 2012 und März 2013 präsentiert. Endergebnisse konnten im Januar 2013 im Rahmen der Terra Tec in Leipzig auf der DWA Fachtagung „Dezentrale Abwasserentsorgung“ präsentiert werden. Eine weitere Posterpräsentation ist für die Wasser

Berlin 2013 fest eingeplant. Seitens Joachim Krüger PKA GmbH sind Informationsbroschüren geplant, die nach Abgabe des Abschlussberichtes angefertigt werden sollen.

Fazit

Das Projekt VKBF kann als Erfolg verbucht werden. Die geplanten Arbeitspakete wurden größtenteils eingehalten. Der Erfassungskatalog wurde erstellt. Mehr als 50 Anlagen aus dem Bestand von Joachim Krüger PKA GmbH und weitere von GKU mbH wurden auf verschiedene Parameter hin untersucht. Die Abwasserproben wurden analysiert und statistisch ausgewertet bzw. wissenschaftlich-technisch bewertet. Ein umfangreicher Abschlussbericht wurde erstellt und soll der DWA hinsichtlich einer Überarbeitung des Arbeitsblattes A 262 dienen. Eine Einbeziehung der Ergebnisse aus dem Projekt wurde bereits durch den Projektbeirat bestätigt.

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt.....	2
Zusammenfassung.....	14
1. Hintergrund, Veranlassung und Ziele des Vorhabens	15
2. Planung und Ablauf des Vorhabens (Projektdurchführung).....	16
3. Stand der Wissenschaft und Technik.....	19
3.1. Klassischer Aufbau eines bepflanzte Bodenfilters	19
3.2. Untersuchungsbedarf von bepflanzte Bodenfiltern laut DWA.....	20
3.3. Gesetze und Regelungen für Kleinkläranlagen bzw. bepflanzte Bodenfilter	21
3.4. Vorbehandlung von kommunalem Abwasser im Kleinkläranlagenbereich im Vergleich zur Vorbehandlung bei Pflanzenkläranlagen	22
3.5. Wirkungsgrad von Mehrkammergruben.....	25
3.6. Kolmation und Bezug zum AFS Grenzwert	27
3.7. Beschickungssysteme und deren Einfluss auf Kolmation.....	29
3.8. Faulprozesse und Absetzvorgänge in Abhängigkeit von der Aufenthaltszeit	31
4. Material und Methoden	34
4.1. Praxisanlagen aus dem Bestand von JK und GKU mbH.....	34
4.2. Anlagenbeschreibung aus dem Bestand von Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen	35
4.3. Demonstrations- und Prüffeld Altentreptow	38
4.4. Anlagenbeschreibung der Vorklärung.....	39
4.5. Auswahl des Probenahmeortes und Messunsicherheiten	40
5. Ergebnisse und Diskussion.....	44
5.1. Praxisanlagen	44
5.1.1. Nutzvolumen und schlammfreies Volumen	44
5.1.2. Flächenbelastung	51
5.1.3. Auslastung der Vorklärungen	53
5.1.4. Einfluss Aufenthaltszeit des Abwassers in der Mehrkammergrube auf die Ablaufqualität	56
5.2. Gezielte Untersuchungen auf dem Demonstrationsfeld Altentreptow	58

5.2.1.	Wirkungsgrad bei verschiedenen Beschickungen	58
5.2.2.	Einhaltung der Grenzwerte nach DWA-A 262	59
5.2.3.	Flächenbelastung	62
5.2.4.	Schlammfreies Volumen	66
5.2.5.	Vergleich Praxisanlagen und Demonstrationsfeld Altentreptow	67
5.3.	Weitergehende Feststoffreduktion am Beispiel zweier Vorklärunge.....	69
5.3.1.	Anlagenbeschreibung und Einbau der Bürste	70
5.3.2.	Ergebnisse zur weitergehenden Feststoffreduktion.....	71
6.	Fazit	76
7.	Literaturverzeichnis	79
Anhang I	82
Anhang II	86

Bildverzeichnis

Bild 1	Zeitplanung und Durchführung des Projektes VKBF	17
Bild 2	Geplante Arbeitspakete im Projekt VKBF	18
Bild 3	Schema einer klassischen Pflanzenkläranlage mit Vorklärung, bepflanzte Bodenfilter, Kontrollschacht und Versickerungsmulde	19
Bild 4	Schema eines Horizontalfilters (a) und eines Vertikalfilters (b) mit Richtungsverlauf des zu reinigenden Abwassers (Bepflanzte Bodenfilter, 2012).....	20
Bild 5	Dreikammer-Absetzgrube mit der Standardaufteilung der Kammern in 1.K 50%, 2. und 3.K je 25% (DIN 4261-1, 2010)	23
Bild 6	(a) Tauchrohrüberlauf und (b) Tauchwand mit Schlitzöffnung eingebaut in einer Mehrkammerabsetzgrube in Betonbauweise	24
Bild 7	Bemessungstabelle für die Vorklärungen der Kleinkläranlagen bis 50 E nach ATV A 262	24
Bild 8	Feststoffkonzentration nach Ablauf der Vorklärung gegen schlammfreies Volumen nach Schütte, 2000	26
Bild 9	AFS Konzentration als Box and Whisker Darstellung aus dem Abschlussbericht von Goetz & Winter (2002) von kolmatierende und nicht kolmatierenden Anlagen (n=186)	28
Bild 10	Schema einer vertikal durchflossenen Pflanzenkläranlage mit Vorklärung, bepflanzten Bodenfilter und Kontrollschacht	30
Bild 11	Funktionsschema einer vertikal durchströmten Pflanzenkläranlage mit Abwasserverteilung der Firma Mutec Markgraf GmbH	30
Bild 12	Funktionsschema einer vertikalen Pflanzenkläranlage der Firma Janisch & Schulz	31
Bild 13	Schlammfreies Volumen in der Vorklärung in Abhängigkeit von der Zahl der angeschlossenen Einwohner nach DWA-A 262 sowie Verhältnis freies Volumen zu Spitzenzufluss nach EN 12056-2	32
Bild 14	Mehrkammergrube der Firma HACON Betonwerke GmbH (Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH, 2012)	35
Bild 15	Klassisches Schlauchbeschickungssystem (a) und (b) der bepflanzten Bodenfilter von Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH sowie der Bodenfilterkörper unbewachsen (c) und bewachsen (d).....	36
Bild 16	Offener Vorlagebehälter (a) und Beschickungseinheit (b) des Demonstrations- und Prüffeldes Altentreptow	38
Bild 17	Schema der Subterra Vorklärung mit Maßen der Durchlassöffnung nach DIN 4261	39
Bild 18	Schema und Maße der IBB Vorklärung mit Tauchrohrüberlauf	40

Bild 19	CSB-Mittelwerte in mg/l für 28 Anlagen inkl. 14%-iger Fehlerindikator	41
Bild 20	AFS-Mittelwerte in mg/l für 28 Anlagen inkl. 20%-igem Fehlerindikator	42
Bild 21	CSB Korrelationsdiagramm zwischen 2ter und 3ter Kammer	43
Bild 22	AFS Korrelationsdiagramm zwischen 2ter und 3ter Kammer	43
Bild 23	Feststoffkonzentration in mg/l im Ablauf der Vorklärung gegen schlammfreies Volumen der Mehrkammerabsetzgrube in m ³ /E aus dem Bestand von Joachim Krüger und GKU mbH mit Tauchrohrüberläufen.....	45
Bild 24	Feststoffkonzentration in mg/l im Ablauf der Vorklärung gegen das Nutzvolumen der Mehrkammerabsetzgrube in m ³ /E aus dem Bestand von Joachim Krüger und GKU mbH mit Tauchrohrüberläufen	45
Bild 25	Feststoffkonzentration in mg/L im Ablauf der Vorklärung gegen schlammfreies Volumen der Mehrkammerabsetzgrube in m ³ /E aus dem Bestand von Joachim Krüger und GKU mbH mit Durchlassöffnung	47
Bild 26	Feststoffkonzentration in mg/L im Ablauf der Vorklärung gegen das Nutzvolumen der Mehrkammerabsetzgrube in m ³ /E aus dem Bestand von Joachim Krüger und GKU mbH mit Durchlassöffnung.....	47
Bild 27	AFS Ablaufkonzentration nach der Vorklärung im Vergleich zum Bodenschlamm aus der ersten und zweiten Kammer.....	49
Bild 28	AFS Ablaufkonzentration zur prozentualen Füllung der VK mit Schlamm bei den Anlagen mit Tauchrohr	49
Bild 29	Altersverteilung der Praxisanlagen aus dem Bestand von Joachim Krüger PKA GmbH (< 5Jahre, 5 – 10 Jahre, > 10 Jahre)	50
Bild 30	Altersverteilung der Mehrkammergrube mit Tauchrohr und Durchlassöffnung mit Einhaltung der 100 mg AFS/l (< 5 Jahre, 5 – 10 Jahre, > 10 Jahre).....	51
Bild 31	CSB Flächenbelastung der Praxisanlagen mit Schlitz und Tauchrohr mit den dazugehörigen CSB -Ablaufkonzentrationen in mg/l.....	53
Bild 32	AFS Flächenbelastung der Praxisanlagen mit Schlitz und mit Tauchrohr mit den dazugehörigen AFS – Ablaufkonzentrationen in mg/l	53
Bild 33	Auslastung der Praxisanlagen mit Über- und Unterlast	55
Bild 34	AFS-Flächenbelastung und schlammfreies Volumen im Vergleich zur Auslastung der 53 untersuchten Anlagen als Mittelwert der drei Untersuchungen einer Anlage	55
Bild 35	AFS Ablaufwerte bei entsprechender Auslastung.....	56
Bild 38	Vergleich der CSB und AFS Ablaufkonzentrationen in der ersten Kammer zur Aufenthaltszeit in der Vorklärung	57
Bild 39	AFS – Ablaufkonzentration im Vergleich zum Zulauf in Altentreptow bei unterschiedlichen spezifischen Vorklärvolumina inkl. AFS-Grenze von 100 mg/l.....	60

Bild 40	CSB – Ablaufkonzentration im Vergleich zum Zulauf in Altentreptow bei unterschiedlichen spezifischen Vorklärvolumina	60
Bild 41	AFS - Häufigkeitsverteilung für verschiedene spezifische Beschickungsvolumenströme unterteilt in die Mehrkammergruben mit Durchlassöffnung und T-Stück	61
Bild 42	Häufigkeitsverteilung der CSB Flächenbelastung in Altentreptow mit variierenden spezifischen Vorklärvolumina	63
Bild 43	Häufigkeitsverteilung der AFS Flächenbelastung in Altentreptow mit variierenden spezifischen Vorklärvolumina	64
Bild 44	Schlammfreies Volumen in Bezug zu den AFS – Ablaufwerten nach der Vorklärung inkl. 100 mg/l Grenze bezogen auf 150 l/(E·d)	66
Bild 45	Schlammfreies Volumen in Bezug zu den AFS – Ablaufwerten nach der Vorklärung inkl. 100 mg/l Grenze bezogen auf 120 g/(E·d)	67
Bild 46	Varianten zum weitergehenden Feststoffrückhalt in der Vorklärung	70
Bild 47	Lageskizze und Schema der beiden Mehrkammergruben mit Pumpenschacht und bepflanzter Bodenfilter für die Untersuchung mit weitergehendem Feststoffrückhalt	70
Bild 48	Schema der zwei Mehrkammergruben (Haus 1 und 2) mit Positionen der eingebauten Bürsten und den Probenahmestellen (PN = Probenahme; PS = Pumpenschacht)	71
Bild 49	Feststoffkonzentration im Zulauf zum bepflanzten Bodenfilter im Vergleich zum schlammfreien Volumen für alle vier Messreihen Haus 1 und Haus 2 mit und ohne Bürste ...	73
Bild 50	Vergleich der CSB Flächenbelastung und Ablaufkonzentration nach der VK von allen Messreihen (Haus 1 und Haus 2 mit und ohne Bürste)	74
Bild 51	Vergleich der AFS Flächenbelastung und Ablaufkonzentration nach der VK von allen Messreihen (Haus 1 und Haus 2 mit und ohne Bürste)	74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Abwasserbehandlungsverfahren und zugehörige Bemessung nach TGL 7762, 1979	21
Tabelle 2	Vergleich verschiedener Vorklärungen von Kleinkläranlagen im Hinblick auf den Wirkungsgrad	25
Tabelle 3	Mögliche Begrenzungen für die AFS-Flächenbelastung für bepflanzte Bodenfilter	29
Tabelle 4	Vergleich der Aufenthaltszeiten von Abwasser in Mehrkammergruben bei verschiedenen angeschlossenen Einwohnerzahlen	33
Tabelle 5	Zusammenstellung der Mittel- und Medianwerte der wichtigsten Parameter aus dem Anlagenbestand von Joachim Krüger PKA GmbH bei schwankender Auslastung ^a (79-81% Unterlast / 10-11% Überlast)	37
Tabelle 6	Beschickungsmengen in Altentreptow innerhalb des Untersuchungszeitrahmens	38
Tabelle 7	Wertetabelle CSB (mg/l) und AFS (mg/l) vor und nach dem Pumpenschacht inkl. statistischer Daten	41
Tabelle 8	Statistische Auswertung der Mehrkammergruben mit Tauchrohrüberlauf aus dem Bestand von Joachim Krüger PKA und GKU mbH	46
Tabelle 9	Statistische Auswertung der Mehrkammergruben mit Durchlassöffnungen aus dem Bestand von Joachim Krüger PKA und GKU mbH	46
Tabelle 10	Vergleich Unterschreitungshäufigkeit unter 100 mg AFS/l und 150 mg AFS/l bei verschiedenen schlammfreien Volumina für die Mehrkammergruben mit Tauchrohren	48
Tabelle 11	Statistische Darstellung der relevanten Daten zur Berechnung der Flächenbelastung für die Parameter AFS und CSB (Schlitz und Tauchrohr)	52
Tabelle 12	Prozentuale Auslastung der Praxisanlagen unterteilt in die drei Termine	54
Tabelle 14	Ergebnisse Messprogramm mit 0,375 m ³ /E _{150l/E.d} ; 0,383 m ³ /E _{120gCSB/E.d} Beschickung Demonstrationsfeld Altentreptow	58
Tabelle 15	Messreihe mit einer Beschickung von 0,5 m ³ /E _{150l/E.d} ; 0,433 m ³ /E _{120gCSB/E.d} auf dem Demonstrationsfeld Altentreptow	58
Tabelle 16	Messreihe mit der Beschickung von 0,75 m ³ /E _{150l/E.d} ; 0,70 m ³ /E _{120gCSB/E.d} ; auf dem Demonstrationsfeld Altentreptow	59
Tabelle 17	Messreihe mit der Beschickung von 1,125 m ³ /E _{150l/E.d} ; 0,97 m ³ /E _{120gCSB/E.d} auf dem Demonstrationsfeld Altentreptow	59
Tabelle 18	Vergleich der AFS - Unterschreitungshäufigkeit der verschiedenen Beschickungsmengen unter 100 mg/L	61

Tabelle 19	Vergleich der AFS – Unterschreitungshäufigkeit der verschiedenen Beschickungsmengen unter 150 mg/l	62
Tabelle 20	Unterschreitungshäufigkeit der Flächenbelastung von 20 g CSB/m ² g mit Schlitz	63
Tabelle 21	Unterschreitungshäufigkeit der Flächenbelastung von 5 g AFS/m ² d auf dem Demonstrationsfeld bei den MKG mit Schlitz	64
Tabelle 22	Vergleich Standardbelastung und errechneter Feststoffbelastung in Altentreptow bei verschiedenen spezifischen Volumina	65
Tabelle 23	Vergleich der Daten aus Praxis mit schwankender Auslastung und Demonstrationsfeld	68
Tabelle 24	Datenvergleich von Haus 1 und Haus 2 während der Untersuchung ohne Bürste und mit Bürsteneinbau (Haus 1 Einbau von einer Bürste, Haus 2 Einbau von 3 Bürsten)	72
Tabelle 25	Vergleich des Abbaugrades von AFS- und CSB-Medianwerte zwischen den Kammern beider Mehrkammergruben (oB = ohne Bürste, mB = mit Bürste)	75
Tabelle 26	Wertetabelle mit CSB (mg/l) und AFS (mg/l) vor und nach dem Pumpenschacht der Anlagen aus dem Bestand von Joachim Krüger für die Auswertung des geeigneten Probenahmeortes	86
Tabelle 27	Ergebnisse zum schlammfreien Volumen und Nutzvolumen der Praxisanlagen mit Tauchrohrüberläufen und Schlitzverbindungen	87
Tabelle 28	Gesamte Wertetabelle für die Auswertung zur täglichen Flächenbelastung der Praxisanlagen mit Tauchrohr- und Schlitzverbindungen aus dem Bestand von Joachim Krüger PKA GmbH	93
Tabelle 29	Ergebnisse Messprogramm mit 0,375 m ³ /E Beschickung auf dem Demonstrationsfeld Altentreptow	106
Tabelle 30	Ergebnisse Messprogramm mit 0,5 m ³ /E Beschickung auf dem Demonstrationsfeld Altentreptow	106
Tabelle 31	Messreihe mit der Beschickung von 0,75 m ³ /E auf dem Demonstrationsfeld Altentreptow	107
Tabelle 32	Messreihe mit der Beschickung von 01,125 m ³ /E auf dem Demonstrationsfeld Altentreptow	107

Abkürzungsverzeichnis

A_F	Bodenfilterfläche
AFS	abfiltrierbare Stoffe
BSB	biochemischer Sauerstoffbedarf
Cl	Chlorid
CSB	chemischer Sauerstoffbedarf
CSB (AFS)g/m ² *d	Flächenbelastung
E	Einwohner
EW	Einwohnerwerte
EPS	extrazelluläre polymere Substanzen
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
GV	Glühverlust
k_f	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s] (Meter pro Sekunde)
l/E	Liter pro Einwohner
l/(E·d)	Liter pro Einwohner und Tag
m ² /E	Quadratmeter pro Einwohner
m ³ /E	Kubikmeter pro Einwohner
mm/d bzw. l/m ² ·d	Beschickungsvolumenstrom (Millimeter pro Tag bzw. Liter pro Quadratmeter und Tag)
N	Stickstoff
P	Phosphor
PKA	Pflanzenkläranlage

Zusammenfassung

Im Rahmen des von der DBU geförderten Projektes „Vorklärung bepflanzter Bodenfilter“ mit Az. 25524-23 wurden in Betrieb befindliche Mehrkammerabsetzgruben hinsichtlich ihrer Eignung als Vorreinigung für bepflanzte Bodenfilter und weiterer Kleinkläranlagentypen im Hinblick auf die Überarbeitung der Richtlinien des DWA Arbeitsblattes 262 vom März 2006 untersucht. Gezielte Untersuchungen unter definierten Randbedingungen auf dem Demonstrations- und Prüffeld für Kleinkläranlagen in Altentreptow unterstützen die Auswertung der Praxisdaten. Das Projekt ist ein Kooperationsprojekt zwischen Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH und der TU Berlin, FG Siedlungswasserwirtschaft. Zusätzlich wurde das Projekt seitens DWA Fachausschusses KA 10 „Abwasserbehandlung im ländlichen Raum“ im Rahmen eines Beirats unterstützt.

Das DWA Arbeitsblatt A 262 fordert zur Vermeidung von Kolmationserscheinungen seit März 2006 die Erhöhung des genehmigungsrechtlich erforderlichen Vorklärvolumens für Kleinkläranlagen. Danach müssen bepflanzte Bodenfilter mit einer Anschlussgröße bis 6 Einwohner mit Mehrkammergruben nach DIN 4261 als Mehrkammerausfallgruben mit 1.500 l/E und mindestens 6 m³ Volumen gebaut werden. Bis 2006 galt DIN 4261-1 vom Dezember 2002 mit einem Vorklärvolumen von 500 l/E und einem Mindest-Gesamtvolumen von 2.000 l. Daraus resultiert eine Kostensteigerung für den Bau von Vorkläreinheiten im Bereich kleiner Anschlussgrößen und damit ein Wettbewerbsnachteil für Anlagenbauer gerade bei bepflanzten Bodenfiltern im Hauptanwendungsbereich von 4 – 10 Einwohnern.

Die Praxisuntersuchungen zeigten eine unter 20 %ige Einhaltung der nach dem Arbeitsblatt A 262 (2006) zur Kolmationsvermeidung angestrebten 100 mg AFS/l im Zulauf zum bepflanzten Bodenfilter. Dies konnte durch die gezielten Untersuchungen auf dem Demonstrationsfeld bei sehr hoher Reinigungsleistung von im Mittel 64 % bestätigt werden. Ebenfalls zeigten die Praxisuntersuchungen im Bereich von 0,5–2,5 m³/E Nutzvolumen bzw. 0,5-2,0 m³/E schlammfreien Volumen keine Tendenz zur verbesserten Ablaufqualität für AFS bei größer zur Verfügung stehenden Vorklärvolumen. Durch gezielte Analysen hinsichtlich der Flächenbelastung, wurde der Einfluss des Wasserverbrauches auf die Kolmation, der im ländlichen Raum deutlich unter dem Bemessungswert von 150 l/(E·d) liegt, dargestellt. Nach den Gesamtuntersuchungen im Projekt „VKBF“ ist ein Arbeitsbereich zwischen 0,5 und 2,5 m³/E Nutzvolumen möglich. Die spezifische und absolute Größe der Vorklärung und des schlammfreien Volumen, die Art der Durchführung und auch die prozentuale Füllung der Kammern mit Schlamm haben keinen signifikanten Einfluss auf die AFS im Ablauf.

Es konnte kein Unterschied hinsichtlich der erreichbaren AFS-Ablaufwerte zwischen dem Einsatz eines Tauchrohrüberlaufes und einer Durchlassöffnung festgestellt werden. Die zusätzliche Untersuchung zum erhöhten Feststoffrückhalt aufgrund des Einbaus einer Bürste in das Tauchrohr brachte nur orientierende Werte, die noch weiter untersucht werden sollten.

Die Anforderungen des Arbeitsblattes DWAA 262 wurden nur bedingt erfüllt, dennoch ließ sich keine Kolmation feststellen. Auch Mehrkammerabsetzgruben scheinen als Vorklärung für bepflanzte Bodenfilter ausreichend.

1. Hintergrund, Veranlassung und Ziele des Vorhabens

Im Rahmen des Projektes wurden in Betrieb befindliche Mehrkammerabsetzgruben hinsichtlich ihrer Eignung als Vorreinigung für bepflanzte Bodenfilter und weiterer Kleinkläranlagentypen im Hinblick auf die Überarbeitung der Richtlinien des DWA Arbeitsblattes 262 im März 2006 untersucht. Gezielte Untersuchungen an Mehrkammerabsetzgruben unter definierten Randbedingungen wurden unterstützend auf dem Demonstrations- und Prüffeld für Kleinkläranlagen in Altentreptow durchgeführt.

Das DWA Arbeitsblatt A 262 fordert zur Vermeidung von Kolmationserscheinungen seit März 2006 die Erhöhung des genehmigungsrechtlich erforderlichen Vorklär volumens für Kleinkläranlagen. Danach müssen Mehrkammergruben nach DIN 4261 mit einer Anschlussgröße bis 6 Einwohner als Mehrkammerausfallgruben mit 1.500 I/E und mindestens 6 m³ Volumen gebaut werden. Bis 2006 galt DIN 4261-1 vom Dezember 2002 mit einem Vorklär volumen von 500 I/E und einem Mindest-Gesamt volumen von 2.000 l. Daraus resultieren eine Kostensteigerung für den Bau von Vorkläreinheiten im Bereich kleiner Anschlussgrößen und ebenso ein Wettbewerbsnachteil für Anlagenbauer, gerade bei bepflanzten Bodenfiltern im Hauptanwendungsbereich von 4 – 10 Einwohnerwerten.

Das Projekt ist ein Kooperationsprojekt zwischen TU Berlin und Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH. Die technische Projektkoordination und wissenschaftliche Begleitung erfolgte seitens der TU Berlin FG Siedlungswasserwirtschaft.

Der Ausschluss der Mehrkammerabsetzgruben beruht derzeit lediglich auf einer Praxisuntersuchung zur Wirksamkeit von Mehrkammerausfallgruben von SCHÜTTE, 2000. Das Projekt „Auswirkungen der Vorreinigung auf bewachsene Bodenfilter – Eignung von Mehrkammerabsetzgruben“ soll diese Lücke mit Praxisdaten aus in Betrieb befindlichen Anlagen sowie mit gezielten Untersuchungen auf dem Demonstrations- und Prüffeld schließen und den Nachweis der Eignung von Mehrkammerabsetzgruben als Vorreinigungsstufe für bepflanzte Bodenfilter im Einsatzbereich von 4 – 50 E erbringen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen folgende Ziele erreicht werden:

- Nachweis der Eignung von Mehrkammerabsetzgruben als Vorklä rung (mechanische Reinigungsstufe) für bepflanzte Bodenfilter im Einsatzbereich 4 – 50 E (Kleinkläranlagen)
- Aufstellung eines Bemessungsvorschlages zum erforderlichen spezifischen Absetzvolumen bei Mehrkammerabsetzgruben insbesondere für die Anwendung bei bepflanzten Bodenfiltern
- Ermittlung von Verbesserungsmaßnahmen zur Erhöhung der Wirksamkeit des Feststoffrückhaltes in Mehrkammerabsetzgruben (z.B. Tauchrohrüberläufe)
- Orientierende Zusammenstellung von Erkenntnissen zur Auswirkung von Feststoffen auf den Betrieb von bepflanzten Bodenfiltern

- Berücksichtigung der Untersuchungsergebnisse bei der Überarbeitung des DWA – Arbeitsblattes 262 „Grundsätze für Bemessung, bau und Betrieb von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzte Bodenfiltern zur biologischen Reinigung kommunalen Abwassers“ (DWA – A 262, 2006) durch Beteiligung der DWA-Arbeitsgruppe 2.10.1 „Abwasserbehandlung in bepflanzten Bodenfiltern“ im Rahmen eines Projektbeirates

2. Planung und Ablauf des Vorhabens (Projektdurchführung)

Das Projekt VKBF zwischen den Projektpartnern Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH und TU Berlin wurde für einen Zeitraum von 18 Monaten ab dem 1.03.2009 bis zum 30.06.2010 angesetzt. Nach Antrag auf Verlängerung wurde das Ende des Projektes auf den 30.09.2012 gelegt. Die Gesamtkoordination liegt bei Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH.

Das Projekt gliedert sich in zwei Hauptabschnitte. Der erste Hauptbereich stellt die Untersuchung von in Betrieb befindlichen Mehrkammerabsetzgruben mit ergänzender orientierender Bewertung der nachgeschalteten bepflanzten Bodenfilter dar. Im zweiten Bereich werden gezielte Absetzttests an Mehrkammerabsetzgruben bei unterschiedlichem Beschickungsregime auf dem Demonstrationsfeld in Altentreptow durchgeführt.

Die einzelnen Teilaufgaben der Projektpartner sind im Folgenden dargestellt.

Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH:

- Herstellen des Kontaktes zu den Betreibern der ausgewählten Kleinkläranlagen aus dem Wartungsbestand
- Erfassung der Grundlagendaten
- Beprobung und Messung vor Ort sowie Transport und Aufbewahrung der konservierten Proben
- Dokumentation und Erfassung der Daten
- ggf. Projektbeirat bilden

TU Berlin, FG Siedlungswasserwirtschaft:

- Erstellen eines Erfassungsbogens zur Datenaufnahme und –dokumentation
- Projektspezifische Literaturrecherche und Auswertung
- Labortechnische Untersuchung und Dokumentation
- Zusammenführung der Ergebnisse, statistische Auswertung und Bewertung der Ergebnisse

Die Erstellung des Abschlussberichtes erfolgt in Zusammenarbeit beider Partner.

Die DWA wurde als Projektbeirat mit Dr.-Ing. Jens Nowak und Dipl.-Ing. Bodo Heise in die Projektplanung miteinbezogen. Dr.-Ing. Jens Nowak ist u.a. Obmann des DWA Fachausschusses KA 10 „Abwasserbehandlung im ländlichen Raum“ und Sprecher der DWA - AG KA 10.1 „Abwasserbehandlung in bepflanzten Bodenfiltern“. Dipl. – Ing. Bodo Heise ist Sprecher der DWA – AG KA 10.4 „Bemessung von Kleinkläranlagen“. Innerhalb des Kick-Off Meetings wurde gemeinsam der Untersuchungsrahmen und das Messprogramm abgestimmt und beschlossen. Es wurden Protokolle geschrieben, die jedem Teilnehmer zugesandt wurden.

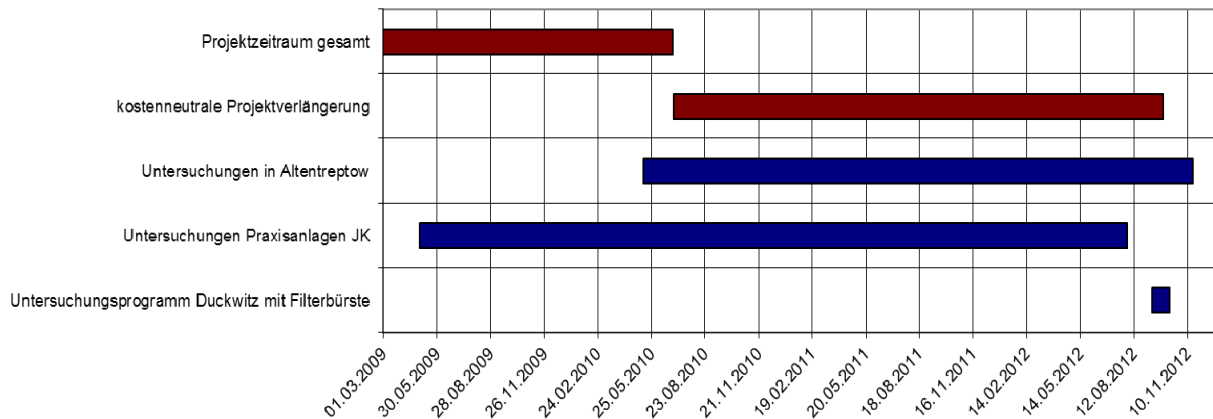


Bild 1 Zeitplanung und Durchführung des Projektes VKBF

In Bild 1 ist der gesamte bewilligte Projektzeitraum von 18 Monaten rot dargestellt. Die kostenneutrale Verlängerung wurde bis zum 30.09.2012 seitens der DBU akzeptiert und ist ebenfalls rot dargestellt. Weiterhin sind die Untersuchungszeiträume der beiden Hauptabschnitte des Projektes mit den Beprobungen in Altentreptow und aus dem Wartungsbestand der Kleinkläranlagen von Joachim Krüger sichtbar.

Die Zwischenauswertung erfolgte in Form eines Meetings der beteiligten Parteien inklusive Projektbeirat. Hier wurde der Ist-Zustand sowie Details für den erfolgreichen Abschluss des Projektes besprochen. Zeitweilig wurden die Ist-Zustände an die Projektpartner und den – Beirat per e-mail versandt um alle auf aktuellen Stand zu halten und Meinungen über den weiteren Verlauf einzuholen.

Ein weiteres Untersuchungsprogramm wurde im September 2012 bis über den Bewilligungszeitraum hinaus absolviert. Es handelt sich um den Test eines Vorfilters für erhöhten Feststoffrückhalt. Die einzelnen geplanten Arbeitspakete sind in Bild 2 aufgelistet. Die Durchführung des Projektes erfolgte mit Unterbrechung im Wesentlichen wie geplant. Arbeitspaket 5 mit den Absetztest an Mehrkammernguben konnte aufgrund logistischer Handhabung leider nur untergeordnet realisiert werden.

Nr.	Arbeitsschritte/Arbeitspakete	Projektpartner	
1.	Erstellung Erfassungskatalog	TU Berlin	
2.	Auswahl ca. 75 Kleinkläranlagen mit Mehrkammerabsetzgruben	JK-PKA GmbH/ TU Berlin	
3.	Erfassung Grundlagendaten (ca. 75 Kleinkläranlagen) - Information Betreiber/Wartungskunden - Abfrage und Datenbeschaffung gemäß Erfassungskatalog - Erfassung Zustand Mehrkammerabsetzgrube (Abmaße, Nutzvolumen, bautechnischer Zustand etc.) - einschließlich An-/Abfahrt - Nachverfolgung u. Kontakt zur Vervollständigung der Angaben	JK-PKA GmbH	
4.	Beprobung und Vor-Ort-Untersuchung (ca. 225 Probenahmen) - Probenahme (qualifizierte Stichprobe, Mischprobe, 24-h-Mischprobe) - Probenkonservierung und Probenzwischenlagerung - Messungen von Abwasserparametern vor Ort (pH-Wert, Redox-Potential, elektr. Leitfähigkeit, O ₂ -Gehalt, Temperatur, abs. Stoffe) - Schlammspiegelmessungen in allen Kammern - einschließlich An-/Abfahrt - Beprobung von Abläufe ausgewählter Pflanzenkläranlagen - Datendokumentation	JK-PKA GmbH	
5.	Absetztests an Mehrkammerabsetzgruben - Variation der Beschickungsmenge - Test zum Spitzendurchfluss - Beprobung und Probentransport	TU Berlin	
6.	Untersuchung (Analyse) der Abwasserproben (ca. 225 Proben) - Probentransport zur TU Berlin - Probenvorbereitung - Analyse von Abwasserparametern (GV, AFS, CSB, BSB, N, P, Cl) - Datendokumentation	TU Berlin	
7.	Datenauswertung - Zusammenführung der Daten von JK-PKA GmbH und TU Berlin - statistische Bearbeitung und Auswertung - wissenschaftlich-technische Bewertung	TU Berlin	
8.	Zwischen- und Abschlussbericht - Zusammenstellung der Untersuchungs- und Auswertungsergebnisse - wissenschaftliche und fachtechnische Bewertung - redaktionelle Bearbeitung	TU Berlin JK-PKA GmbH	
9.	Projektpräsentation - Vorbereitung und Durchführung Präsentationsveranstaltung - Erstellung Informationsmaterial	JK-PKA GmbH/TU-Berlin	
10.	Gesamtkoordination - Koordination der Projektpartner - Koordination des Projektbeirates - inhaltliche und finanzielle Projektabrechnung	JK-PKA GmbH	

Bild 2 Geplante Arbeitspakete im Projekt VKBF

Das Projekt wurde bereits auf der Wasser Berlin Messe 2009 präsentiert und ist ebenso fest eingeplant für die Wasser Berlin Messe 2013. Des Weiteren konnten die ersten Zwischenergebnisse bereits 2011 auf der DWA Fachveranstaltung „Dezentrale Abwasserentsorgung“ in Leipzig vorgestellt werden. Die Erstellung von Informationsmaterial findet im Anschluss an das Projekt statt. Eine Abschlusspräsentation mit allen Beteiligten des Projektes ist geplant und wird nach Fertigstellung des Berichtes realisiert. Dies soll zum Anlass genommen werden, um offene Fragen zu klären und um eine mögliche fortsetzende Zusammenarbeit zu besprechen.

3. Stand der Wissenschaft und Technik

3.1. Klassischer Aufbau eines bepflanzte Bodenfilters

Bepflanzte Bodenfilter (früher: Pflanzenkläranlagen) stellen ein naturnahes Verfahren zur Abwasserreinigung dar. Die Abwasserinhaltsstoffe werden während der Bodenpassage filtriert und biologisch ab- bzw. umgewandelt. Der Pflanzenbewuchs sorgt mit seinen tief reichenden und weitverzweigten Wurzeln wie das beim Schilf der Fall ist, für eine notwendige Sauerstoffversorgung für den mikrobiologischen Umsatz. (RÖSKE & UHLMANN, 2005). Unterhalb des Filters bildet zumeist eine Folie aus PVC, mineralische Dichtstoffe bzw. Asphalt einen Abschluss für das filtrierte Abwasser. Dieses wird dort aufgefangen und abgeleitet. Eine schematische Abbildung einer klassischen Pflanzenkläranlage zeigt Bild 3.

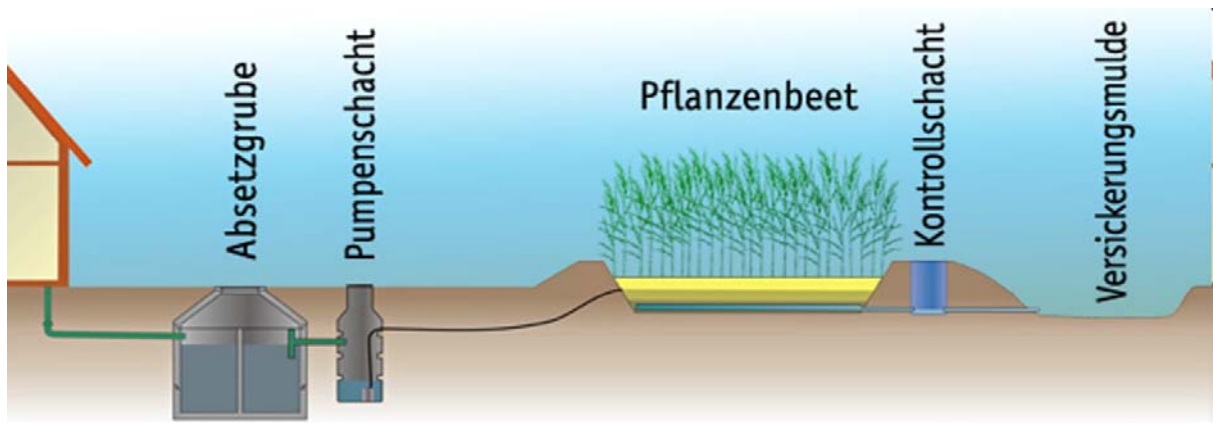


Bild 3 Schema einer klassischen Pflanzenkläranlage mit Vorklärung, bepflanzte Bodenfilter, Kontrollschacht und Versickerungsmulde

Die Verteilung des Abwassers auf den bepflanzten Bodenfilter erfolgt auf unterschiedliche Art und Weise. Bei horizontal durchflossenen Beeten (siehe Bild 4a) wird das zu reinigende Abwasser an einer Seite in einer gewissen Tiefe über Drainagen in das Beet eingeleitet. Die Auslegung erfolgt hinsichtlich der zulässigen Fracht und der hydraulischen Belastung. Die gesamte Bodenfilteroberfläche A_F soll $5 \text{ m}^2/\text{E}$ nicht unterschreiten. Der maximale Beschickungsvolumenstrom beträgt 40 mm/d bzw. $40 \text{ l}/(\text{m}^2\text{d})$. Bei vorhandenem Gefälle kann hier die Abwasserzufuhr ohne Energiezufuhr erfolgen. Sie werden heute aber nur relativ selten neu gebaut, da die Abwasserbeschickung von einer Seite her zu einer erhöhten Kolmationsgefahr führt. (ATV A-262, 2006)

Wird das Abwasser oberhalb des Bodenkörpers über verschiedene Verteilersysteme aufgegeben und durchfließt anschließend vertikal das Beet, spricht man von vertikalen Pflanzenbeeten (siehe Bild 4b). Das Abwasser wird intermittierend aufgebracht. Diese Betriebsweise ermöglicht einen geringeren spezifischen Flächenbedarf mit $2 - 5 \text{ m}^2/\text{E}$ (PLATZER, 1998) und eine hohen Abbaugrad. Das Arbeitsblatt ATV 262, 2006 gibt eine Mindestgröße von $4 \text{ m}^2/\text{E}$ mit einer maximalen Beschickung von 80 mm/d an.

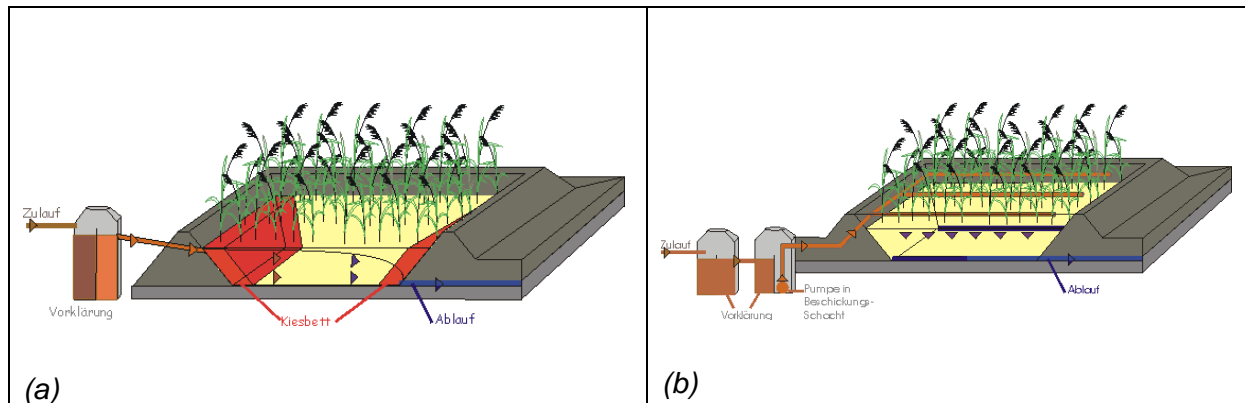


Bild 4 Schema eines Horizontalfilters (a) und eines Vertikalfilters (b) mit Richtungsverlauf des zu reinigenden Abwassers (Bepflanzte Bodenfilter, 2012)

Generell muss auf eine Verschlämzung vermieden werden, da der Bodenkörper schlecht zugänglich ist und bei verminderter Beseitigung von partikulärem Material eine Porenverringering bzw. –verstopfung (Kolmation) mit einem reduzierten Wirkungsgrad einhergeht. Entscheidend sind hier der Durchlässigkeitsbeiwert k_f des Bodenmaterials, der zwischen $5 \cdot 10^{-4}$ m/s und 10^{-3} m/s (RÖSKE & UHLMANN, 2005) liegen soll, die ausreichende Filterfläche, eine gleichmäßige Verteilung, Einräumen von Regenerationszeiten, d.h. Ruhephasen ohne Beschickung sowie eine gut funktionierende Vorreinigung, die im Kapitel 3.4 näher erläutert wird.

3.2. Untersuchungsbedarf von bepflanzte Bodenfiltern laut DWA

Um die Kolmation, d.h. die Porenraumverringering im Boden, bei bepflanzte Bodenfiltern zu verhindern, soll ein ausreichender Feststoffrückhalt durch die Vorklärung garantiert werden. Für eine dauerhafte Vermeidung von Kolmation ist nach DWA-A 262 (2006) die Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe im Ablauf der Vorbehandlung auf im Mittel 100 mg AFS/l zu begrenzen. Weiterhin spielt der biologisch abbaubare organische Anteil, der auf den bepflanzten Bodenfilter gelangt eine entscheidende Rolle im Hinblick auf Kolmation (näheres dazu Kapitel 3.6), da spezielle Mikroorganismen Schutzhüllen aus extrazellulären polymeren Substanzen (EPS) bauen und diese zur Verstopfung der Poren führen können. Der biologisch abbaubare Anteil muss ebenso sinnvoll begrenzt werden und soll generell nach der Vorklärung 30 % vom Rohwasserzufluss betragen (DIN 4261-1, 2010). Des Weiteren sollen die Vorklärungen eine hydraulische Trennung von Vorbehandlung und Beschickung einhalten um einen ausreichenden Absetzvorgang trotz kurzfristiger schwallweiser Abwasser- oder auch Fremdwassereinleitungen zu gewährleisten. (Arbeitsbericht DWA-Arbeitsgruppe KA-10.1, 2009)

Um gebildeten Schlamm (Boden- oder Schwimmschlamm) in der Vorklärung zu halten, damit er nicht auf den bepflanzten Bodenfilter gelangt, muss die Vorbehandlung ausreichend groß konstruiert werden. Hier spielen eventuell die Konstruktion der Verbindungsstücke (Tauchrohr oder Schlitze) zwischen den einzelnen Kammern, die im Zuge des Projektes ebenfalls untersucht werden, sowie die Schlammabfuhrintervalle eine entscheidende Rolle. (Arbeitsbericht DWA-Arbeitsgruppe KA-10.1, 2009)

3.3. Gesetze und Regelungen für Kleinkläranlagen bzw. bepflanzte Bodenfilter

Bepflanzte Bodenfilter werden überwiegend im Bereich kleiner Anschlussgrößen, d.h. Größenklasse 1 der Abwasserverordnung bis 1.000 E eingesetzt. Gerade im ländlichen Raum bietet sich diese Variante an, da lange Abwasserleitungen zu zentralen Kläranlagen hohe Kosten verursachen und oft ausreichend Fläche zur Verfügung steht. Zur Reinigung der anfallenden häuslichen Abwassermenge von bis zu 8 m³/d bzw. ca. 50 E bei einer angenommenen Abwasserproduktion von 150 l/(E·d) können nach DIN 4261-1 Kleinkläranlagen eingesetzt werden. Voraussetzung ist, dass das entsprechende Grundstück bzw. die betroffenen Bürger eine Freistellung von Anschluss- und Benutzerzwang der Kommune erhalten.

Bis 1990 galt in der DDR die TGL 7762, (1979). Danach war der Bau von Kleinkläranlagen bis zu einer Anschlussgröße von 200 Einwohnerwerten zulässig. Zu den damaligen Kleinkläranlagen gehören als Vorreinigung oder alleinige Reinigungsstufe Mehrkammerfaulgruben, Zweistöckige Kleinkläranlagen und Mehrkammerausfaulgruben. Eine Weiterbehandlung kann über Sandfiltergraben, Untergrundverrieselung und Sickerschächte erfolgen. Bepflanzte Bodenfilter werden nicht explizit erwähnt. Übersteigt der Abwasserzufluss das Dreifache des mittleren häuslichen Schmutzwasseranfalls darf dieses nicht in die Kleinkläranlage eingeleitet werden. Als Abwasserbehandlungsverfahren werden Mehrkammerfaulgruben für max. 50 E, Mehrkammerausfaulgruben für 4 bis 200 E und zweistöckige Kleinkläranlagen für 50 bis 200 E, differenziert. Die Bemessung der Anlagen erfolgt nach den in Tabelle 1 angegebenen Kriterien.

Tabelle 1 Abwasserbehandlungsverfahren und zugehörige Bemessung nach TGL 7762, 1979

Abwasserbehandlungsverfahren	Bemessung
Mehrkammerfaulgruben	200 I/EW ^a
Mehrkammerausfaulgruben	1.000 I/EW ^a
Zweistöckige Anlagen	30 I/EW Absetzraum / 60 I/EW ^a Schlammraum

^aEW = Einwohnerwert

Derzeit gelten für Kleinkläranlagen und für bepflanzte Bodenfilter die Europäische Norm EN DIN 12566 Teil 1 – 6, für die Vorbehandlung von Kleinkläranlagen die DIN 4261 - 1, 2010 sowie für die Versickerung von biologisch aerob behandeltem Schmutzwasser DIN 4261 – 5, 2011. Des Weiteren sind von der DWA einschlägige Regelwerke für die Bemessung, den Bau und Betrieb von verschiedenen Kleinkläranlagen relevant. Diese sind

- ATV A – 222 „Grundsätze für die Bemessung, Bau und Betrieb von kleinen Kläranlagen mit aerober biologischer Reinigungsstufe bis 1.000 E“ (Mai 2011)

- DWA – A 262 „Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern mit bepflanzten Bodenfiltern zur biologischen Reinigung kommunalen Abwasser“ (März 2006)
- DWA – M 221 „ Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Kleinkläranlagen mit aerober biologischer Reinigungsstufe.“ (Februar 2012)

Die Zulassungsgrundsätze werden vom Deutschen Institut für Bautechnik DIBt, herausgegeben. Danach muss vor Markteinführung einer Kleinkläranlagen eine einjährige Untersuchung auf einem Prüf- und Demonstrationsfeld nach DIBt stattgefunden haben. Für Pflanzenkläranlagen werden Einzelfallgenehmigungen erlassen. Einige wenige Pflanzenkläranlagen sind als Bausätze zulässig.

Die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000) verlangt bis 2015 einen guten ökologischen Zustand der Gewässer. Dies setzt nach Stand der Technik eine biologische Reinigung voraus. Eine reine mechanische Vorbehandlung lässt lediglich einen Wirkungsgrad von durchschnittlich 30 % erwarten. Dies reicht nicht aus, um die gesetzlichen Anforderungen der Abwasserverordnung (CSB < 150 mg/l, BSB₅ > 40 mg/L) zu erfüllen.

Hintergrund des Arbeitsblattes ATV A 262 für bepflanzte Bodenfilter ist die Vermeidung der Kolmation. Um Kolmation zu verhindern soll u.a. die Konzentration von abfiltrierbaren Stoffen nach der Vorklärung auf 100 mg/l begrenzt werden. Um die erforderliche niedrige Konzentration von AFS im Zulauf zum bepflanzten Bodenfilter einzuhalten, muss abweichend von der DIN 4261-1 eine Entschlammung durchgeführt werden, wenn der Schlamm bereits 1/3 des Gesamt-Nutzvolumens ausfüllt. Eine Probennahme unmittelbar vor dem Pflanzenbeet auf AFS -Konzentration ist aber nicht gesetzlich verankert. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Schlammräumung, wie in der DIN 4261-1 gefordert, erfolgt, wenn 50 % des Gesamt-Nutzvolumens mit Schlamm gefüllt sind. Weitere Anforderungen sind bzgl. Konstruktion, Auslegung, Bau und Betrieb von bepflanzten Bodenfiltern im Arbeitsblatt festgelegt. Diese werden nicht explizit aufgeführt.

3.4. Vorbehandlung von kommunalem Abwasser im Kleinkläranlagenbereich im Vergleich zur Vorbehandlung bei Pflanzenkläranlagen

Bei der Vorklärung handelt es sich um eine mechanische Stufe, die vor allem für die Abtrennung der ungelösten Stoffe über Sedimentation oder Flotation genutzt wird. Für Kleinkläranlagen regelt die DIN 4261 – 1 die Schmutzwasservorbehandlung. Danach sind Ein- oder Mehrkammergruben Schmutzwasservorbehandlungsanlagen entweder mit rein mechanischer Behandlung oder mechanisch- und biologischer Behandlung. Findet keine biologische Reinigung statt, handelt es sich um eine Mehrkammerabsetzgrube. Bei anaerober biologischer Aktivität, resultierend aus einer längeren Aufenthaltszeit, handelt es sich um eine Mehrkammer - Ausfallgrube. Nach ATV A 262 ergibt sich bei einem angenommen Wasserverbrauch von 150 l/(E·d) eine Mindestaufenthaltszeit von 3,3 Tagen für den Bereich der kleinsten Mehrkammerausfallgrube mit 500 l/E bei der größten Anschlussgröße von 50 Einwohnern. Damit wird suggeriert, dass ab 3,3 Tagen Aufenthaltszeit der Sauerstoff verbraucht ist und Faulung eintritt. Nach TGL 7762 (1979) wurde die Mehrkammerausfallgrube mit 1.000l je Einwohner bemessen. Bei einem

Anwendungsbereich von 4 bis 200 Einwohnern würde es sich hier bei 150 l/(E·d) um eine Aufenthaltszeit von 6,7 Tagen handeln, bei der angenommen wird, dass eine Faulung eintritt.

Die Mehrkammergruben können u.a. aus Beton, GFK (Glasfaserverstärkter Kunststoff), Polyethylen, Stahl gebaut werden. Dabei werden die Betonbauweise und zunehmend die Variante aus Polyethylen bevorzugt angewendet. Bild 5 zeigt die geläufige Aufteilung einer Dreikammergrube als Draufsicht. Die erste Kammer nimmt die Hälfte, die zweite und dritte Kammer nehmen je 25 % des Gesamtvolumens ein. Bei einer Zweikammer-Absetzgrube betragen die Volumina beider Kammern je 50 % des Gesamtvolumens.

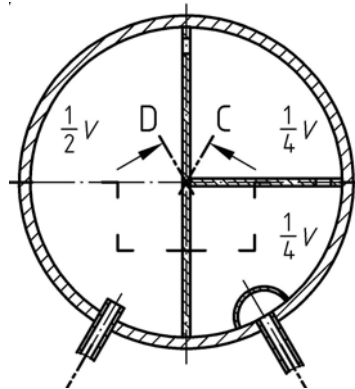


Bild 5 Dreikammer-Absetzgrube mit der Standardaufteilung der Kammern in 1.K 50%, 2. und 3.K je 25% (DIN 4261-1, 2010)

Die Verbindungen zwischen den Kammern werden nach DIN 4261-1 eingebaut und sollen verhindern, dass weder Bodenschlamm noch Schwimmschlamm in die nachfolgende Kammer übertreten kann. Ein Tauchrohrüberlauf, ein sogenanntes T-Stück oder ein eingearbeiteter Schlitz können diese Aufgabe übernehmen. Beide sind in Bild 6 dargestellt. Ebenfalls sollten Vorbehandlung und Beschickung hydraulisch voneinander getrennt sein, damit Schlammausträge bei möglichen Stoßbelastungen durch erhöhte Abwasserproduktion während des Beschickungsvorganges verhindert werden (ATV-A 262).



Bild 6 (a) Tauchrohrüberlauf und (b) Tauchwand mit Schlitzöffnung eingebaut in einer Mehrkammerabsetzgrube in Betonbauweise

Bei der Bemessung von Absetzgruben bzw. Ausfallgruben wird von einem spezifischen Schmutzwasseranfall von 150 l/(E·d), der über den Trinkwasserverbrauch ermittelt wird, ausgegangen. Nach ATV DWA-A 262 (KOMMENTAR, 2007) spielt der Trinkwasserverbrauch für die Bemessung keine Rolle. Ebenfalls wird folgende Tabelle aus dem Arbeitsblatt ATV-A 262 wie in Bild 7 dargestellt für die Bemessung der Mehrkammergruben verwendet.

Vorbehandlung	KKA - 6 E	KKA 7-10 E	KKA 11-50 E
Mehrkammerausfallgruben nach DIN 4261 mit 1.500 l/E, mindestens 6 m ³	←————→		
Mehrkammergruben nach DIN 4261 mit 9 m ³ + 750 l/E über 6 E		←————→	
Mehrkammergruben nach DIN 4261 mit 12 m ³ + 500 l/E über 10 E			←————→

Bild 7 Bemessungstabelle für die Vorklärungen der Kleinkläranlagen bis 50 E nach ATV A 262

Bis 2002 galt laut DIN 4261-T1 (1991) ein spezifisches Vorklärvolumen von 0,3 m³/E. Dies erhöhte sich mit der neuen DIN 4261-T1 (2002) auf ein spezifisches Vorklärvolumen von 0,5 m³/E und galt bis zum Erscheinen des DWA Arbeitsblattes A 262 im Jahr 2006. Ab 2006 galt die Bemessungsgrundlage für Vorklärungen aus Bild 7.

3.5. Wirkungsgrad von Mehrkammergruben

Der Wirkungsgrad der Vorklärung bezogen auf die organische Fracht wird laut DIN 4261-1 mit 30 % angegeben. Damit soll bei einer spezifischen Schmutzfracht von 120 g CSB/(E·d) eine Reduktion auf 80 g CSB/(E·d) erzielt werden. Dennoch liegt die Priorität auf dem Feststoffanteil. Laut DWA-A 262 (2006) soll dieser im Zulauf zum bepflanzten Bodenkörper auf 100 mg AFS/l begrenzt werden, um eine Kolmation zu vermeiden. Dieser Wert resultiert zum einen aus den Untersuchungen von GOETZ & WINTER im Rahmen des DBU-Verbundprojektes „Bepflanzte Bodenfilter“ aus dem Jahr 2002. Zum anderen wurden die Ergebnisse von SCHÜTTE (2000) herangezogen, der Kleinkläranlagen mit 4 bis 6 E Ausbaugröße u.a. auf ihren Wirkungsgrad untersuchte und Aussagen über notwendige Schlammabfuhrintervalle traf.

In der Literatur werden sehr unterschiedliche Angaben zum Wirkungsgrad gemacht, ersichtlich in Tabelle 2. Nach SCHÜTTE, 2000 erreichen die Vorklärungen verschiedener Kleinkläranlagen (Medianwerte) einen Wirkungsgrad der biologisch abbaubaren Anteile von 66%. Vorklärungen mit einem Volumen > 1,0 m³/E und ohne Rücklaufschlamm erreichen noch bessere Ergebnisse von 79 % für CSB und 90 % für BSB₅. FLASCHE, 2011 vergleicht die BSB₅ – Ablaufwerte von Kleinkläranlagen nach der Vorklärung in Abhängigkeit vom Umfang der Behandlung. Dabei erreichen Mehrkammergruben einen Wirkungsgrad von ~33%.

Tabelle 2 Vergleich verschiedener Vorklärungen von Kleinkläranlagen im Hinblick auf den Wirkungsgrad

η (BSB ₅)	η (CSB)	Anlagentyp	Referenz
~ 33 %	-	MKG	FLASCHE, 2011
~ 33 %	~ 33 %	allg. VK von KKA	BOLLER, 2002
66 – 90 %	66 – 79 %	MKG	SCHÜTTE, 2000
bis 54 %	bis 60 %	MKG	OTTO, 2000
> 85 %		MKAG	EBERS, 1992
25 %	22 %	MKAG	SCHWEIZER, 1983

Aus Tabelle 2 lässt sich erkennen, dass hohe Wirkungsgrade erzielt werden können. Beachtet werden muss, dass der Trinkwasserverbrauch im ländlichen Raum in den letzten Jahren auf teilweise 55 – 80 l/(E·d) gesunken ist (BARJENBRUCH & SCHÜLER, 2011). Dadurch lassen sich längere Aufenthaltszeiten und somit höhere Wirkungsgrade in der Vorklärung erzielen. Man kann demnach in der Praxis bei gleichbleibender frachtbezogener Belastung von einem gesteigerten Wirkungsgrad ohne Erhöhung der Vorklärvolumina ausgehen.

Des Weiteren lässt sich eine hohe Varianz der Wirkungsgrade erkennen. Auch OTTO, 2002 erwähnte bereits die große Streubreite der Daten, begründet u.a. auf unterschiedliche Ausbaugrößen, Auslastung, Anzahl, Größe und Einteilung der Kammern sowie regelmäßige Entschlammung.

Im Bereich Feststoffe gibt es nur sehr wenige bis gar keine Angaben zum Wirkungsgrad. Nach ATV A 131 soll der AFS - Wirkungsgrad der Vorklärung bei einer Aufenthaltszeit von 0,5 bis 1,0 h 50 % und bei 1,5 bis 2,0 h Aufenthaltszeit 64 % betragen. Obwohl großtechnische Biofilter regelmäßig gespült werden, wird eine Zulauf-Begrenzung von 50 – 75 mg AFS/l als 24-h- Mittelwert empfohlen (TSCHUI ET AL., 1993).

SCHÜTTE (2009) untersuchte Kleinkläranlagen im Bereich 4 – 6 Einwohner und setzt eigene Grenzwerte nach der Empfindlichkeit der nachfolgenden biologischen Stufe fest. Dabei betrachtet er Festbettbelebung, Tauchkörper und Abwasserteiche als relativ unempfindlich gegenüber Feststoffeinträge und legt einen Grenzwert auf 500 mg AFS/l fest. Tropfkörper können 300 mg AFS/l und Anlagen mit Bodenkörpern lediglich 150 mg AFS/l vertragen. Bei Vorklärvolumina von 750 l/E lassen sich nach seinen Erhebungen die gesetzten 150 mg AFS/l sicher einhalten. Er schlussfolgert, dass bei Einhalten der 150 mg AFS/l ein problemloser Betrieb jeder biologischen Nachbehandlungsstufe möglich ist (siehe Bild 8). Weitere Schlussfolgerungen beziehen sich auf die Handhabung der Schlammabfuhr. Danach scheint es bei kleineren Vorklärvolumina < 1,0 m³/E sinnvoll zu sein bei einer Regelabfuhr zu bleiben, bei größeren Vorklärvolumina ist eine bedarfsgerechte Schlammabfuhr möglich.

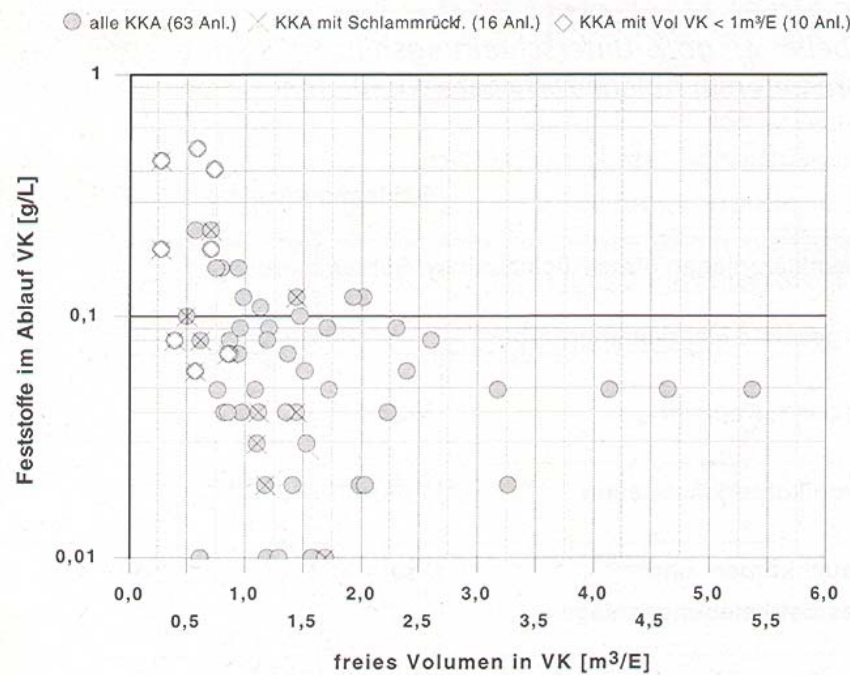


Bild 8 Feststoffkonzentration nach Ablauf der Vorklärung gegen schlammfreies Volumen nach Schütte, 2000

3.6. Kolmation und Bezug zum AFS Grenzwert

Bei einer auftretenden Kolmation handelt es sich um eine Porenraumverringering bzw. Verstopfung des Bodens aufgrund mechanisch/physikalischer, biologischer oder chemischer Effekte.

Die chemische Kolmation entsteht aufgrund unterschiedlicher bzw. wechselnder pH-Werte sowie Redoxpotentiale und damit einhergehend unterschiedlicher Sauerstoffgehalte im Boden. Es kommt zu Ausfällungen und Ablagerungen von u.a. Calciumcarbonat, Eisensulfid und Eisenocker (RÖSKE & UHLMANN, 2005). Durch die Fresstätigkeit von Kleinstlebewesen, wie z.B. Fadenwürmern und Borstenwürmern, wird ein großer Teil der organischen Masse (Bakterien und Pflanzenreste) beseitigt. Ebenfalls wird der bepflanzte Bodenfilter aufgelockert, dadurch eine Belüftung gefördert und einer Kolmation entgegen gewirkt (RÖSKE & UHLMANN, 2005). Die weit verzweigte Verwurzelung der Pflanzen trägt ebenfalls zur Lockerung und Belüftung des Bodenkörpers bei.

Die biologische Kolmation wird vor allem hervorgerufen durch erhöhtes Biomassewachstum, das als Überschussschlamm aus Belebungsanlagen bekannt ist, sowie die Bildung von extrapolymeren Substanzen (EPS), einer gelartigen Substanz, die den Bakterien als Schutzhülle gegen Umwelteinflüsse (u.a. Austrocknung, toxische Stöße) dient. Daher wird die Bildung von EPS durch Sauerstoffmangel gefördert. Bei Austrocknung des Beetes bzw. in der Ruhephase wird EPS wieder abgebaut. (TESCHNER ET AL., 2004) Soll die biologische Kolmation verhindert werden, muss der Organikeintrag begrenzt werden. Dies lässt sich über eine ausreichende Vorbehandlung des Abwassers und ausreichende Sauerstoffzufuhr gewährleisten. (GOETZ & WINTER, 2002)

Zu einer physikalischen Kolmation kommt es aufgrund von Eintrag feiner Partikel auf oder in den bepflanzten Bodenfilter. Demnach kann es zu einer oberflächlichen Kolmation und ebenfalls in der Tiefe des Bodenkörpers kommen (Kommentar DWA – A 262, 2007). Um diese Art der Kolmation zu verhindern, ist eine Vorklärung des Abwassers im Bereich der Feststoffe unerlässlich. GOETZ & WINTER (2002) legen eine Empfehlungsgrenze von 100 mg AFS/l im Zulauf zum bepflanzten Bodenfilter fest. Sie stellen fest, dass gerade Partikel > 50 µm den Filter oberflächlich verblocken können, „da sie in der Größenordnung der für die Versickerung entscheidenden weiten Grobporen liegen“. Es wurden insgesamt 25 Anlagen untersucht, acht davon zeigten regelmäßig Kolmationserscheinungen, zehn selten oder gar nicht und bei sieben Anlagen waren Teilflächen kolmatiert. Der Median der kolmatierten Anlagen wies im Zulauf 155 mg AFS/l, der Median, der nicht zur Kolmation neigenden Anlagen 60 mg AFS/l. Der obere Boxenwert (75% Perzentil) der nicht kolmatierenden Anlagen betrug rund 100 mg AFS/l und wurde als Empfehlungsgrenze für Bemessungsansätze herangezogen. (GOETZ & WINTER, 2002). Weiterhin wurde die Partikelgrößenverteilung nach den Klassen 0,45-10 µm, 10-50 µm und >50 µm bestimmt. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Anteile Größenklasse 0,45-10 µm für nicht kolmatierende und kolmatierende Anlagen eher gleich ist. Der Anteil der Partikel >50µm ist mit 23 % bei kolmatierenden Anlagen im Vergleich zu den nicht kolmatierenden Anlagen mit 12 % eher erhöht. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass Partikel > 50µm einen größeren Einfluss auf Kolmation haben, als kleinere Partikel. Für die Frachtberechnungen

wurden die hydraulischen Belastungen größtenteils aus den Daten der Kartierung für ein Handbuch nach GELLER & HÖNER (2002) entnommen.

Bild 9 zeigt die Verteilung der AFS-Konzentrationen aufgeteilt nach der Kolmationsneigung als Box and Whisker Darstellung aus dem Abschlussbericht von GOETZ & WINTER (2002). Die nicht kolmatierenden Anlagen weisen eine große Bandbreite zwischen knapp 50 – 400 mg AFS/l. Die Konzentrationen, der Anlagen, die weniger bis gar nicht zur Kolmation neigen, liegen zwischen 8 und knapp 150 mg AFS/l.

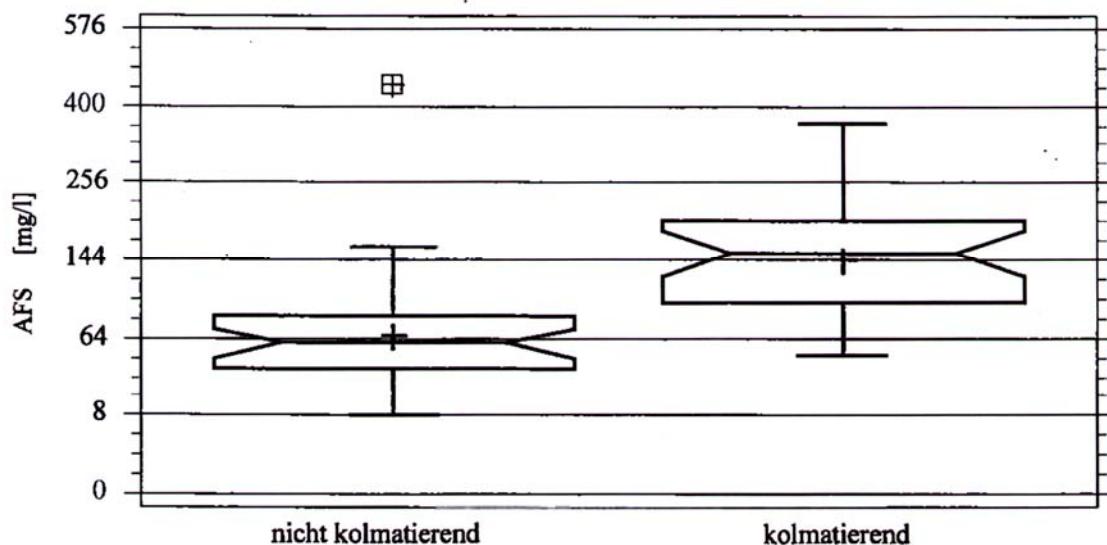


Bild 9 AFS Konzentration als Box and Whisker Darstellung aus dem Abschlussbericht von Goetz & Winter (2002) von kolmatierende und nicht kolmatierenden Anlagen (n=186)

WISSING & HOFFMANN (2002) erwähnen, dass „innerhalb der ersten fünf Betriebsjahre das Anwachsen der Feststoffmenge nicht zu einer Verringerung des Wirkungsgrades führt“. Eine Kolmation lässt sich u.a. über den kf – Wert des Bodens, d.h. dem Durchlässigkeitsbeiwert ermitteln. Dieser verschlechtert sich in einem Zeitraum von 15 Jahren um ein bis zwei Zehnerpotenzen. (WISSING & HOFFMAN, 2002) Frühere Kolmation lässt auf akute Probleme im Betrieb der Anlage zurück schließen.

TESCHNER ET AL. (2004) untersuchte die Einflüsse von anorganischen und organischen AFS an einer ausgewählten Anlage in Merzdorf. Dabei konnte trotz erhöhter Feststoffkonzentrationen über 100 mg AFS/l im Zeitraum von 10 Jahren keine Kolmation verzeichnet werden, die auf diesen Einfluss zurückzuführen ist.

Generell lässt sich laut Fachwelt (KOMMENTAR DWA-A 262, 2007) die Kolmation durch verschiedene Maßnahmen verhindern.

- die Konzentration der AFS im Ablauf der Vorbehandlung muss unter 100 mg/l sein
- das Filtermaterial muss über entsprechende Eigenschaften hinsichtlich Korngrößenverteilung und Undurchlässigkeitsgrad verfügen

- die spezifische Flächenbelastung in $\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ hinsichtlich CSB und AFS muss begrenzt werden
- die Filter müssen regelmäßig außer Betrieb genommen werden, um eine Regeneration der hydraulischen Leistungsfähigkeit zu ermöglichen.

Dabei sind eine entsprechende Gestaltung der Vorbehandlung, die Auswahl geeigneter Filtersubstrate, ausreichende Filterfläche und eine gleichmäßige Verteilung des Abwassers wichtig. (KOMMENTAR DWA-A 262, 2007)

Die Begrenzung der Flächenbelastung hinsichtlich AFS, um erfolgreich Kolmation zu verhindern, wird in der Literatur sehr unterschiedlich angegeben. Die CSB-Flächenbelastung soll laut ATV A 262 20 $\text{g CSB}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ bzw. 27 $\text{g CSB}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ nicht überschreiten. Verschiedene Werte sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3 Mögliche Begrenzungen für die AFS-Flächenbelastung für bepflanzte Bodenfilter

Flächenbelastung ($\text{g AFS}/\text{m}^2\cdot\text{d}$)	Referenz
5	Goetz & Winter, 2002
8	Bouwer et al., 1980 bei Platzer, 1998
10 - 20	LÖFFLER, H. , 1992
k.A.	DWA A 262, 2006

3.7. Beschickungssysteme und deren Einfluss auf Kolmation

Um das Abwasser dem Bodenkörper zuzuführen bedient man sich unterschiedlicher Verteilersysteme. Die DWA gibt dafür Empfehlungen vor um gezielt Kolmation zu verhindern und einen dauerhaften Betrieb zu gewährleisten. Diese Empfehlungen lassen sich im Arbeitsblatt ATV A 262 nachlesen. Die Hauptaufgabe liegt in der gleichmäßigen Beschickung des Bodens mit Abwasser damit der vorhandene Filterraum ausgenutzt und eine Kolmation durch zu starke punktuelle Beschickung verhindert wird. Die Firma Aqua Nostra arbeitet mit einem gabelartigen Rohrsystem, welches von beiden Seiten des Filterbodens ineinander verzahnt wird. Das Abwasser verteilt sich durch die alle 15 cm mit Löchern versehenen Rohre auf der gesamten Bodenoberfläche. Die Löcher gehen abwechselnd nach rechts oder links ab, die Sohle bleibt dabei frei. Das Rohrsystem wird auf dem Boden aufgelegt und verteilt das vorgereinigte Abwasser auf den bepflanzten Bodenfilter. Bild 10 zeigt eine schematische Darstellung einer vertikal durchflossenen Pflanzenkläranlage. (Angaben von Hrn. Herrmann, Aqua Nostra, 31.10.2012)

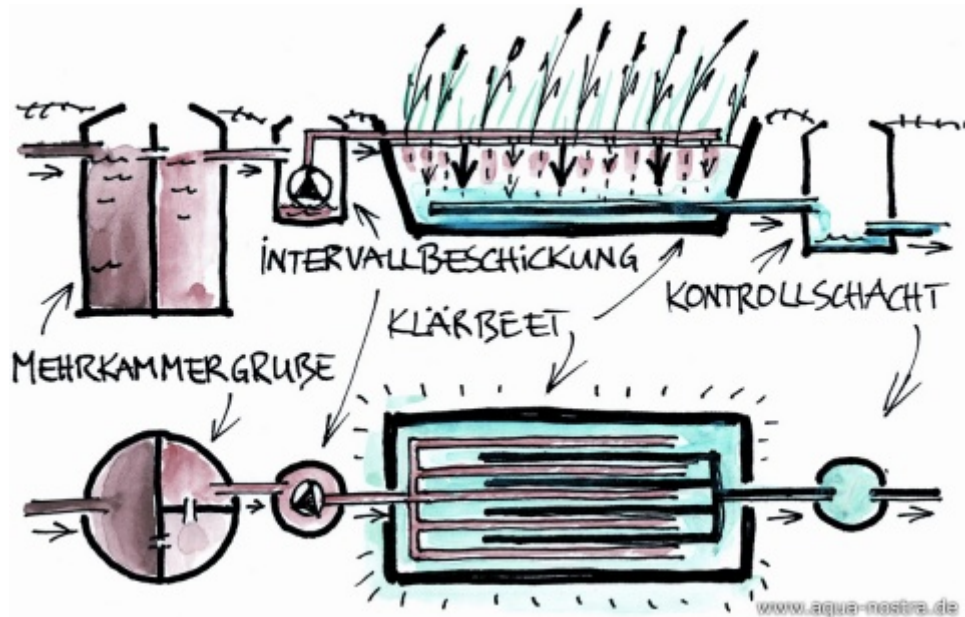


Bild 10 Schema einer vertikal durchflossenen Pflanzenkläranlage mit Vorklärung, bepflanzen Bodenfilter und Kontrollschacht¹

Die Firma Mutec Markgraf GmbH baut ebenfalls erfolgreich Pflanzenkläranlagen. Sie bedient sich eines Rohrsystems, welches 20 cm tief in den Bodenfilter eingebaut wird. Es handelt sich um leerlaufende Rohre, die durch eine Pumpe ganzjährig leer gedrückt werden (Druckbeschickung), damit im Winter gefrorenes Wasser in den Rohren verhindert wird. Die einzelnen Rohre werden im Abstand von 25 cm flächig auf dem bepflanzen Bodenfilter verteilt. Bild 11 zeigt ein Schema dieser Anlagenvariante. (Angabe Mutec Markgraf GmbH, 31.10.2012)

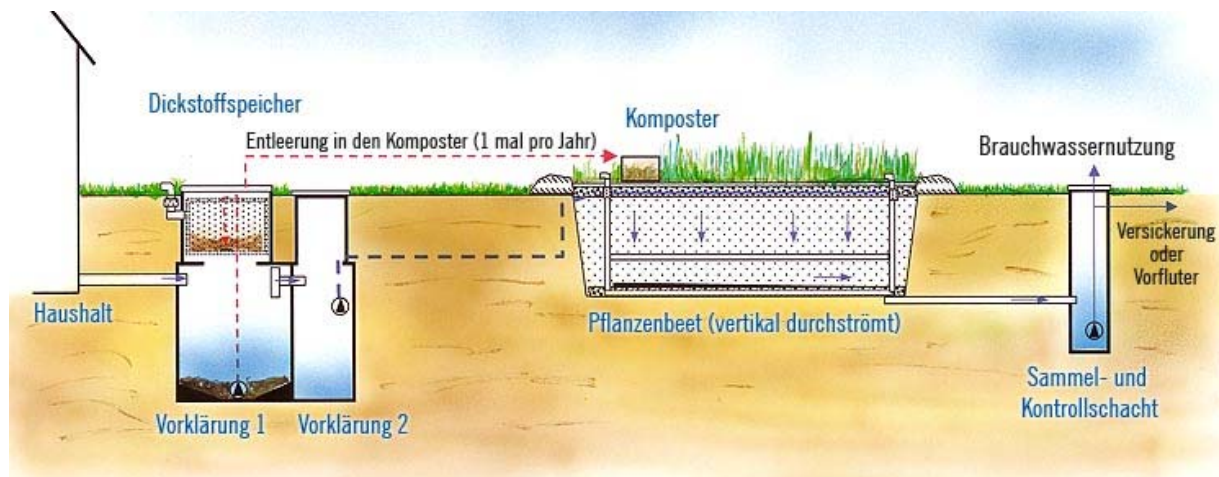


Bild 11 Funktionsschema einer vertikal durchströmten Pflanzenkläranlage mit Abwasserverteilung der Firma Mutec Markgraf GmbH²

¹ <http://www.aqua-nostra.de/index.php?Vertikal-durchflossene-Pflanzenkleanlage>

² <http://www.mutec-markgraf.com/mutec/mutec-pflanzenklaeranlagen.php>

Eine relativ einfache Variante der Beschickung wird von der Firma Janisch & Schulz (Bild 12) angeboten. Hier liegen die Abwasserrohre im Abstand von 1,50 – 2,0 m auf dem bepflanzten Bodenfilter auf. Die Rohre sind alle 80 cm bis 1 m mit Löchern für die Beschickung ausgestattet. Es wird bestätigt, dass es keine Kolmationsprobleme bei vertikal durchströmten Anlagen gibt. (Gespräch Herr Falkenberg, 31.10.2012)

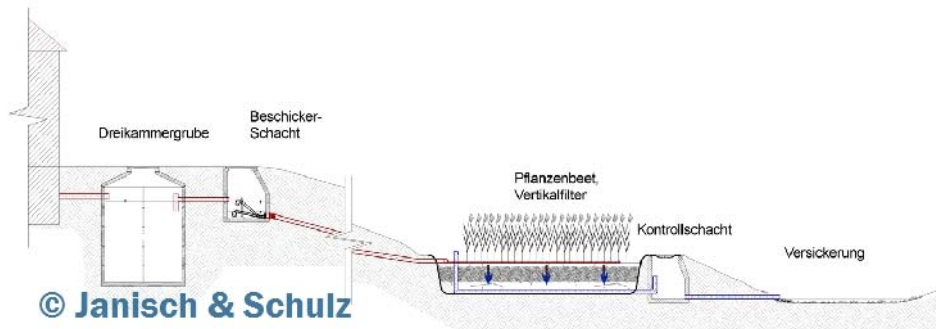


Bild 12 Funktionsschema einer vertikalen Pflanzenkläranlage der Firma Janisch & Schulz³

Insgesamt schwören alle Hersteller auf ihre eigene Abwasserverteilung und gewährleisten eine frostsichere, energiearme und kolmationsverhindernde Beschickung für einen dauerhaften Betrieb. In Einzelfällen kann es aber immer zur Kolmation kommen und wird auch teilweise von den Herstellern bestätigt. Dies begründet sich vermutlich auf die kurzfristige hydraulische Überbelastung und eventueller Bemessungsfehler. Werden vom Kunden falsche oder unzureichende Angaben im Hinblick auf die Anzahl der angeschlossenen Einwohner getätigt, führt dies unweigerlich zur Überlastung bzw. Unterlast des bepflanzten Bodenfilters und gegebenenfalls zur Kolmation. Auch einmalige schwallweise Badewannenstöße können einen Beitrag zur Verblockung des Bodens und kurzfristiger Geruchsproblematik leisten und lassen sich nicht über die Anordnung der Abwasserleitungen verhindern.

Einig sind sich die Hersteller über eine gut verteilte Beschickung sowie über die Verhinderung von Frost in den Rohrsystemen durch stehendes Wasser. Die Tiefe des bei Horizontalfiltern einzuleitenden Abwassers variiert geringfügig.

3.8. Faulprozesse und Absetzvorgänge in Abhängigkeit von der Aufenthaltszeit

Faulungsprozesse setzen ein, wenn kein Sauerstoff für aerobe Mikroorganismen zur Verfügung steht. Werden die Deckel von Mehrkammergruben mit einfachen Löchern versehen, kann Sauerstoff über die Umgebungsluft stetig eingetragen werden. Bei zunehmender Produktion von Schlamm können Bereiche entstehen, die anaerob bzw. anoxisch sind und Faulungsprozesse hervorrufen. Die entstehenden Faulgase enthalten u.a. Schwefelwasserstoff, Methan und Kohlenstoffdioxid. Vor allem Schwefelwasserstoff führt in seinen Verbindungen zu Korrosion und Geruchsbelästigung.

³ <http://www.pflanzenklaeranlagen.de/leistungen/pflanzenklaeranlagen/aufbau/vertikale-und-horizontale-bauweise.html>

Das Einsetzen von Faulungsprozessen ist ebenso abhängig von der Aufenthaltszeit des Abwassers in der Mehrkammergrube. Befindet sich das Abwasser lange in der Vorklärung, wird Sauerstoff verbraucht und anaerobe biologische Prozesse beginnen.

Das DWA – A 262 gibt vor, bei geringen Anschlussgrößen < 6 E, Mehrkammerausfaulgruben mit Vorklärvolumina von $1,5 \text{ m}^3 / \text{E}$ zu bauen. Mehrkammerabsetzgruben sind in diesem Anschlussbereich nur mit Ausnahmegenehmigung gestattet. Begründet wird dies über die längere Aufenthaltszeit des Abwassers und einem daraus resultierenden erhöhten anaeroben Abbau organischer Verbindungen. Eine längere Aufenthaltszeit würde den Feststoffen eine längere Sedimentations- und Kompaktionszeit geben um den Austrag auf die nachfolgende biologische Stufe zu verringern.

Auf Grundlage der Bild 13 wurden bei steigender Anschlusszahl abnehmende Vorgaben für die spezifischen Vorklärvolumen entwickelt. Dies wurden im Arbeitsblatt ATV A 262 integriert. Die Abbildung zeigt zwei Graphen, zum einen den Anstieg des Vorklärvolumens mit steigender Anschlusszahl und zum anderen das Verhältnis von freiem Volumen und Abwasserzufluss bei hydraulischen Spitzenbelastungen.

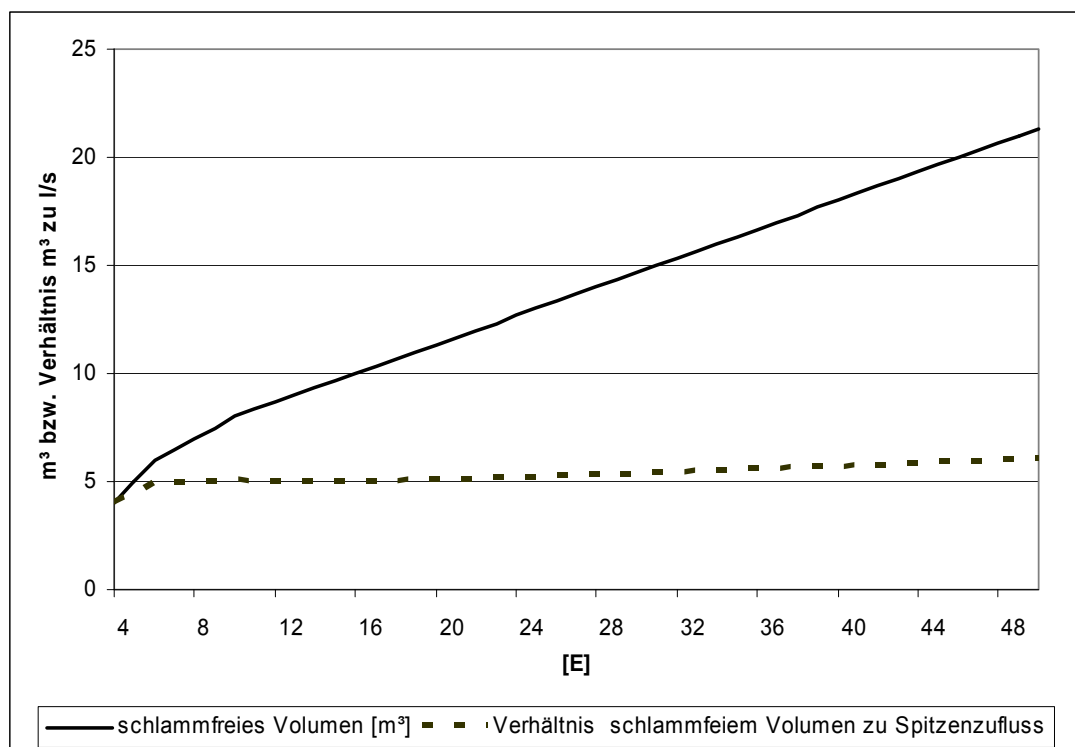


Bild 13 Schlammfreies Volumen in der Vorklärung in Abhängigkeit von der Zahl der angeschlossenen Einwohner nach DWA-A 262 sowie Verhältnis freies Volumen zu Spitzenzufluss nach EN 12056-2

Nachvollziehbar ist, dass bei mehr angeschlossenen Einwohnern ein geringeres spezifisches Volumen benötigt wird, da bestimmte sanitäre Einrichtungen geteilt werden (z.B. Wäsche waschen). Berechnet man für die Volumeneinteilung nach angeschlossenen Einwohnern die Aufenthaltszeit des Abwassers in der Mehrkammergrube, so ergeben sich die Werte in Tabelle 4. Die Aufenthaltszeit sinkt mit zunehmender Anschlussgröße, damit steigt die

Wahrscheinlichkeit von Faulungsprozessen in Mehrkammergruben bei geringen Anschlussgrößen.

Tabelle 4 Vergleich der Aufenthaltszeiten von Abwasser in Mehrkammergruben bei verschiedenen angeschlossenen Einwohnerzahlen

angeschlossene Einwohner	spez. VK - Volumen	Vorklärvolumen	Zulauf MKG ^a	Aufenthaltszeit
6 E	1.500 l/E	9 m ³	900 l/d	10 d
10 E	750 l/E	7,5 m ³	1.500 l/d	5 d
20 E	500 l/E	10 m ³	3.000 l/d	3,3 d

^a MKG = Mehrkammergrube

4. Material und Methoden

4.1. Praxisanlagen aus dem Bestand von JK und GKU mbH

Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH (JK-PKA GmbH) planen, bauen und betreiben erfolgreich seit mehreren Jahren Pflanzenkläranlagen mit Vorklärvolumina von 500 I/E ohne vermehrte Kolmationserscheinungen. Gemeinsam mit der TU Berlin FG Siedlungswasserwirtschaft und Mitgliedern des DWA-Projektbeirats entstanden zunächst Prüfprotokolle (siehe Anlage I), die bei jeder Probenahme einer Abwasserprobe ausgefüllt werden sollten. Neben allgemeinen Daten zur Probenahme müssen die tatsächliche Abwasserbelastungssituation, der Wasserverbrauch, Abwasseranfall und der Schlammfall, Angaben zum baulichen Zustand der Vorklärung, dem Pumpenschacht und gegebenenfalls zum Pflanzenbeet, analytische Daten zur Probe vor Ort sowie Angaben über den Transport aufgenommen und somit dokumentiert werden.

Die genommenen Abwasserproben stammen alle aus Mehrkammerabsetzgruben mit zwei bzw. drei Kammern. Es handelt sich bei allen Proben aus dem Bestand von Joachim Krüger PKA GmbH immer um eine Stichprobe. Im Anschluss an eine Konservierung fand die Analyse im Labor der TU Berlin im Hinblick auf den chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) und auf abfiltrierbare Stoffe (AFS) statt. Die Bestimmung des CSB erfolgte mit Hilfe von Küvettentests der Firma Hach Lange und die der Feststoffe nach DIN 38409-H2.

Das jeweilige Nutzvolumen der Vorklärungen wurde aus den Protokollen, ausgefüllt von den Mitarbeitern vor Ort, aus dem angegebenen Durchmesser und der Wassertiefe für einen Zylinder berechnet. Der Wasserverbrauch wurde durch Abfrage der Bewohner ermittelt bzw. aus der jeweiligen Jahresabrechnung entnommen. Damit kann davon ausgegangen werden, dass eventuell verwendetes Gießwasser für gärtnerische Zwecke enthalten ist. Nicht berücksichtigt sind ebenso eventuelles Brunnenwasser bzw. aufgefangenes Niederschlagswasser. Diese Angaben wurden zwar zu Beginn in das Protokoll aufgenommen, aber nur selten von Grundstücksbesitzer angegeben.

Insgesamt können 150 Daten von 53 Anlagen der Firma Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH, die im Zuge der Wartungstätigkeiten genommen wurden, ausgewertet werden. Die Mehrkammerabsetzgruben aus dem Bestand von Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen werden mit Tauchrohren gebaut bzw. noch veraltete nach TGL 7762 vorhandene Durchlassöffnungen systematisch zu Tauchrohren umgebaut. Die Anlagen wurden größtenteils dreimalig beprobt. Um auch einen Überblick über den Wirkungsgrad bzw. den Feststoffrückhalt von Durchlassöffnungen zu bekommen, konnte die GKU mbH mit Sitz in Altentreptow für eine Zusammenarbeit gewonnen werden. Im Zuge der Wartungen sollte auch hier mit Hilfe der Erfassungsprotokolle und Proben aus dem Ablauf der letzten Kammer der Vorklärung die Belastungssituation ermessen werden. Insgesamt konnten 18 Anlagen mit Durchlassöffnungen untersucht werden. Zusammenfassend handelt es sich um

- 150 Werte mit Tauchrohrüberläufen und neun Werte mit Durchlassöffnungen aus dem Bestand von Joachim Krüger PKA GmbH sowie

- vier Werte mit Tauchrohrüberläufen und sieben Werte mit Durchlassöffnungen aus dem Bestand von GKU mbH.

4.2. Anlagenbeschreibung aus dem Bestand von Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen

Vorklärung. Die Vorklärung häuslicher und kommunaler Abwässer erfolgt in Mehrkammerabsetzgrubensystemen entsprechend der DIN 4261 mit einer Aufteilung von 50 %, 25 % und 25 % oder werden den speziellen Erfordernissen angepasst. Die letzte Kammer der Mehrkammergrube oder ein gesonderter Pumpenschacht dienen als Pufferspeicher und Pumpensumpf. Die Mehrkammergruben und Pumpenschächte können wahlweise aus Beton oder Kunststoff bestehen (Bild 14).

Die Verbindungen der Gruben werden mit Tauchrohrüberläufen ausgestattet. Bei Nachrüstungen bestehender Gruben, wurden getauchte Schlitz-Überläufe zwischen den Kammern umgebaut.



Bild 14 Mehrkammergrube der Firma HACON Betonwerke GmbH (Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH, 2012)

Beschickungssystem. Das mechanisch vorgeklärte Abwasser wird aus dem Pumpensumpf mittels Hochdruck-Tauchpumpe (Edelstahlausführung) über eine Druckleitung zum Pflanzenbeet gefördert und über eine Verteilerarmatur auf das Beschickungsschlauchsystem verteilt. Die Verteilerarmatur befindet sich im kombinierten Verteiler- und Kontrollschacht. Die Beschickungsschläuche bestehen aus perforiertem elastischen Kunststoff (DN 12) und werden fußbodenheizungsartig mit einem Leitungsabstand von ca. 30 cm auf der Beetoberfläche ausgelegt und mit ca. 15 cm Grobkies überschichtet. Dies gewährleistet eine über die Pflanzenbeetfläche homogene Abwasserverteilung. Der über eine Zeitschaltung intermittierend gesteuerte Pumpenbetrieb und die Abwasserabgabe unter Druck (Verdüsung) ermöglichen einen optimalen Sauerstoffeintrag in den Bodenfilter. Die Beschickungsschläuche sind als Ringleitung einzeln an die Verteilerarmatur angeschlossen und können rückgespült werden. Das Pflanzenbeet kann damit auch segmentweise betrieben werden. Durch die unterirdische Beschickung (kein Abwasser an der Oberfläche!) werden hygienische Gefährdungen und Geruchsentstehung vermieden (Bild 15).

Pflanzenbeet. Das Abwasser sickert durch eine ca. 0,6 m starke Sandschicht, unterliegt dabei dem mikrobiellen aeroben Abbau der organischen Inhaltsstoffe und wird über eine Drainageleitung gefasst und dem kombinierten Verteiler- und Kontrollschacht zugeführt. Hier besteht die Möglichkeit der Probenahme des Kläranlagenablaufs. Das Beet wird mit Schilf (*Phragmites australis/communis*) bepflanzt, kann aber zwecks dekorativer Gestaltung auch mit anderen (blühenden) Helophyten besetzt werden. In der Regel wird der ca. 0,9 m starke Beekörper 0,5 m unter das Geländeniveau eingebaut und mit einem umlaufenden Wall 0,5 m über Geländeniveau errichtet. Auf- oder ebenerdige Pflanzenbeetvarianten sind möglich. Der Beekörper ist gegen den Untergrund mit einer 1,5 mm starken, Prüfnah-verschweißten PE-Folie abgedichtet.

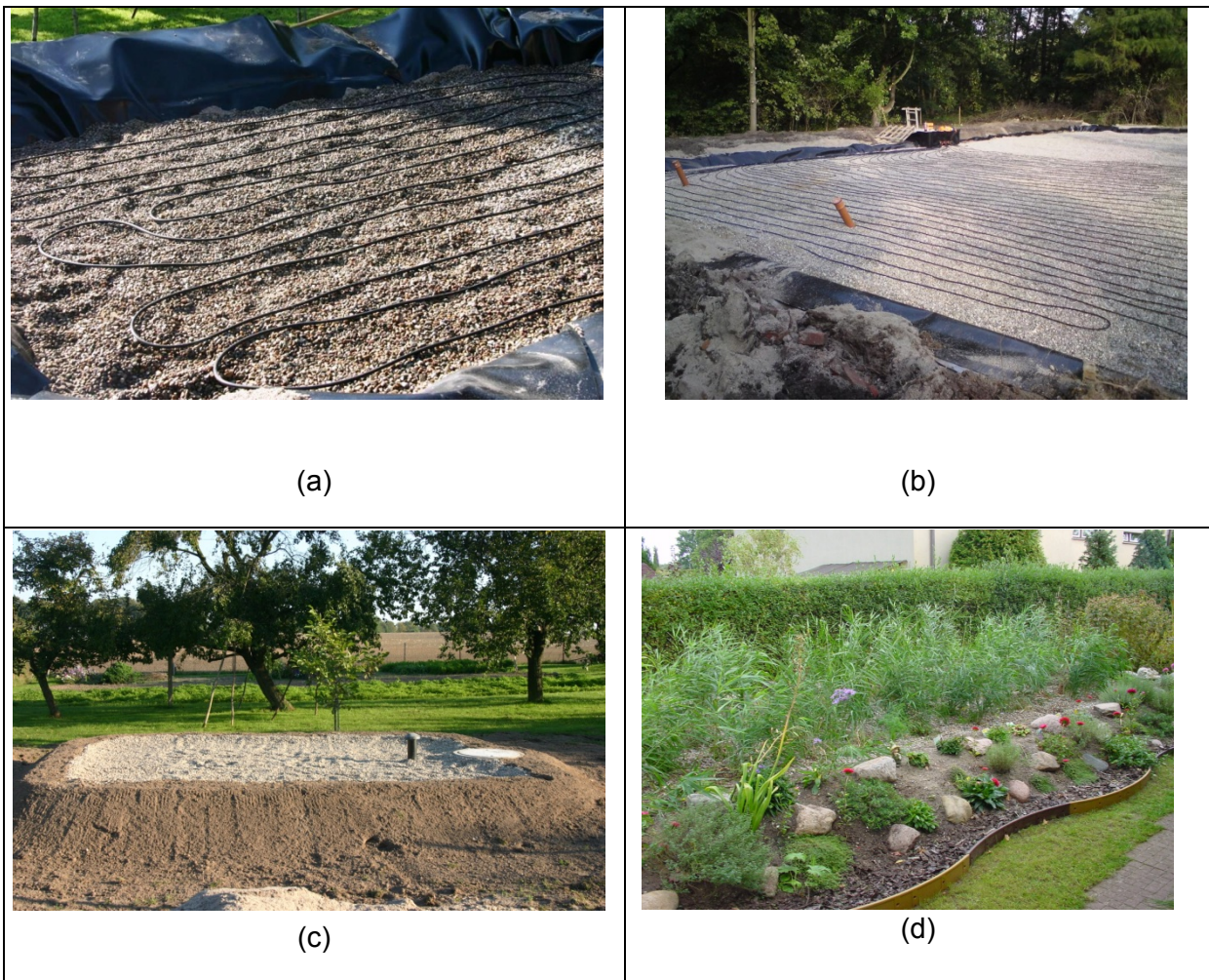


Bild 15 Klassisches Schlauchbeschickungssystem (a) und (b) der bepflanzen Bodenfilter von Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH sowie der Bodenfilterkörper unbewachsen (c) und bewachsen (d)

Laut Fa. Krüger wird aufgrund der geringen Störanfälligkeit der Technik und der konstanten Reinigungsleistung der Pflanzenkläranlagen eine Wartung im Jahr empfohlen. Die Schlammabfuhr wird normalerweise nach Bedarf ausgeführt. In Einzelfällen ist eine jährliche Entleerung erforderlich, in der Regel werden Vorklärunge mit einer Belastung von 2 - 4 Personen aber ein Mal in 3 Jahren durchgeführt.

Tabelle 5 zeigt einen Überblick der wichtigsten Parameter der Praxisanlagen aus dem Bestand von JK PKA GmbH. Der errechnete durchschnittliche Wasserverbrauch von 107 l/(E·d) liegt leicht unter dem aktuellem Durchschnittswert von 121 l/(E·d) für Deutschland. In anderen Studien wurden im ländlichen Raum auch deutlich geringere Wasserverbräuche ermittelt. BARJENBRUCH & SCHÜLER (2011) geben einen durchschnittlichen Verbrauch von 55 – 80 l/(E·d) an. Die AFS-Flächenbelastung liegt im Mittel bei 4,0 g/(m²·d) und unterschreitet damit die empfohlenen 5 g/(m²·d). Ähnlich sieht es bei der CSB Flächenbelastung aus. Der Mittelwert unterschreitet die empfohlenen 20 g/(m²·d) aus dem ATV A 262. Die Aufenthaltszeit des Abwassers in der gesamten Mehrkammergrube ist mit 24 Tagen als sehr hoch einzustufen.

Tabelle 5 Zusammenstellung der Mittel- und Medianwerte der wichtigsten Parameter aus dem Anlagenbestand von Joachim Krüger PKA GmbH bei schwankender Auslastung^a (79-81% Unterlast / 10-11% Überlast)

	Einheit	Minimum	Maximum	Mittelwert
Anlagenanzahl		53	53	53
Einwohner	E	1,0	30	3,9
Wasserverbrauch	l/(E·d)	21	317	107
Wasserverbrauch	m ³ /d	0,02	3,00	0,4
Aufenthaltszeit	d	1,9	172	24,6
AFS	mg/l	0	840	160
CSB	mg/l	27	4828	622
AFS Flächenbelastung	g/m ² ·d	0,1	22,6	3,7
CSB Flächenbelastung	g/m ² ·d	0,1	118,9	15,0
Schlammfreies Volumen Tauchrohr	m ³ /E	0,2	4,8	1,4
Nutzvolumen Tauchrohr	m ³ /E	0,3	5,8	1,8

a = die Auslastung wird in 5.1.3 näher erläutert

4.3. Demonstrations- und Prüffeld Altentreptow

Für die Untersuchungen unter definierten Bedingungen wurden auf dem Demonstrations- und Prüffeld in Altentreptow / Mecklenburg – Vorpommern zwei Mehrkammergruben umgebaut und mit unbehandeltem Abwasser beschickt. Das Abwasser stammt aus einer Trennkanalisation und wird zunächst in einem offenen Vorlagebehälter gespeichert um anschließend den einzelnen Kleinkläranlagentypen zugeführt zu werden. Das Demonstrationsfeld existiert seit Oktober 2005 und wird von der Firma GKU mbH betreut. Bild 16 zeigt den offenen Vorlagebehälter sowie die Beschickungseinheit. Die Beschickung erfolgt nach dem Tagesgang nach DIN 12566-3 auf Grundlage eines spezifischen Wasserverbrauches von 150 l/(E·d) und wurde von der Universität Rostock unter damaliger Leitung von Prof. Barjenbruch geplant. Die Beschickungsmenge kann computergesteuert variiert werden.



Bild 16 Offener Vorlagebehälter (a) und Beschickungseinheit (b) des Demonstrations- und Prüffeldes Altentreptow

In Tabelle 6 sind die unterschiedlichen Beschickungsmengen für den Zeitraum der Beprobung aufgelistet.

Tabelle 6 Beschickungsmengen in Altentreptow innerhalb des Untersuchungszeitrahmens

Jahr	Zeitraum	Zufluss	Spez. MK-Volumen
2010	ab Mai	1.350 l/d	500 l/E (9 E)
	August – Oktober	1.200 l/d	560 l/E (8 E)
2011	ab August	1.200 l/d	560 l/E (8 E)
	ab November	1.800 l/d	375 l/E (12 E)
2012	ab Februar	1.350 l/d	500 l/E (9 E)
	ab Juli	600 l/d	1.125 l/E (4 E)
	ab August	900 l/d	750 l/E (6 E)

Es wurden mit Hilfe eines automatischen Probenehmers 24h-Mischproben aus den Vorklärunge n der beiden Anlagen von Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH und der Firma IBB sowie Stichproben als auch 24h Mischproben aus dem Vorlagebehälter entnommen. Bei der Entnahme der Abwasserproben aus dem Vorlagebehälter wurde darauf geachtet, dass grobes oder flotiertes Material nicht in die Flaschen gelangte. Ebenfalls wurde, soweit dies möglich war, das Abwasser aus der Mitte des Behälters entnommen. Teilweise gab es Probleme mit den Probenehmern. Bei Ausfall wurden qualifizierte Stichproben entnommen.

Der Anlagenumbau, gemäß Absprache mit dem Beirat, erfolgte am 12.05.2012 nach einer Schlamm entnahme nach DIN 4261-1 Pkt.7 beider Vorklärunge n. Die Probenahme startete mit einem Schlammvolumen von 25 %. Das Nutzvolumen beider Kammern und beider Anlagen beträgt insgesamt 4,5 m³ mit 3 m³ der ersten Kammer und 1,5 m³ der zweiten Kammer.

4.4. Anlagenbeschreibung der Vorklärunge

Bei der ersten Anlage handelt es sich um eine Zweikammer - Absetzgrube mit anschließendem vertikal beschicktem Pflanzenbeet der Firma Joachim Krüger mit dem Namen Subterra. Die Verbindung der ersten- und zweiten Kammer wurde nach DIN 4261-1 vor Beprobungsstart am 12.05.2010 von einem ursprünglichen Tauchrohr auf einen Schlitz mit einer Fläche von 312,5 cm² umgebaut. Nach DIN 4261-1 soll die Fläche zwischen 80 cm² und 350 cm² liegen.

Bild 17 zeigt die Maße des eingearbeiteten Schlitzes in die Vorklärunge der Subterra-Anlage. Die Probenahme erfolgt hier in der zweiten Kammer am Übergang zur dritten Kammer, die als Pumpenschacht genutzt wird.

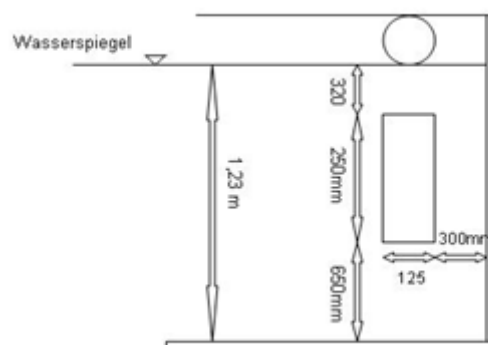


Bild 17 Schema der Subterra Vorklärunge mit Maßen der Durchlassöffnung nach DIN 4261

Die zweite Anlage der Firma IBB Umwelttechnik GmbH besteht ebenfalls aus einer Zweikammer – Absetzgrube mit einem anschließenden Rotationstauchkörpersystem. Die Schlammrückführung wurde für den gesamten Zeitraum der Beprobung ausgestellt. In der zuvor existierenden runden Durchtrittsöffnung wurde ein Tauchrohr eingebaut. Bild 18

Schema und Maße der IBB Vorklärung mit Tauchrohrüberlauf Bild 18 zeigt die Maße mit Einbau des Tauchrohrüberlaufes.

IBB Anlage nach Umbau

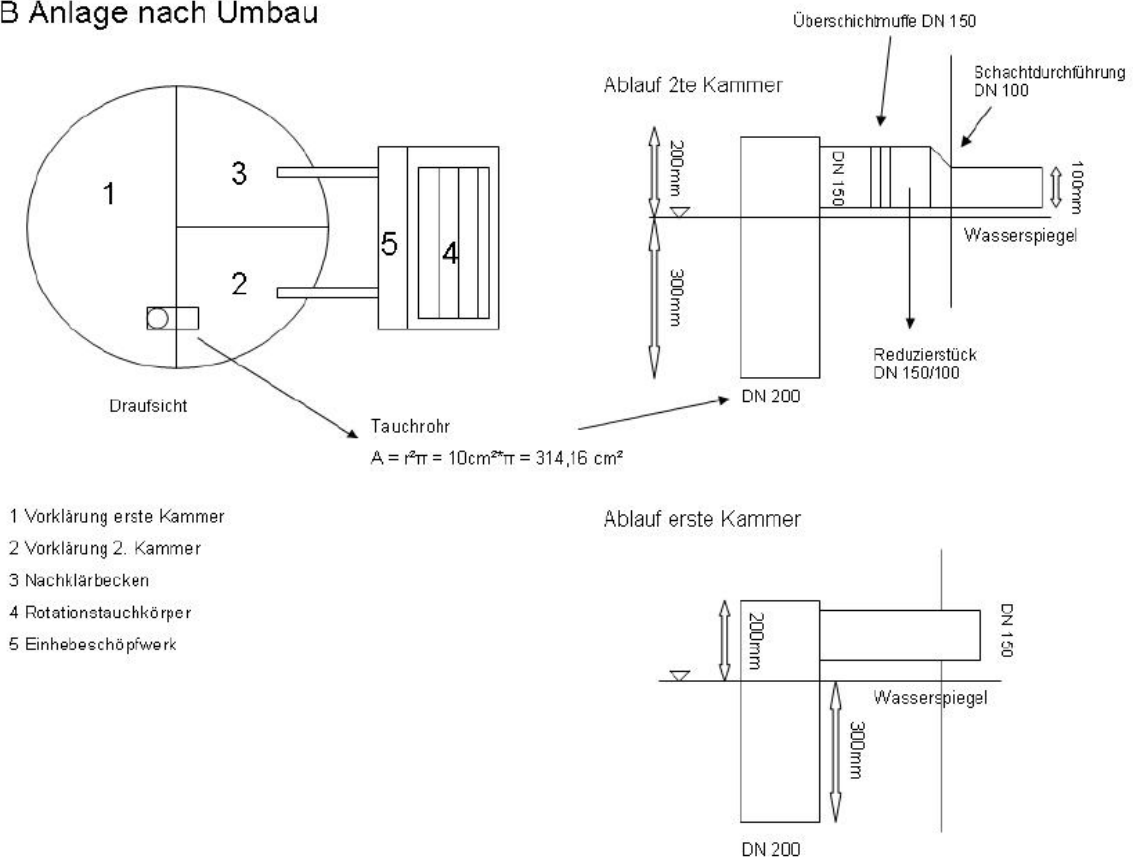


Bild 18 Schema und Maße der IBB Vorklärung mit Tauchrohrüberlauf

4.5. Auswahl des Probenahmeortes und Messunsicherheiten

Um den geeigneten Probenahmeort zu bestimmen, wurden bei den ersten Untersuchungen die Proben vor und nach dem Pumpenschacht analysiert. Es handelt sich um 56 Analysen von 28 Mehrkammerabsetzgruben vom Mai 2010, September und Oktober 2011. Jede Probe wurde jeweils zwei Mal analysiert und ein Mittelwert gebildet.

Die größte Fehlerquelle stellt die Probenahme dar. Hier werden in der Umweltanalytik Indikatoren von 10 – 100 % angegeben. (ZANG, 2007) Bei der Bestimmung des CSB über den Küvettentest wird ein 4%-iger Fehlerindikator im Bereich Probenvorbereitung, -aufbereitung sowie Messung angegeben. Ein zusätzlicher Fehler von minimalen 10 % im Bereich der Probenahme wurde dazu addiert und in Bild 19 als positiver und negativer Fehlerindikator deutlich gemacht. Bei den abfiltrierbaren Stoffen wurde ein Fehlerindikator von 20 % für Probenahme bis zur Messung angenommen, da bekannt ist, dass aufgrund langer Konservierungszeiten, die Werte aufgrund chemischer Reaktionen veränderlich sind. Es wurde angenommen, dass Ausfällungen während der Konservierung und nach Auftauen zu einem spezifisch höheren Analysewert führen. Daher und aufgrund logistischer Einfachheit wurde die Konservierungsmethode des längeren Tiefkühlens akzeptiert. In

Tabelle 7 sind die Werte vor und nach dem Pumpenschacht statistisch ausgewertet (gesamte Daten Anhang II Tabelle 25) Bild 20 zeigt die AFS-Werte der 26 Anlagen inklusive Fehlerindikator von 20 %. Die blauen Punkte stellen die Werte aus der zweiten Kammer dar, die roten Punkte die Werte aus der dritten Kammer. Die angenommenen Fehlerquellen mit ihren Indikatoren sind nachfolgend aufgelistet.

- CSB: 10% für Probenahme und 4% Probenaufbereitung und -analyse
- AFS: 10% für Probenahme und 10% Probenaufbereitung und -analyse

Die Schwierigkeit während der Probenahme bestand darin schwimmschlammfreie Proben zu ziehen. Dies ist aufgrund der schlechten Zugänglichkeit teilweise problematisch und es kann nicht immer gewährleistet werden, dass kein Schwimmschlamm eingetragen wurde.

Tabelle 7 Wertetabelle CSB (mg/l) und AFS (mg/l) vor und nach dem Pumpenschacht inkl. statistischer Daten

Anlagen-Nr. & Stat. Wert	CSB (mg/l) 2te Kammer	CSB (mg/l) 3te Kammer	AFS (mg/l) 2te Kammer	AFS (mg/l) 3te Kammer
Anzahl	26	26	26	26
Min	186	44	5	0
Max	1662	1338	290	320
Mittelwert	601	554	144	157
Medianwert	580	509	135	155
Standardabweichung	311	338	63	82
Varianz	52	61	44	52
85% Perzentil	1531	1275	280	315
99%-Perzentil	776	891	206	228

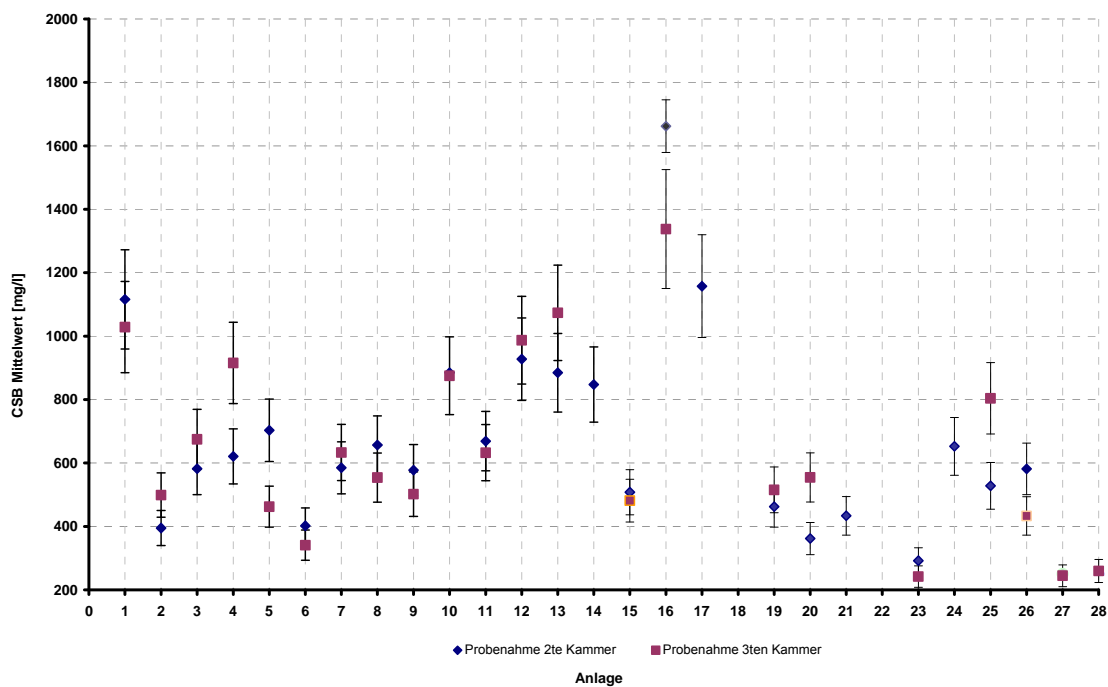


Bild 19 CSB-Mittelwerte in mg/l für 28 Anlagen inkl. 14%-iger Fehlerindikator

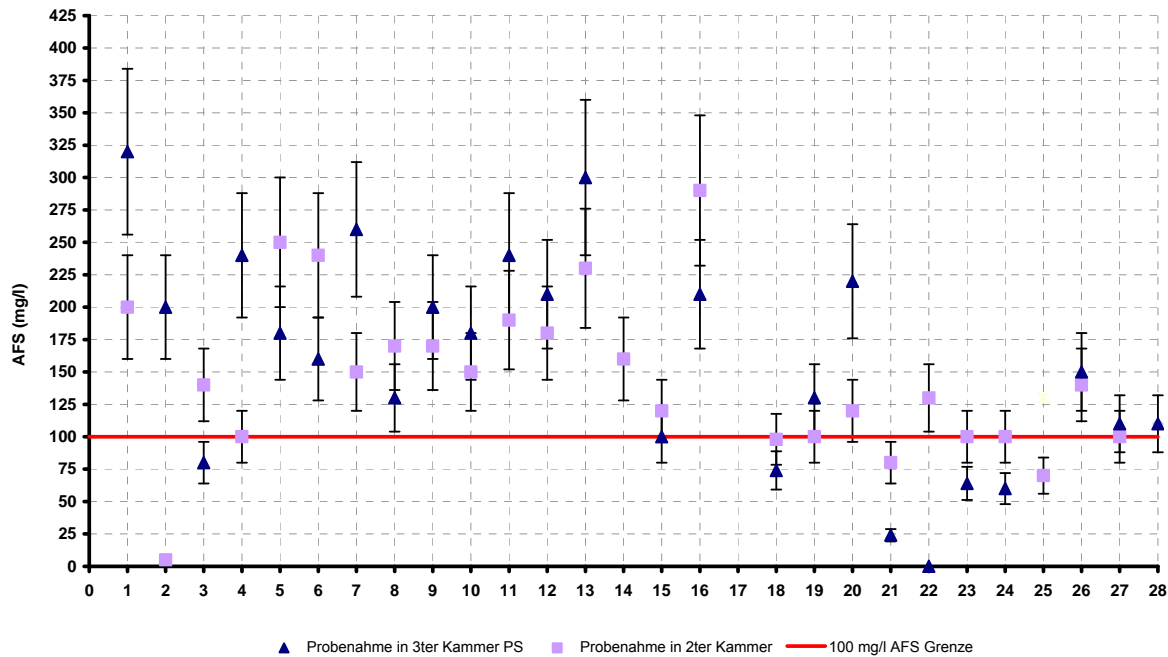


Bild 20 AFS-Mittelwerte in mg/l für 28 Anlagen inkl. 20%-igem Fehlerindikator

Überlappen die Fehlerindikatoren, kann davon ausgegangen werden, dass die Werte aufgrund der systematischen Fehler gleicher Größenordnung sind. Dieses ist bei beiden Parametern bei 57 % der Werte der Fall. Da mit einem angenommenen Fehler gerechnet wurde, kann für beide Parameter geschlossen werden, dass der Ort der Probenahme vor oder nach dem Pumpenschacht unbedeutend ist. Alle weiteren Probenahmen beschränken sich folglich auf den Ort in der Vorklärung, der sich für das Wartungspersonal am unkompliziertesten gestaltet. Nach Rücksprache mit Joachim Krüger PKA GmbH und Mitarbeitern von GKU mbH wurde beschlossen, die Probenahme in der dritten Kammer unmittelbar am Ausgang des Tauchrohres bzw. Schlitzes von der zweiten Kammer durchzuführen.

Bild 21 und Bild 22 zeigen die Regression (Zusammenhang) zwischen 2ter und 3ter Kammer der gemessenen Parameter CSB und AFS an. Die Regressionsfunktion beschreibt die lineare Abhängigkeit der zweiten und dritten Kammer. Bei beiden Parametern besteht eine positive Abhängigkeit. Auf höhere Werte in der zweiten Kammer folgen im Allgemeinen höhere Werte in der dritten Kammer. Das Bestimmtheitsmaß R^2 gibt an wie gut die Regressionsgerade den Zusammenhang wiedergibt. Bei CSB liegt dieser bei 65 %, bei AFS bei lediglich 32 %. D.h. im Falle von AFS liegen 68 % der Werte nicht auf der Regressionsgeraden. Hier herrscht eine große Schwankungsbreite.

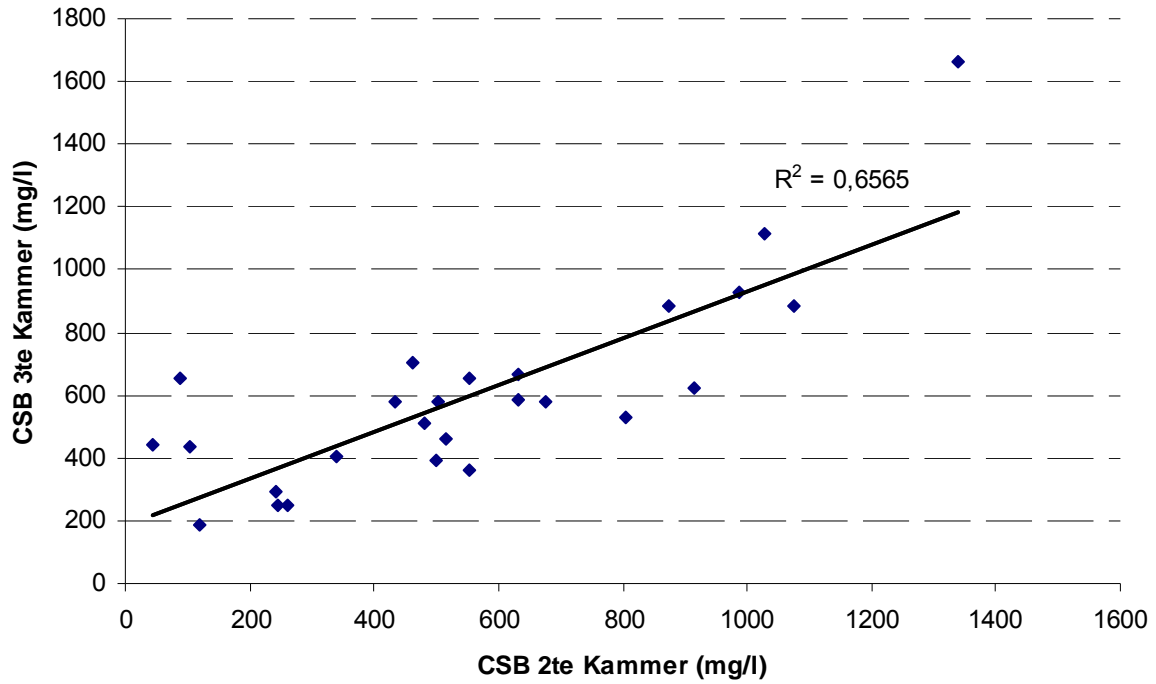


Bild 21 CSB Korrelationsdiagramm zwischen 2ter und 3ter Kammer

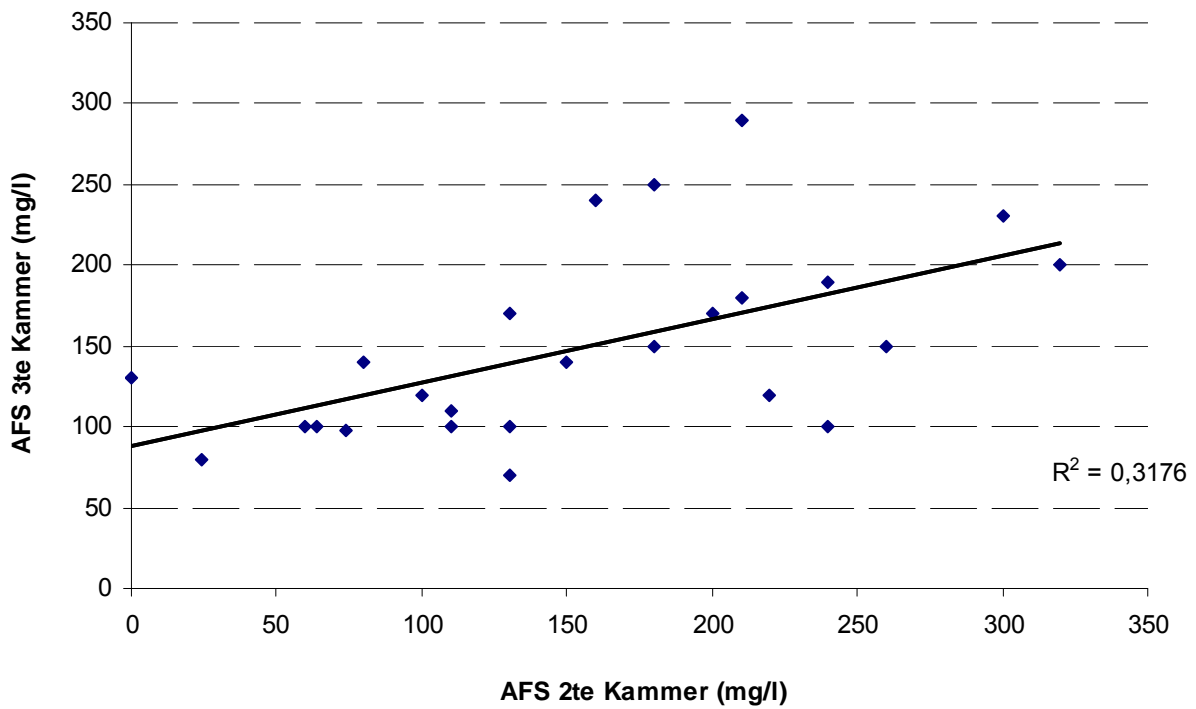


Bild 22 AFS Korrelationsdiagramm zwischen 2ter und 3ter Kammer

5. Ergebnisse und Diskussion

5.1. Praxisanlagen

5.1.1. Nutzvolumen und schlammfreies Volumen

In Anlehnung an die Auswertungen von SCHÜTTE, 2000 und zur Vergleichbarkeit mit dem DWA Arbeitsblatt A 262 wurden die Daten zunächst so aufbereitet, dass die spezifischen Vorklärvolumina in m^3/E bestimmt werden konnten. Die Anzahl der zum Untersuchungszeitpunkt im Haushalt lebenden Personen wurde unterteilt in tägliche Pendler, Wochenpendler und dauerhaft wohnende Personen. Bei der Auswertung schien es am sinnvollsten, die dauerhaft wohnenden Personen und die täglichen Pendler für die Berechnung heranzuziehen, da beide für den Großteil des anfallenden Abwasseranteils aufkommen. Die Wochenpendler, die lediglich am Wochenende Abwasser produzieren, wurden für die Auswertungen nicht beachtet.

Für die Berechnung des schlammfreien Volumens wurden in der ersten und zweiten Kammer Boden- und Schwimmschlamm von der eigentlichen Höhe des Wassers (Wasserspiegelhöhe) abgezogen. In der dritten Kammer wurde kein Schlamm gemessen, da davon ausgegangen wird, dass der Absetzvorgang nach der zweiten Kammer abgeschlossen ist. Es gilt hier, dass das Nutzvolumen gleich dem schlammfreien Volumen ist.

Bild 23 und Bild 24 zeigen die abfiltrierbaren Stoffe im Ablauf der Vorklärung der 150 Werte mit Tauchrohrüberläufen aufgetragen gegen das schlammfreie Volumen pro Einwohner und gegen das Nutzvolumen pro Einwohner.

Für die Mehrkammergruben mit Durchlassöffnungen wurden selbige Diagramme (Bild 25 und Bild 26) erstellt. Insgesamt konnten lediglich 16 vollständige Datenwerte der Anlagen mit Schlitz ausgewertet werden.

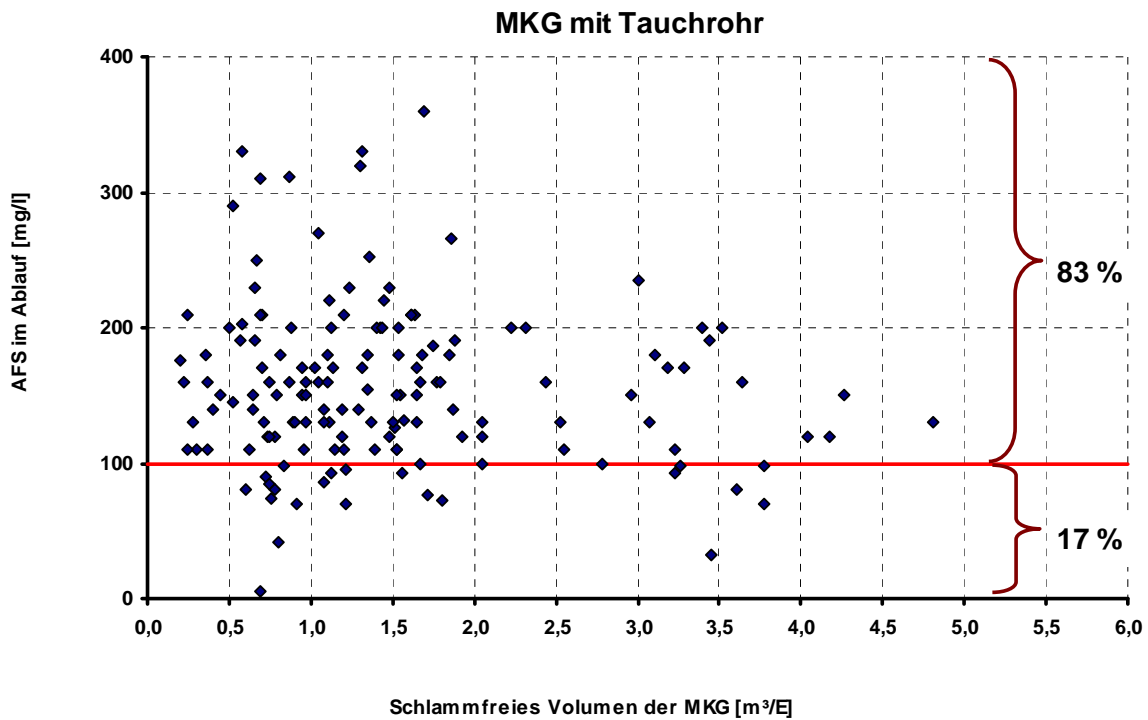


Bild 23 Feststoffkonzentration in mg/l im Ablauf der Vorklärung gegen schlammfreies Volumen der Mehrkammerabsetzgrube in m³/E aus dem Bestand von Joachim Krüger und GKU mbH mit Tauchrohrüberläufen

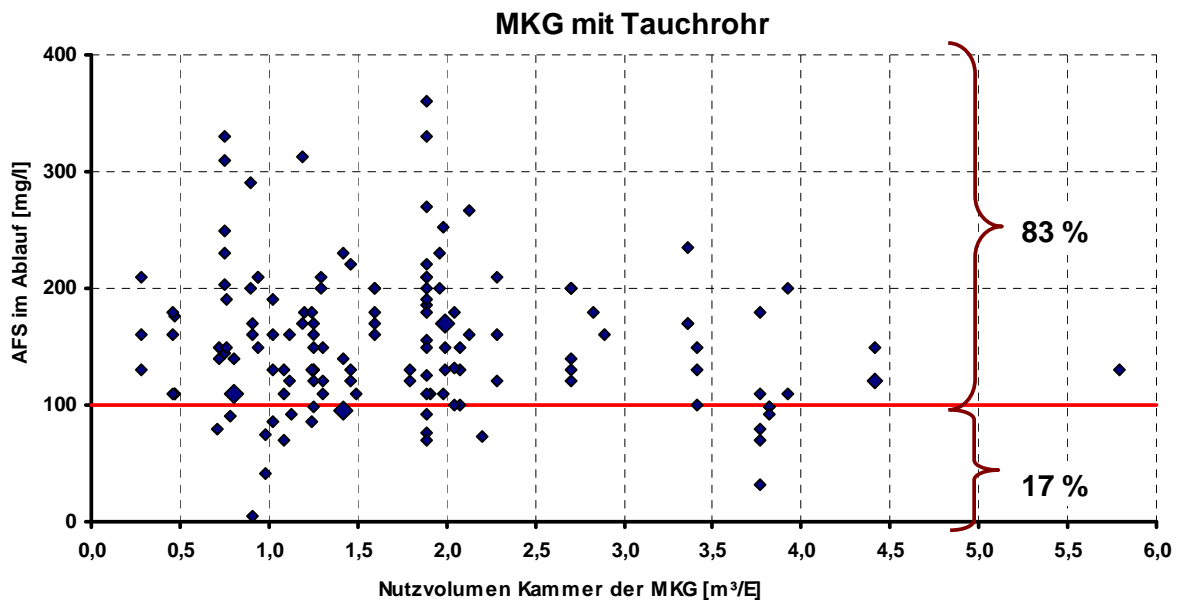


Bild 24 Feststoffkonzentration in mg/l im Ablauf der Vorklärung gegen das Nutzvolumen der Mehrkammerabsetzgrube in m³/E aus dem Bestand von Joachim Krüger und GKU mbH mit Tauchrohrüberläufen

Die Diagramme zeigen eine durchgängige Verteilung im Bereich 0,2 bis 4,8 m³/E schlammfreies Volumen bzw. 0,3 bis 5,8 m³/E Gesamtnutzvolumen. Die dazugehörigen AFS - Ablaufkonzentrationen aus der Mehrkammergrube liegen im Bereich bis 360 mg/l. Die

statistischen Angaben können aus Tabelle 8 entnommen werden (Gesamtdaten in Anhang II Tabelle 26). 85 % der schlammfreien Volumina sind kleiner als 2,3 m³/E und kleiner als 210 mg AFS/l. Die Unterschreitungshäufigkeit der AFS-Grenze nach der Vorklärung von 100 mg/l kann mit 17 % als sehr gering eingestuft werden. 150 mg/l AFS werden zu 53 % unterschritten. Ein Wirkungsgrad der Praxisanlagen kann nicht bestimmt werden, da die Zulaufkonzentrationen nicht realistisch ermittelbar sind.

Tabelle 8 Statistische Auswertung der Mehrkammergruben mit Tauchrohrüberlauf aus dem Bestand von Joachim Krüger PKA und GKU mbH

Statistische Werte	CSB (mg/l)	AFS (mg/l)	spez. Nutzvolumen (m ³ /E)	spezif. schlammfreies Volumen (m ³ /E)	spezif. Verbrauch (l/E·d)
Anzahl	150	150	150	150	150
Mittelwert	619	156	1,8	1,4	106
Minimum	47	5	0,3	0,2	21
Maximum	4828	360	5,8	4,8	317
Standardabweichung	471	60	1,0	0,9	60
Varianz	76	38	58,4	65,2	57
85%-Wert	889	210	2,7	2,3	159
99%-Wert	1708	330	4,4	4,2	317
Median	550	150	1,6	1,2	91

Tabelle 9 gibt die statistischen Daten der Mehrkammergrube mit Durchlassöffnung wieder (gesamte Daten in Anhang II Tabelle 26). Das schlammfreie Volumen liegt zwischen 0,5 und 3,1 m³/E, das Gesamtnutzvolumen zwischen 0,6 und 4,2 m³/E. Die AFS - Ablaufkonzentrationen betragen im Mittel 170 mg AFS/l. 85 % der Werte unterschreiten 220 mg AFS/l. Dies ähnelt den Ablaufwerten mit Tauchrohrüberlauf. Hier lässt sich demnach kein Unterschied zwischen Tauchrohr- und Durchlassöffnung erkennen. Beachtet werden muss jedoch die geringe Untersuchungsanzahl der Mehrkammergrube mit Schlitz gegenüber derer mit Tauchrohr. Die Unterschreitungshäufigkeit der AFS Konzentrationen unter 100 mg/l liegt bei 13 %, die unter 150 mg/l bei 44 %.

Tabelle 9 Statistische Auswertung der Mehrkammergruben mit Durchlassöffnungen aus dem Bestand von Joachim Krüger PKA und GKU mbH

Statistische Werte	CSB (mg/l)	AFS (mg/l)	spez. Nutzvolumen (m ³ /E)	spezif. schlammfreies Volumen (m ³ /E)	spezif. Verbrauch (l/E·d)
Anzahl	16	16	16	16	16
Mittelwert	512	170	1,9	1,5	95
Minimum	27	8	0,6	0,5	38
Maximum	927	380	4,2	3,1	163
Standardabweichung	266	81	1,2	0,9	31
Varianz	52	48	63,7	56,8	33
85%-Wert	823	220	3,4	2,7	125
99%-Wert	923	370	4,2	3,1	158
Median	558	170	1,5	1,3	99

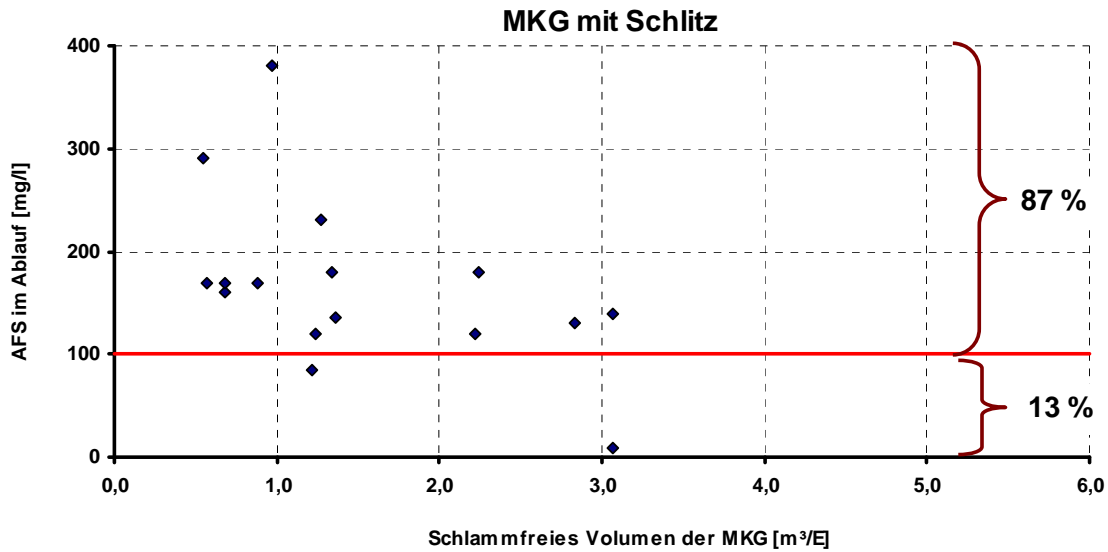


Bild 25 Feststoffkonzentration in mg/L im Ablauf der Vorklärung gegen schlammfreies Volumen der Mehrkammerabsetzgrube in m³/E aus dem Bestand von Joachim Krüger und GKU mbH mit Durchlassöffnung

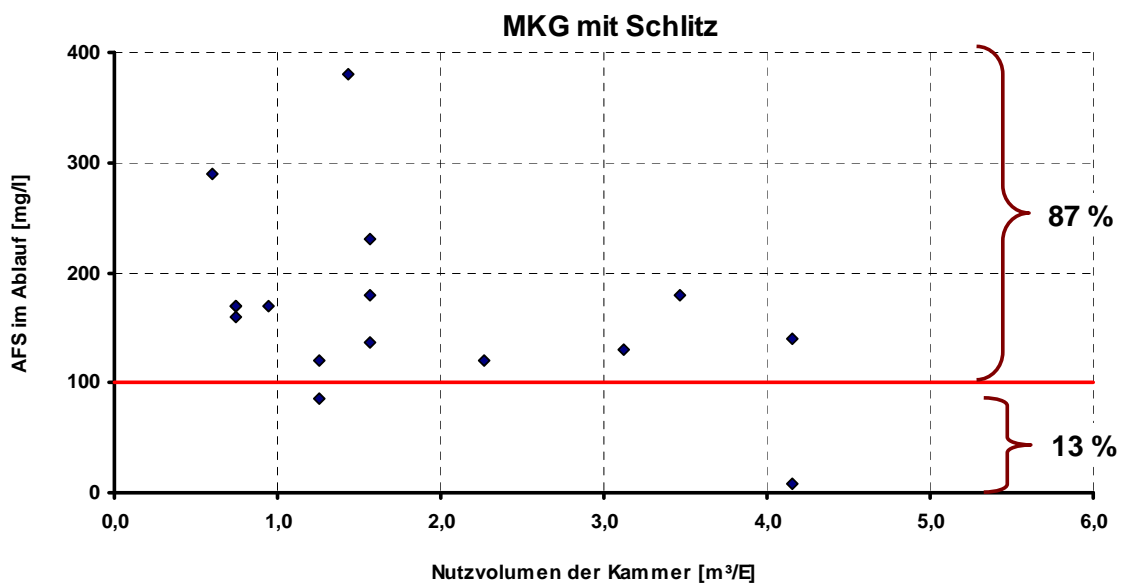


Bild 26 Feststoffkonzentration in mg/L im Ablauf der Vorklärung gegen das Nutzvolumen der Mehrkammerabsetzgrube in m³/E aus dem Bestand von Joachim Krüger und GKU mbH mit Durchlassöffnung

Um eine sichere Aussage über eine eventuelle Tendenz zu treffen, werden lediglich die beiden Bild 23 und Bild 24 zugrunde gelegt, da diese auf einer hohen Anzahl von Daten basieren. Im Bereich von 0,5 bis 2,0 m³/E schlammfreien Volumens lässt sich keine Tendenz erkennen. Eher verhalten sich die Ablaufkonzentrationen in diesem Bereich konstant. Man kann hier keine Aussage über einen verbesserten Feststoffrückhalt bei größer zur Verfügung stehenden Vorklärvolumina treffen.

Im Folgenden soll Tabelle 10 mit der Einteilung in verschiedene Bereiche des schlammfreien Volumens genutzt werden, um einen Überblick über die Unterschreitungshäufigkeit innerhalb der gewählten Bereiche zu geben.

Tabelle 10 Vergleich Unterschreitungshäufigkeit unter 100 mg AFS/l und 150 mg AFS/l bei verschiedenen schlammfreien Volumina für die Mehrkammergruben mit Tauchrohren

Schlammfreies Volumen (m ³ /E)	Anzahl insgesamt	Anteil an der Gesamtmenge	UH ^a 100 mg/l	UH ^a 150 mg/l
< 0,5	14	9 %	0,7 %	5,3 %
0,5 – 1,0	42	28 %	3,3 %	16 %
1,0 – 1,5	37	25 %	4,7%	10 %
>1,5	57	38 %	7,3 %	21,3 %

^aUH = Unterschreitungshäufigkeit

Wie zu erwarten war, findet eine Erhöhung der Unterschreitungshäufigkeit bei 150 mg AFS/l gegenüber der 100 mg AFS/l – Grenze statt. Bei der kleinsten Einteilung bei < 0,5 m³/E halten 5,3 % gegenüber 0,7 % der Anlagen die Grenze ein. Dies gibt einen Hinweis darauf, dass ein schlammfreies Volumen kleiner 0,5 m³/E eher vermieden werden sollte. Eine erhöhte Unterschreitungshäufigkeit bei 100 mg AFS/l und bei 150 mg AFS/l findet ab 0,5 m³/E statt. Der Arbeitsbereich kann demnach zwischen 0,5 bis 1,5 m³/E liegen.

Um einzuschätzen inwieweit der Schlamm Spiegel einen Einfluss auf die Ablaufqualität hat, wurde im Bild 27 der Bodenschlamm gegen die AFS Ablaufkonzentration nach der Vorklärung aufgetragen. Es zeigen sich inhomogene Schlamm Spiegelhöhen von Null bis 120 cm (Kammer mit Schlamm ausgefüllt) bis zu einer Ablaufkonzentration von 400 mg AFS/l. In der ersten Kammer lässt sich bei großen Schlamm Spiegelhöhen ab 55 cm ein Einfluss auf die Ablaufqualität erkennen. Dies gilt aber nicht pauschal für alle Daten. Eher ist ein diffuser Bereich bei Schlamm Spiegelhöhen von Null bis 60 cm (halbvolle Kammer) bis 400 mg AFS/l Ablauf zu erkennen. Ein zusätzliches Bild 28 verdeutlicht ebenso, dass der Füllstand der Vorklärung mit Schlamm keinen Einfluss auf die AFS – Ablaufkonzentration hat.

Die gesamten Schlamm Spiegelhöhen können in Anhang II Tabelle 26 eingesehen werden.

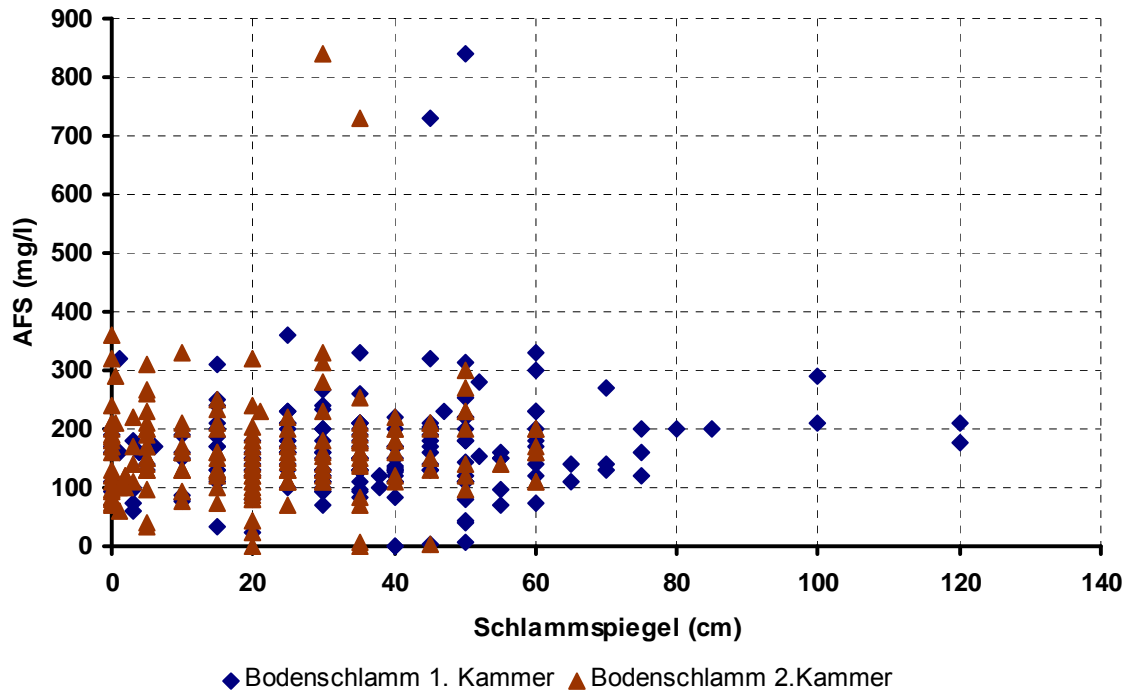


Bild 27 AFS Ablaufkonzentration nach der Vorklärung im Vergleich zum Bodenschlamm aus der ersten und zweiten Kammer

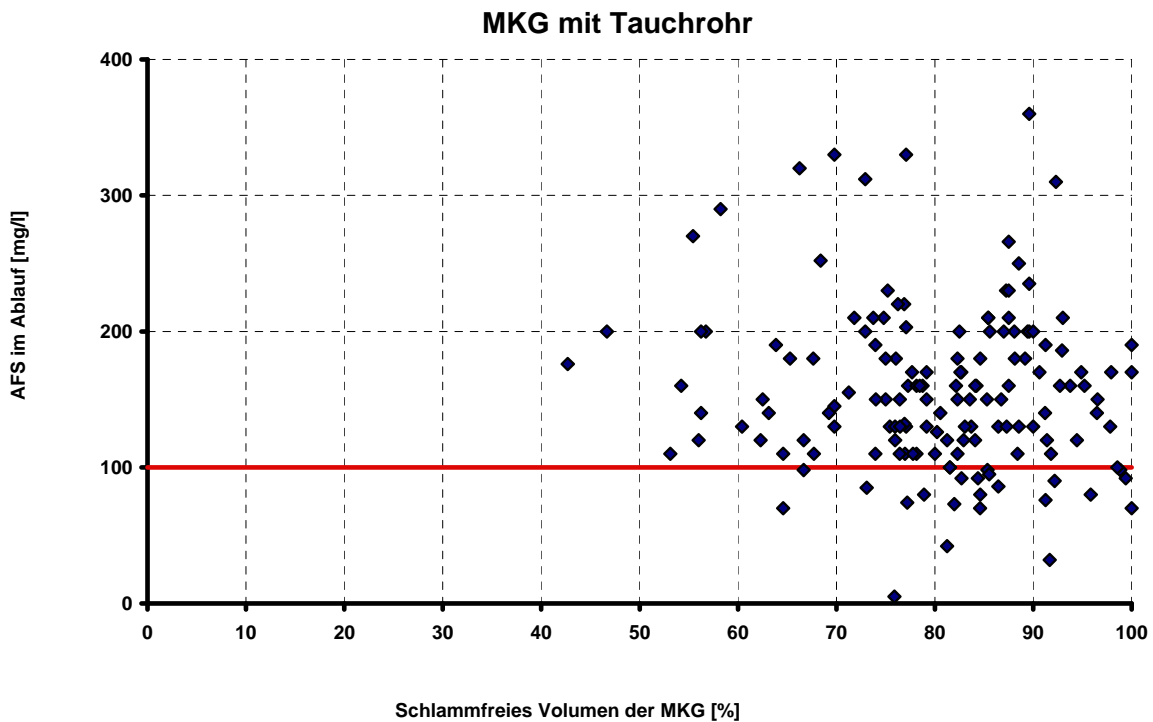


Bild 28 AFS Ablaufkonzentration zur prozentualen Füllung der VK mit Schlamm bei den Anlagen mit Tauchrohr

Nach DWA-A 262 müssten bei 87 % bzw. 83 % der Anlagen mit Tauchrohrüberlauf und Schlitz das Vorklärvolumen erhöht werden bzw. die Schlammabfuhrintervalle verringert

werden. Dies würde bedeuten, dass es bei andauernder gleicher Betriebsführung unweigerlich zur Kolmation hätte kommen müssen. Keine der Anlagen zeigt Kolmationserscheinungen. Wie in 3.6 erwähnt kann eine Kolmation bei schlechtem Betrieb erst nach fünf Jahren in Erscheinung treten. Bild 29 zeigt die Altersverteilung der Praxisanlagen aus dem Bestand von Joachim Krüger PKA GmbH mit der Unterteilung der Anlagen, die jünger als fünf Jahre alt sind, die zwischen 5 und 10 Jahren alt sind und die älter als 10 Jahre alt sind. Dabei wurde das Alter der bepflanzten Bodenfilter ausgewertet und nicht das Alter der Mehrkammergruben.

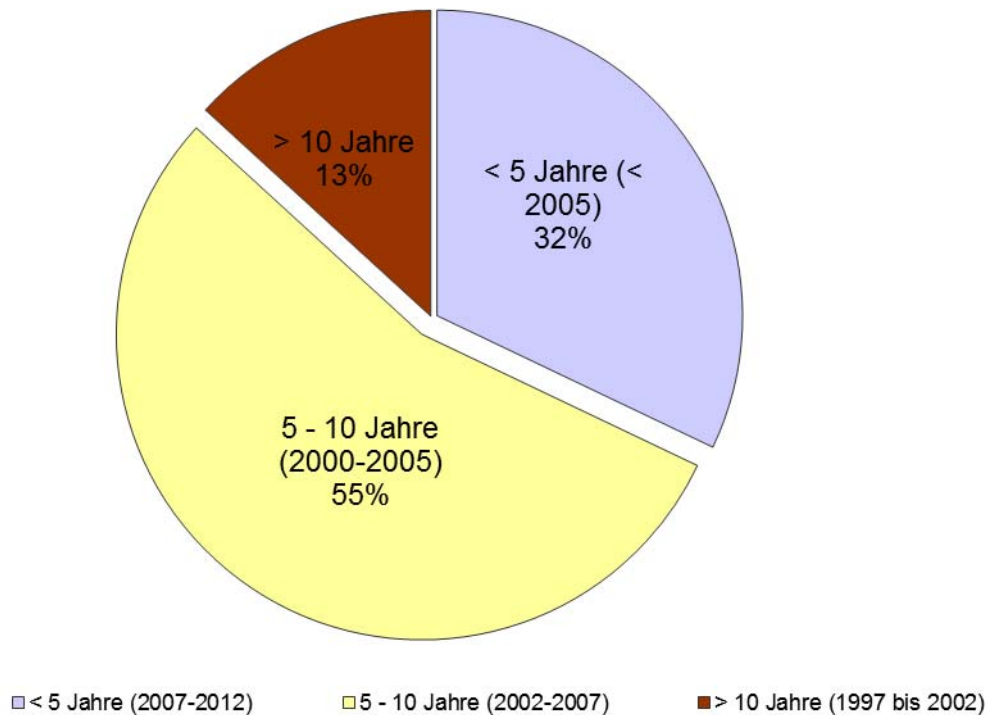


Bild 29 Altersverteilung der Praxisanlagen aus dem Bestand von Joachim Krüger PKA GmbH (< 5Jahre, 5 – 10 Jahre, > 10 Jahre)

Der größte Anteil der Anlagen weist ein Alter von 5 bis 10 Jahren auf. Hier liegt der Anteil bei 55 %. 13 % sind älter als 10 Jahre und 32 % der Anlagen wurden vor maximal fünf Jahren erbaut (Bezugsjahr 2010). Es wird deutlich, dass 68 % der Anlagen älter als fünf Jahre sind und bis Ende des Untersuchungszeitraumes keine Kolmationserscheinungen bei den gegebenen Betriebsbedingungen und Volumina aufgetreten sind. Die Kolmation wurde durch das Betriebspersonal untersucht. Dazu wurden leichte Grabungen vorgenommen um eventuelle dunkle Verfärbungen im Boden zu erkennen bzw. Sichtkontrollen bzgl. Pfützenbildung auf dem bepflanzten Bodenfilter vorgenommen. Lediglich bei den Anlagen, die jünger als fünf Jahre alt sind, kann es theoretisch noch zu dauerhaften Kolmationserscheinungen kommen.

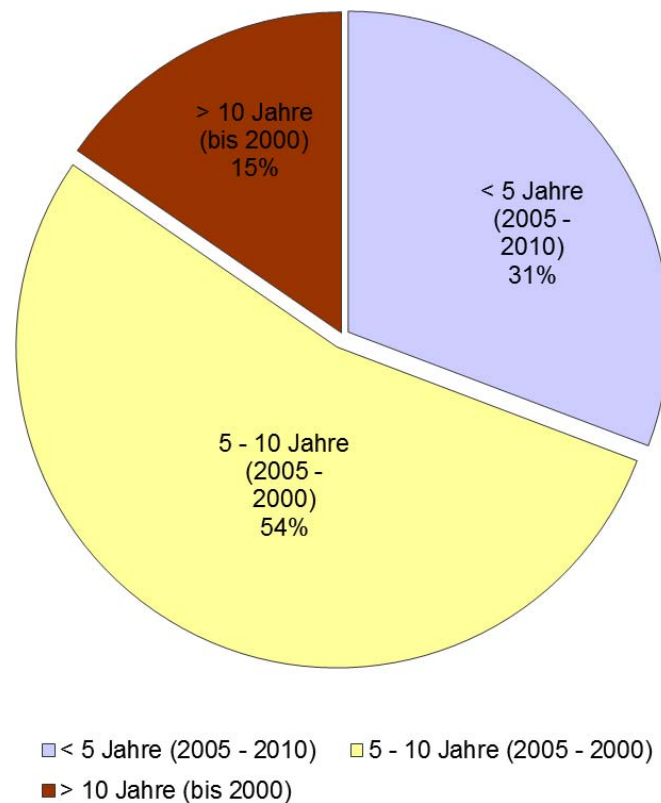


Bild 30 Altersverteilung der Mehrkammergrube mit Tauchrohr und Durchlassöffnung mit Einhaltung der 100 mg AFS/l (< 5 Jahre, 5 – 10 Jahre, > 10 Jahre)

Bild 30 zeigt die Altersverteilung der Anlagen, die die 100 mg/l abfiltrierbare Stoffe im Ablauf der Mehrkammergrube eingehalten haben. 31 % der Anlagen, die die 100 mg/l einhalten sind jünger als fünf Jahre, 15 % sind älter als 10 Jahre und der Großteil der Anlagen liegt mit 54 % im Bereich von 5 bis 10 Jahren. Es kann angenommen werden, dass der Großteil (hier 69 %) der Anlagen, die die 100 mg/l Feststoffkonzentration eingehalten haben älter als fünf Jahre sind und ein kleineres spezifisches Vorklärvolumen hatten als nach DWA-A 262, da das Arbeitsblatt erst ab 2006 galt.

5.1.2. Flächenbelastung

Das Arbeitsblatt DWA-A 262 gibt für die Bemessung von bepflanzten Bodenfiltern die CSB-Flächenbelastung an. Für vertikal bepflanzten Bodenfilter muss eine Flächenbelastung von 27g CSB/(m².d) für die beschickte Fläche und 20 g CSB/(m².d) für die Gesamtbeetfläche eingehalten werden. Die Flächenbelastung berücksichtigt gegenüber der Konzentration mehrere Parameter. Dazu gehören die angeschlossene Fläche, die Ablaufkonzentration sowie den Abwasservolumenstrom. In Tabelle 11 sind alle statistischen Daten zur Ermittlung

der Flächenbelastung dargestellt (Gesamttabelle in Anhang II Tabelle 27).

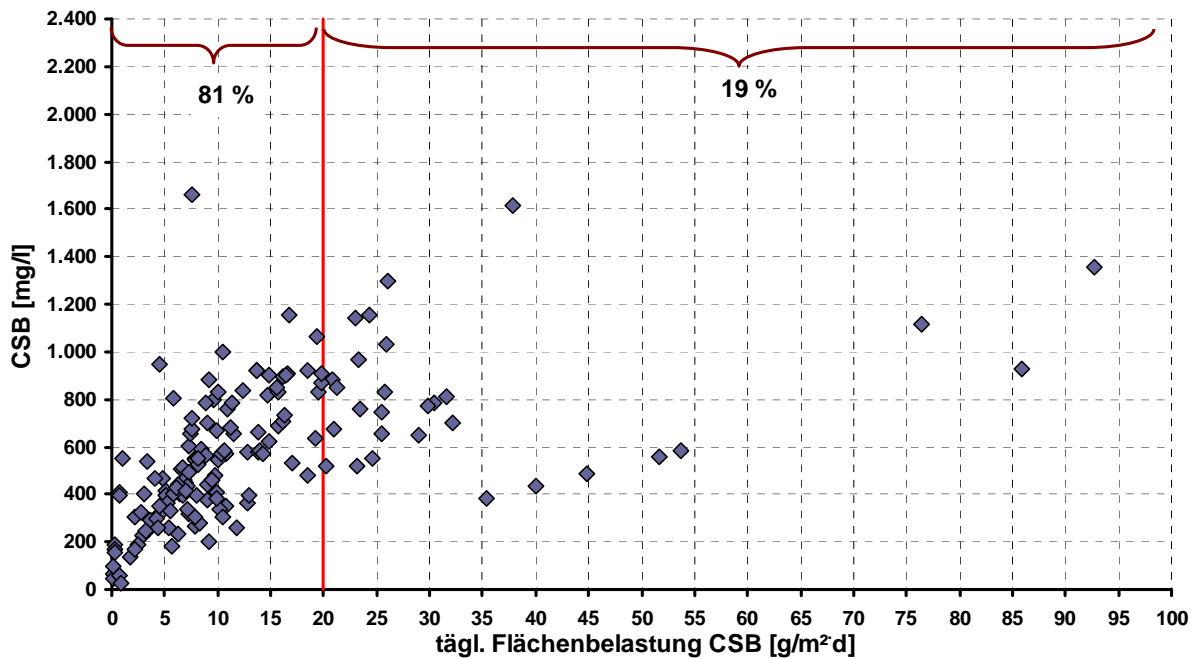


Bild 31 und

Bild 32 zeigen die Ablaufkonzentrationen CSB und AFS in mg/l aufgetragen gegen die Flächenbelastung in g/m²·d. 79 % der Anlagen halten die empfohlene Flächenbelastung von 5 g AFS/(m²·d) ein und ebenso 81 % die geforderten 20 g CSB/(m²·d). Es kann geschlussfolgert werden, dass nach der Flächenbelastung bei rund 80 % der Anlagen keine Kolmation zu befürchten ist.

Tabelle 11 Statistische Darstellung der relevanten Daten zur Berechnung der Flächenbelastung für die Parameter AFS und CSB (Schlitz und Tauchrohr)

statistischer Wert	CSB (mg/l)	AFS (mg/l)	Beetfläche (m ²)	spez. Verbrauch (l/E·d)	CSB Flächenbelastung (g/m ² ·d)	AFS Flächenbelastung (g/m ² ·d)
Anzahl	156	156	156	156	156	156
Maximum	4828	360	120	317	118,9	22,6
Minimum	27	5	12	21	0,1	0,1
Mittelwert	612	157	18	106	15,0	3,7
Medianwert	549	150	16	100	9,9	2,9
Standardabweichung	456	61	15	54	18	3
Varianz	75	39	83	51	118	90
85% Perzentil	894	210	24	154	23,4	5,9
99% Perzentil	1696	330	120	317	96,7	16,0

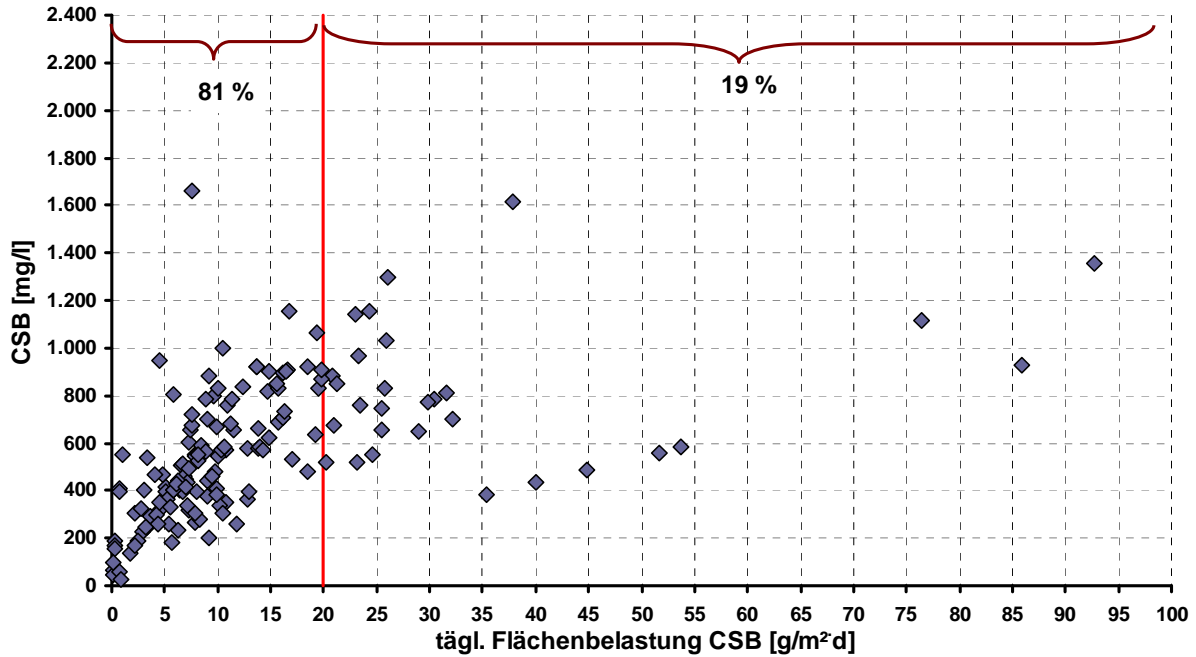


Bild 31 CSB Flächenbelastung der Praxisanlagen mit Schlitz und Tauchrohr mit den dazugehörigen CSB -Ablaufkonzentrationen in mg/l

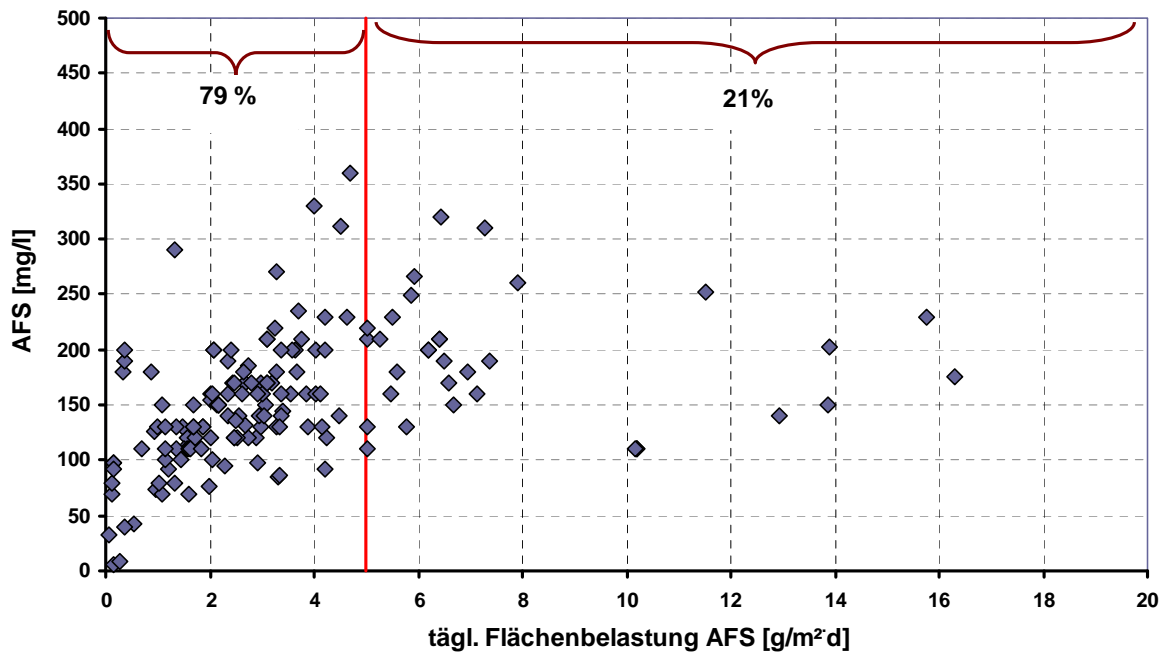


Bild 32 AFS Flächenbelastung der Praxisanlagen mit Schlitz und mit Tauchrohr mit den dazugehörigen AFS – Ablaufkonzentrationen in mg/l

5.1.3. Auslastung der Vorklärungen

Um einen Überblick über die Auslastung zu bekommen und dies in Bezug zu den täglichen Flächenbelastungen und schlammfreien Volumen zu bringen, wurde von allen 53 untersuchten Anlagen der Bemessungseinwohnerwert mit dem Ist-Zustand während der drei

Untersuchungstermine verglichen. Die Auslastung charakterisiert das Verhältnis von IST - Einwohner zum ursprünglichen Bemessungseinwohner und ist Bild 33. dargestellt. 79 – 83% der Anlagen waren zum Zeitpunkt der Untersuchung unterlastet, 10 – 11% waren überlastet. Der Bereich der Auslastung ergibt sich durch die drei Untersuchungstermine und ihre spezifischen Auslastungen. Diese sind in Tabelle 12 zu sehen.

Tabelle 12 Prozentuale Auslastung der Praxisanlagen unterteilt in die drei Termine

Unterlast	
1. Termin	79,2 %
2. Termin	82,7 %
3. Termin	82,4 %
Überlast	
1. Termin	11,3 %
2. Termin	9,6 %
3. Termin	11,8 %
100%	
1. Termin	9,4 %
2. Termin	7,7 %
3. Termin	5,9 %

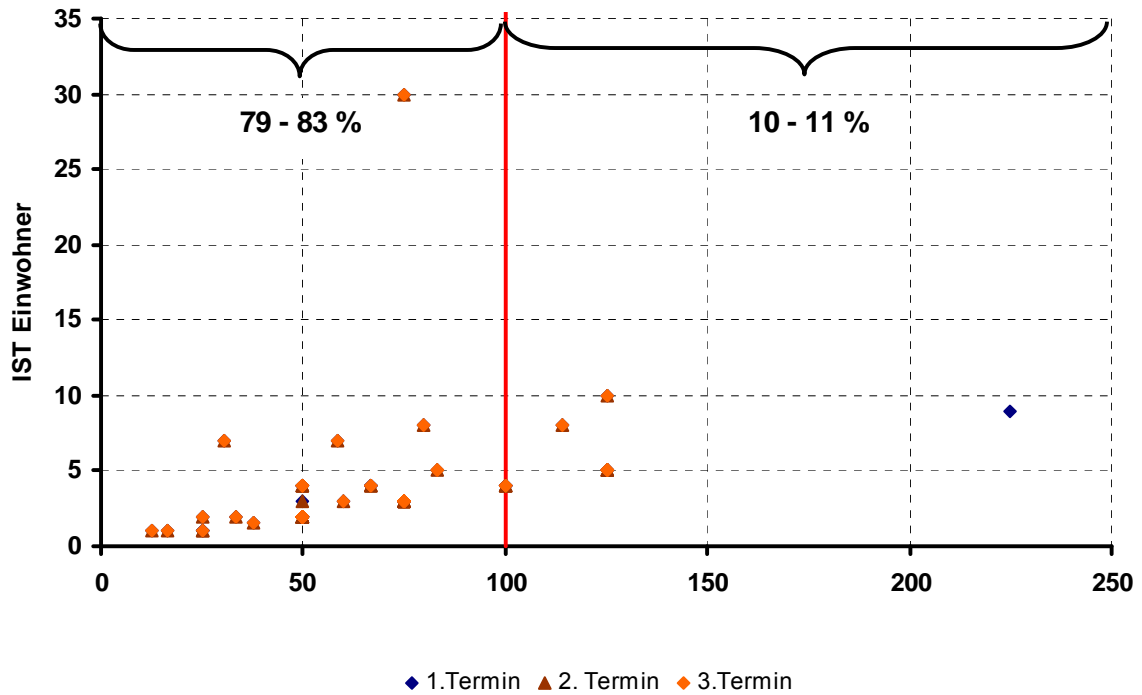


Bild 33 Auslastung der Praxisanlagen mit Über- und Unterlast

Als AFS-Flächenbelastung wurde der Mittelwert der drei Untersuchungen genommen. Gleiches gilt für das schlammfreie Volumen.

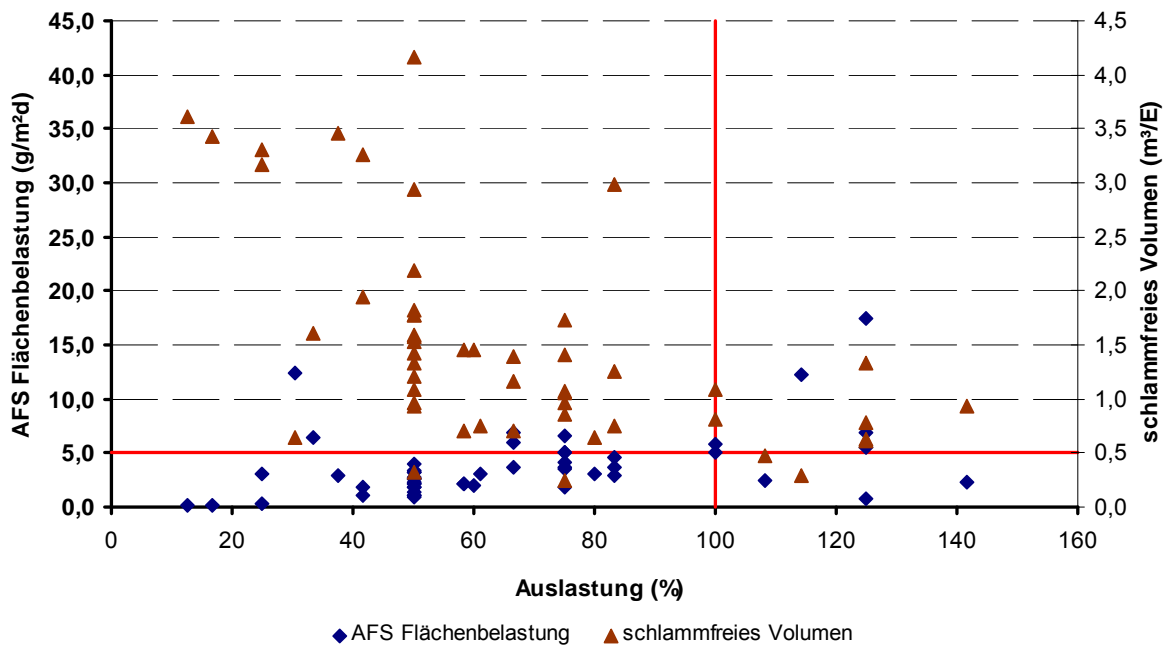


Bild 34 AFS-Flächenbelastung und schlammfreies Volumen im Vergleich zur Auslastung der 53 untersuchten Anlagen als Mittelwert der drei Untersuchungen einer Anlage

Bei Überlast werden Flächenbelastungen von 0,8 bis 17,4 g AFS/m²d erreicht. Bei Unterlast liegt die AFS-Flächenbelastung zwischen 0,1 und 12,2 g AFS/m²d. Das schlammfreie Volumen (m³/E) liegt bei hydraulischer Unterlast zwischen 0,25 m³/E und 4,2 m³/E. Bei Überlastung werden geringere schlammfreie Volumen von 0,28 – 1,35 m³/E erreicht.

Bei Auslastung wird die 5 g AFS/(m²d), die nach GOETZ & WINTER, 2002 als einzuhalten gilt, erreicht. Weiterhin zeigt das Bild 34 bei 100 % Auslastung ein schlammfreies Volumen von 0,9 bis 1,1 m³/E. Diese Werte eignen sich demnach als Bemessungswert für bepflanzte Bodenfilter.

Bild 35 zeigt zusätzlich die AFS – Ablaufkonzentrationen bei entsprechender Auslastung. Es zeigt sich keine Abhängigkeit der Feststoffkonzentrationen von der Auslastung.

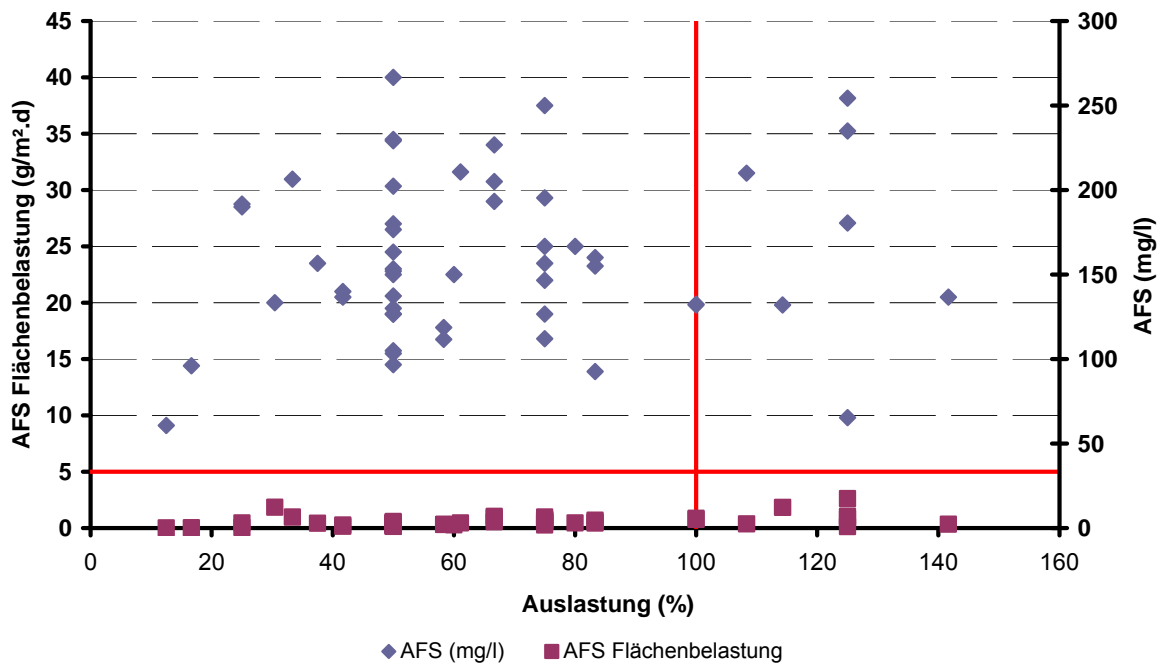


Bild 35 AFS Ablaufwerte bei entsprechender Auslastung

5.1.4. Einfluss Aufenthaltszeit des Abwassers in der Mehrkammergrube auf die Ablaufqualität

Um eine Aussage über den Einfluss der Aufenthaltszeit auf die Ablaufqualität zu treffen, sind in Bild 36 diese Parameter für die erste Kammer der Vorklärung dargestellt. Im Großen und Ganzen kann bestätigt werden, dass mit zunehmender Aufenthaltszeit eine bessere Ablaufqualität erreicht werden kann. Diese Aufenthaltszeiten mit sehr geringen Ablaufwerten liegen aber bei überdurchschnittlichen Werten im Bereich bis 120 Tagen. Im Bereich bis 40 Tage Aufenthaltszeit, sind die Ablaufwerte für CSB und AFS homogen verteilt und eine genaue Aussage zur erhöhten Reinigung bei größeren Verweildauern, lässt sich nicht tätigen.

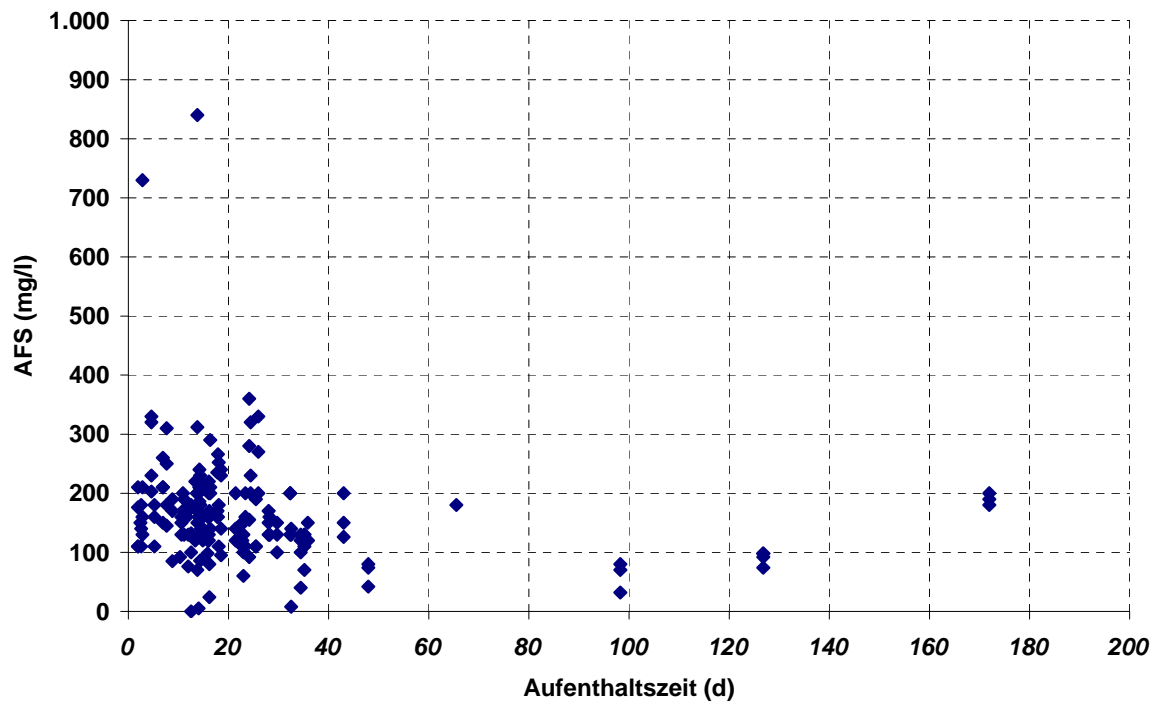
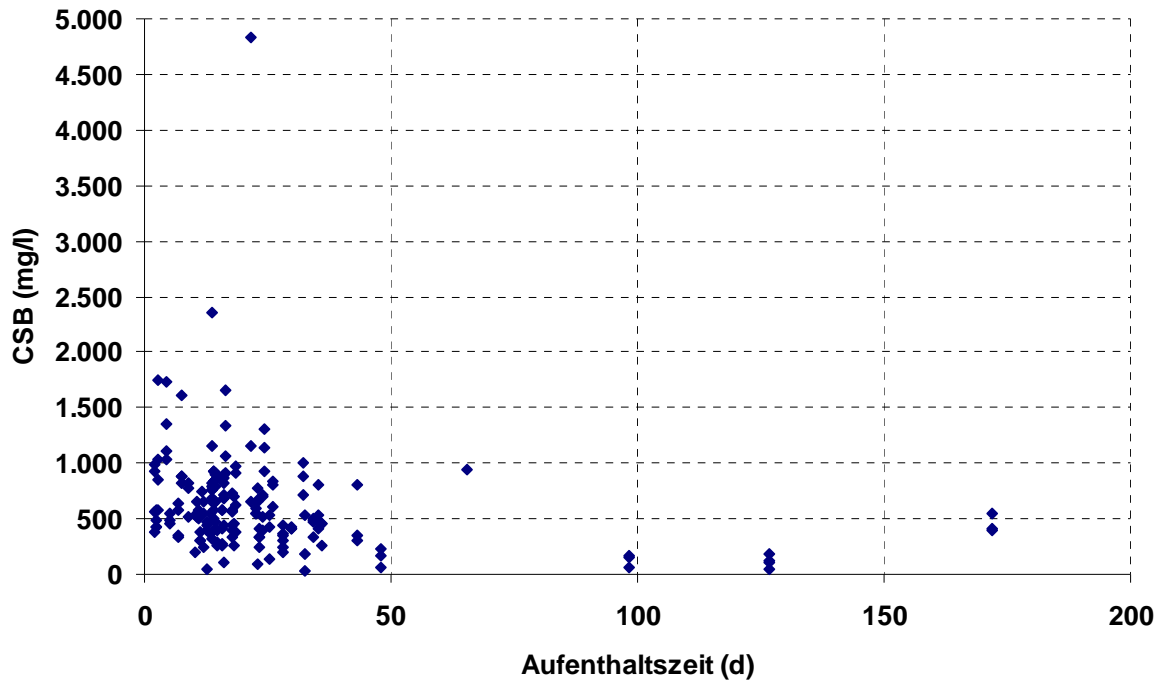


Bild 36 Vergleich der CSB und AFS Ablaufkonzentrationen in der ersten Kammer zur Aufenthaltszeit in der Vorklärung

5.2. Gezielte Untersuchungen auf dem Demonstrationsfeld Altentreptow

5.2.1. Wirkungsgrad bei verschiedenen Beschickungen

Im Folgenden werden die Ergebnisse geordnet nach aufsteigendem spezifischem Nutzvolumen (m^3/E) inklusive einer statistischen Auswertung dargestellt. In Tabelle 13 sind die statistischen Daten mit $0,375 \text{ m}^3/\text{E}$ Beschickung bezogen auf $150 \text{ l}/\text{E}\cdot\text{d}$ Trinkwasserverbrauch bzw. $0,383 \text{ m}^3/\text{E}$ bezogen auf $120 \text{ g}/\text{E}\cdot\text{d}$ zu sehen (Gesamtdaten in Anhang II Tabelle 28). Nach zehn Wertepaaren wurde die Messreihe abgebrochen, da die Ablaufwerte die Bedingungen nicht erfüllten. Beide Anlagen zeigen einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 59 bzw. 62 % im Bereich CSB sowie von 60 bzw. 65 % im Bereich AFS.

Tabelle 13 Ergebnisse Messprogramm mit $0,375 \text{ m}^3/\text{E}_{150/\text{E}\cdot\text{d}}$; $0,383 \text{ m}^3/\text{E}_{120\text{gCSB}/\text{E}\cdot\text{d}}$ Beschickung Demonstrationsfeld Altentreptow

Datum	Phase 2	Zulauf		Ablauf mit Durchlassöffnung				Ablauf mit Tauchrohr			
		CSB (mg/L)	AFS (mg/L)	CSB (mg/L)	ETA (%)	AFS (mg/L)	ETA (%)	CSB (mg/L)	ETA (%)	AFS (mg/L)	ETA (%)
Anzahl		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Mittelwert		783	391	304	59	132	60	281	62	128	65
Minimum		528	210	240	50	100	33	201	30	84	55
Maximum		1536	830	391	75	160	83	483	81	220	77
Standardabweichung		281	189	56	6	20	14	75	12	41	7
Varianz		36	48	18	10	15	24	27	20	32	11
85%-Wert		881	570	366	62	153	77	301	68	163	74
99%-Wert		1477	814	390	73	160	83	466	80	216	77
Median		685	316	302	59	140	57	267	62	115	64

Während der Messreihe mit $0,5 \text{ m}^3/\text{E}$ konnte die volle Funktionsfähigkeit der Probenehmer nicht gewährleistet werden. Zusätzliche Probleme mit der Beschickungsberechnung führten dazu, dass in dieser Messreihe mit $0,5$ und $0,56 \text{ m}^3/\text{E}$ ($0,433 \text{ m}^3/\text{E}$ bezogen auf $120 \text{ g}/(\text{E}\cdot\text{d})$) beschickt wurde. Die Werte werden hier aber gemeinsam dargestellt und sind in Tabelle 14 ersichtlich (Gesamtdaten in Anhang II Tabelle 29). Der Wirkungsgrad der Mehrkammergrube mit T- Stück ist im Mittel mit 65 % für CSB und 65 % für AFS etwas erhöht gegenüber der Anlage mit Durchlassöffnung. Diese erreicht für CSB einen Mittelwert von 50 % und für AFS 60 %.

Tabelle 14 Messreihe mit einer Beschickung von $0,5 \text{ m}^3/\text{E}_{150/\text{E}\cdot\text{d}}$; $0,433 \text{ m}^3/\text{E}_{120\text{gCSB}/\text{E}\cdot\text{d}}$ auf dem Demonstrationsfeld Altentreptow

Datum	Phase 1	Zulauf		Ablauf MKG mit Schlitz				Ablauf IBB mit T-Stück			
		CSB (mg/L)	AFS (mg/L)	CSB (mg/L)	ETA (%)	AFS (mg/L)	ETA (%)	CSB (mg/L)	ETA (%)	AFS (mg/L)	ETA (%)
Anzahl		25	25	24	24	24	24	21	20	21	21
Mittelwert		929	401	363	50	119	60	337	65	120	68
Minimum		317	75	221	-23	1	-7	107	46	1	20
Maximum		2391	1080	499	87	300	100	639	84	380	100
Standardabweichung		451	231	90	26	67	30	149	12	74	19
Varianz		49	58	25	51	56	50	44	18	62	28
85%-Wert		1277	572	463	79	171	88	472	79	170	87
99%-Wert		2198	1025	499	86	284	100	610	84	342	99
Median		900	370	358	51	120	65	389	64	110	67

Für die Messreihe mit $0,75 \text{ m}^3/\text{E}_{150/\text{E}\cdot\text{d}}$; $0,70 \text{ m}^3/\text{E}_{120\text{gCSB}/\text{E}\cdot\text{d}}$ existieren insgesamt nur sechs Wertepaare und sind in Tabelle 15 dargestellt (Gesamtdaten in Anhang II Tabelle 29). Der

Wirkungsgrad für CSB liegt für die Mehrkammergruben mit Durchlassöffnung bei 55 % und für AFS bei 61 %. Ähnliche Ergebnisse konnten bei den Mehrkammergruben mit T-Stück ermittelt werden. Diese liegen für CSB bei 56 % und für AFS bei 63%.

Tabelle 15 Messreihe mit der Beschickung von $0,75 \text{ m}^3/\text{E}_{150/\text{E.d.}}$; $0,70 \text{ m}^3/\text{E}_{120\text{gCSB}/\text{E.d.}}$; auf dem Demonstrationsfeld Altentreptow

Datum	Phase 2	Zulauf		Ablauf MKG mit Durchlassöffnung				Ablauf MKG mit T-Stück			
		CSB (mg/L)	AFS (mg/L)	CSB (mg/L)	ETA (%)	AFS (mg/L)	ETA (%)	CSB (mg/L)	ETA (%)	AFS (mg/L)	ETA (%)
Anzahl		6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Mittelwert		852	412	370	55	148	61	350	56	143	63
Minimum		589	254	182	42	130	49	297	40	120	53
Maximum		1276	690	491	74	190	78	374	71	170	77
Standardabweichung		245	136	97	12	20	9	26	10	17	8
Varianz		29	33	26	21	13	14	7	18	12	13
85%-Wert		1123	501	454	68	160	67	371	67	163	70
99%-Wert		1265	677	489	74	188	77	373	70	170	76
Median		765	369	381	53	140	61	360	55	140	62

Stehen pro Einwohner $1,125 \text{ m}^3$ bezogen auf $150 \text{ l}/\text{E.d}$ als Vorklärvolumen zur Verfügung, erhöht sich der Reinigungsgrad der Mehrkammergruben mit Durchlassöffnung im Mittel auf 67 % für CSB und auf 74 % für AFS. Die Mehrkammergrube mit T-Stück erzielte einen Wirkungsgrad für CSB über 59 % und für AFS über 65% und damit etwas geringere Werte. Die Gesamtdaten für $1,125 \text{ m}^3/\text{E}$ sind in Anhang II Tabelle 31 einsehbar.

Tabelle 16 Messreihe mit der Beschickung von $1,125_{150/\text{E.d.}}$; $0,97 \text{ m}^3/\text{E}_{120\text{gCSB}/\text{E.d}}$ auf dem Demonstrationsfeld Altentreptow

Datum	Phase 2	Zulauf		Ablauf Subterra (Schlitz)				Ablauf IBB mit T-Stück			
		CSB (mg/L)	AFS (mg/L)	CSB (mg/L)	ETA (%)	AFS (mg/L)	ETA (%)	CSB (mg/L)	ETA (%)	AFS (mg/L)	ETA (%)
Anzahl		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Mittelwert		1420	760	414	67	168	74	559	59	246	65
Minimum		607	280	147	33	110	46	280	24	140	29
Maximum		2775	1546	896	91	400	89	1723	81	840	85
Standardabweichung		597	374	185	17	80	12	407	19	203	19
Varianz		42	49	45	25	47	17	73	33	82	29
85%-Wert		1729	1021	476	81	167	85	658	78	263	82
99%-Wert		2680	1499	860	91	379	89	1634	81	790	85
Median		1411	744	388	70	145	75	435	67	165	74

Insgesamt kann von sehr inhomogenen Zulaufkonzentrationen gesprochen werden. Dies erschwert die Vergleichbarkeit bei variierenden Beschickungsmengen. Dennoch wird deutlich, dass der Wirkungsgrad für CSB bei allen Beschickungen die geforderten 30 % (DIN 4261-T1) erreicht und diese deutlich übersteigt. Generell zeigt sich ein höherer Wirkungsgrad bei der Mehrkammergrube mit T-Stück für beide Untersuchungsparameter. Der Wirkungsgrad für AFS ist ebenfalls mit 60 % - 74 % als hoch einzustufen.

5.2.2. Einhaltung der Grenzwerte nach DWA-A 262

Ob der Abbaugrad ausreicht, um die geforderten 100 mg AFS/l im Ablauf der Vorklärung einzuhalten, wird im Folgenden dargestellt. Bild 37 und Bild 38 geben einen Eindruck über das Verhältnis von Zulaufkonzentration gegenüber der Ablaufkonzentration von beiden

Untersuchungsparametern CSB und AFS mit zusätzlichem Blick auf die Einhaltung der 100 AFS mg/l – Grenze.

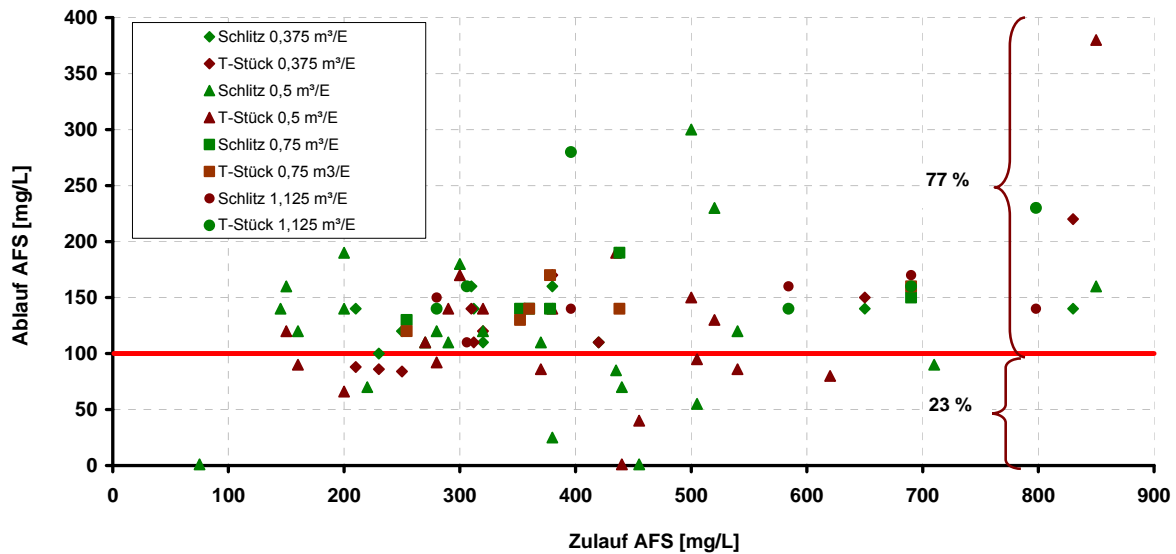


Bild 37 AFS – Ablaufkonzentration im Vergleich zum Zulauf in Altentreptow bei unterschiedlichen spezifischen Vorklärvolumina inkl. AFS-Grenze von 100 mg/l

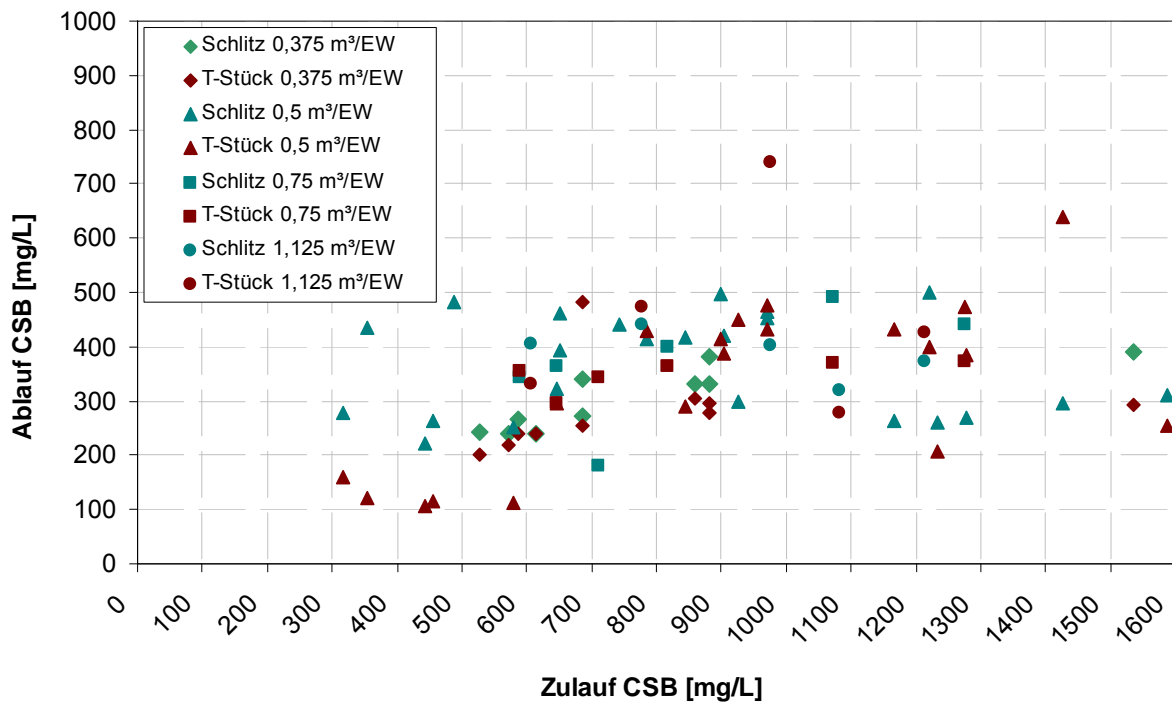


Bild 38 CSB – Ablaufkonzentration im Vergleich zum Zulauf in Altentreptow bei unterschiedlichen spezifischen Vorklärvolumina

Die Bild 39 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Ablaufwerte mit der 100 mg AFS/l Grenze nach DWA-A 262. Die zusätzliche Grenze von 150 mg AFS/l wird ebenfalls untersucht und ist wie die 100 mg AFS/l Grenze rot dargestellt. In der Abwasserreinigung wird für

Bemessungen der 85 % Perzentil Wert verwendet und soll ebenfalls in die Auswertung einbezogen werden. Diese wird im Bild 39 als horizontale Markierung hervorgehoben.

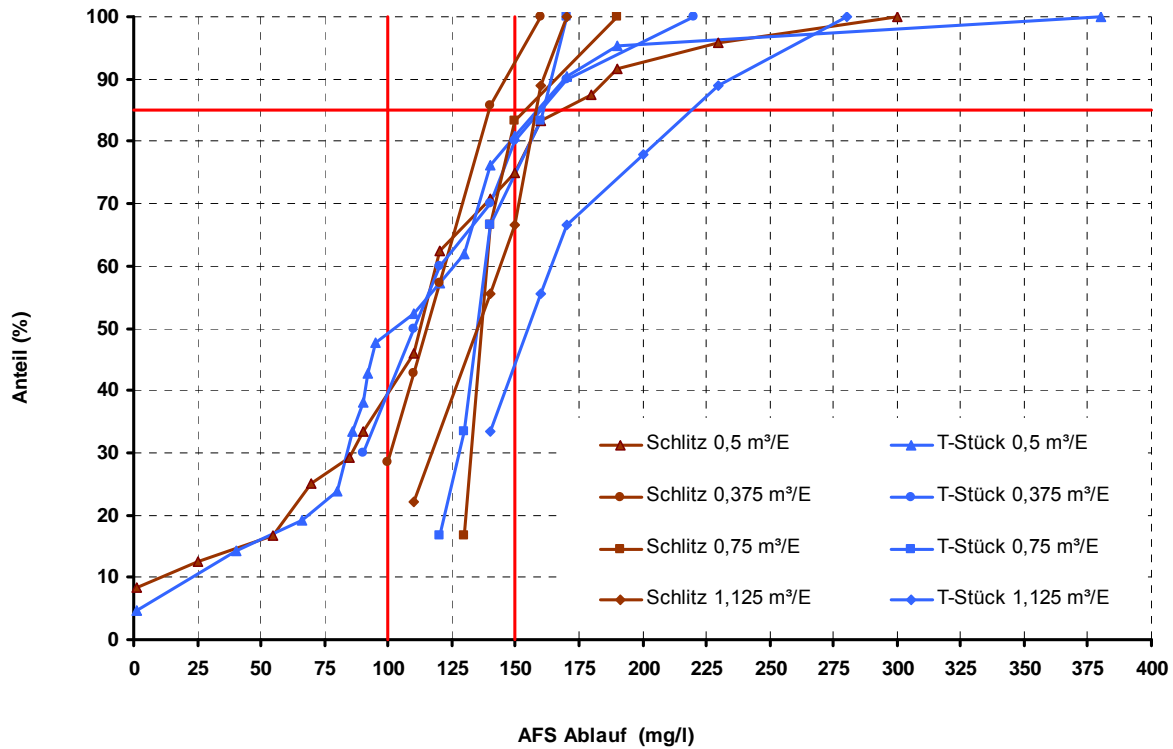


Bild 39 AFS - Häufigkeitsverteilung für verschiedene spezifische Beschickungsvolumenströme unterteilt in die Mehrkammergruben mit Durchlassöffnung und T-Stück

Deutlich wird, dass die 100 mg AFS/l – Grenze nur zu einem sehr geringen Anteil eingehalten wird. Bei 0,5 m³/E findet die größte Unterschreitung mit rund 50 % bei dem Tauchrohrüberlauf statt. Weiterhin unterschreiten 40 % der Werte mit 0,5 m³/E bei den Schlitz die 100 mg/l sowie zu 30 % bei 0,375 m³/E mit eingebautem T-Stück. Tabelle 17 fasst die Unterschreitungshäufigkeit unter 100 mg AFS/l anhand der Werte aus Tabelle 13 bis Tabelle 16 zusammen. Auffällig ist, dass bei größer zur Verfügung stehenden Vorklärvolumina keine Erhöhung der Unterschreitungshäufigkeit festzustellen ist bzw. die Unterschreitungshäufigkeit sinkt. Einen Einfluss nimmt allerdings die Zulaufkonzentration (mg/l), die bei den Einstellungen 0,75 m³/E mit im Mittel 852 mg CSB/L und 412 mg AFS/l und 1,125 m³/E mit im Mittel 1.420 mg CSB/l und 760 mg AFS/l deutlich erhöht war.

Tabelle 17 Vergleich der AFS - Unterschreitungshäufigkeit der verschiedenen Beschickungsmengen unter 100 mg/L

	0,375 m³/E	0,5 m³/E	0,75 m³/E	1,125 m³/E
Schlitz	10 %	33 %	0 %	0 %
T-Stück	30 %	48 %	0 %	0 %
Gesamt	20 %	40 %	0 %	0 %

Tabelle 18 zeigt die AFS – Unterschreitungen für die gewählte 150 mg/l - Grenze. Es ist ein deutlicher Anstieg der Unterschreitungshäufigkeit bei allen Beschickungsmengen zu verzeichnen. Insgesamt unterschreiten 71 % der Werte mit Tauchrohr und Durchlassöffnung bei den verschiedenen Vorklärvolumina die 150 mg AFS/l. Tabelle 18 zeigt beide AFS – Grenzen in Verbindung mit dem 85 % - Wert. Dieser Wert lässt sich für alle spezifischen Vorklärvolumen ebenfalls in der statistischen Auswertung in den Tabelle 13 bis Tabelle 16 nachlesen. Eine Anhäufung im Knotenpunkt 150 mg/l – 85 % wird deutlich, aber auch, dass die 100 mg/l- Grenze für eine Bemessung mit dem 85 %-Wert der nachfolgenden Reinigungsstufe nicht ausreichen würde. Dies lässt die Vermutung zu, dass bei einem durchaus gegebenen hohen Abbaugrad die 150 mg/l als Ablaufgrenze nach der Vorklärung in Betracht gezogen werden kann. Allerdings muss der Ausschluss einer Kolmation gewährleistet sein.

Tabelle 18 Vergleich der AFS – Unterschreitungshäufigkeit der verschiedenen Beschickungsmengen unter 150 mg/l

	0,375 m³/E	0,5 m³/E	0,75 m³/E	1,125 m³/E
Schlitz	80 %	75 %	83 %	60 %
T-Stück	80 %	81 %	67 %	30 %
Gesamt	80 %	78 %	75 %	45 %

5.2.3. Flächenbelastung

Das Arbeitsblatt DWA-A 262 gibt für die Bemessung von bepflanzten Bodenfiltern die CSB-Flächenbelastung an. Für vertikal bepflanzten Bodenfilter muss eine Flächenbelastung von 27g CSB/m²·d für die beschickte Fläche und 20 g CSB/m²·d für die Gesamtbeetfläche eingehalten werden. Die Flächenbelastung konnte für alle spezifischen Vorklärvolumina berechnet werden und ist in Bild 40 als Häufigkeitsverteilung dargestellt. Als Grenze wurden die 20 g CSB/m²·d auf der Abszisse in Rot dargestellt. Die Auswertung bzgl. Flächenbelastung beschränkt sich auf die Ergebnisse mit dem Schlitz, da die biologische Stufe nach der Vorklärung mit dem Tauchrohrüberlauf kein bepflanzter Bodenfilter ist und hier keine Aussage über mögliche Kolmation getroffen werden kann.

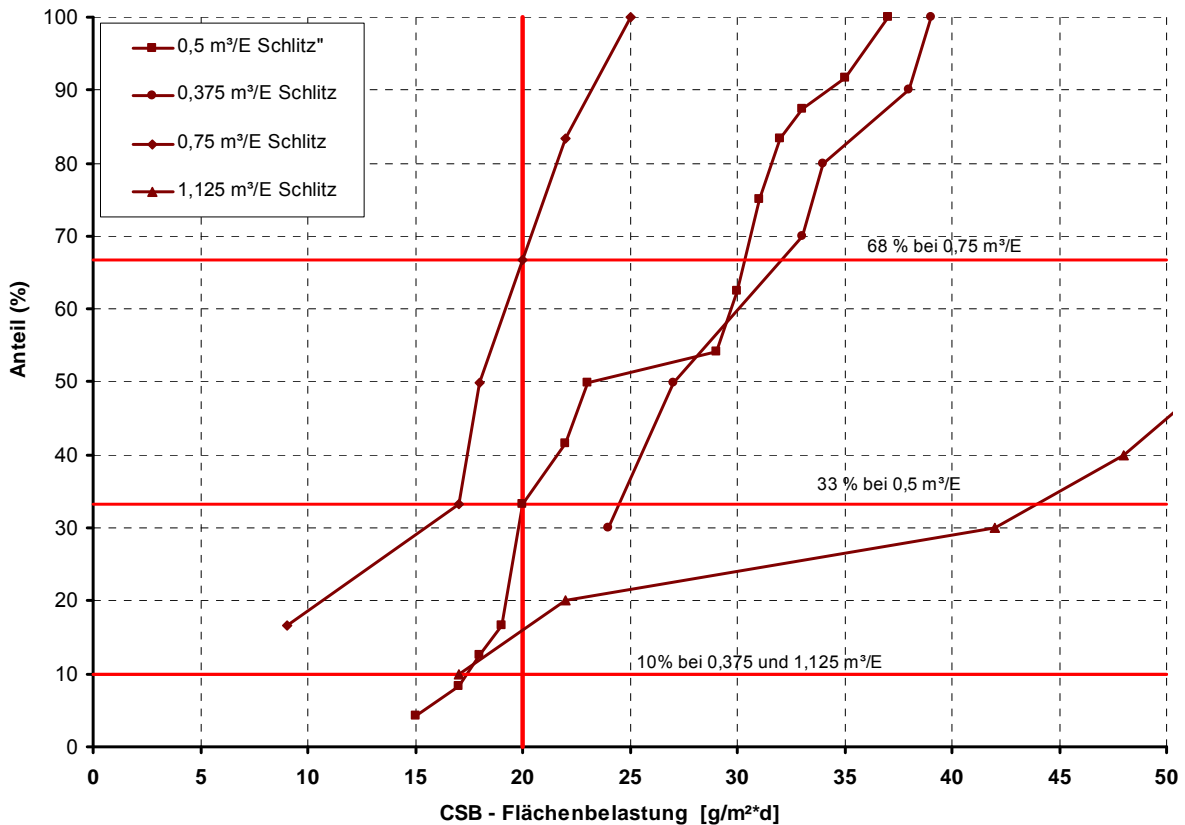


Bild 40 Häufigkeitsverteilung der CSB Flächenbelastung in Altentreptow mit variierenden spezifischen Vorklärvolumina

Bild 40 und Tabelle 19 zeigen einen Anstieg der Unterschreitungshäufigkeit mit zunehmendem spezifischen Vorklärvolumen. Die roten Linien markieren die jeweiligen Anteile bei 20 g CSB/m²·d für alle spezifischen Vorklärvolumina. Bei 0,375 m³/E werden die 20 g CSB/m²·d bei der Mehrkammergrube mit Schlitz nicht eingehalten. Mit zunehmendem spezifischen zur Verfügung stehendem Vorklärvolumen, steigt auch die Unterschreitungshäufigkeit an. Lediglich die Einstellung 1,125 m³/E stellt eine Ausnahme dar. Dies kann auf die hohe Zulaufkonzentration von im Mittel 1420 mg CSB/l zurück zu führen sein.

Tabelle 19 Unterschreitungshäufigkeit der Flächenbelastung von 20 g CSB/m²·g mit Schlitz

	MKG ^a mit Schlitz
0,375 m ³ /E	0 %
0,5 m ³ /E	33,3 %
0,75 m ³ /E	66,7 %
1,125 m ³ /E	10 %

^a MKG = Mehrkammergrube

In Bild 41 ist die Häufigkeitsverteilung im Hinblick auf die Feststoffbelastung in g AFS/(m²·d) dargestellt. GOETZ & WINTER (2002) empfehlen eine Grenze von 5 g AFS/(m²·d) um eine Kolmation weitestgehend zu verhindern. Diese Grenze ist in der Abbildung als rote Linie dargestellt.

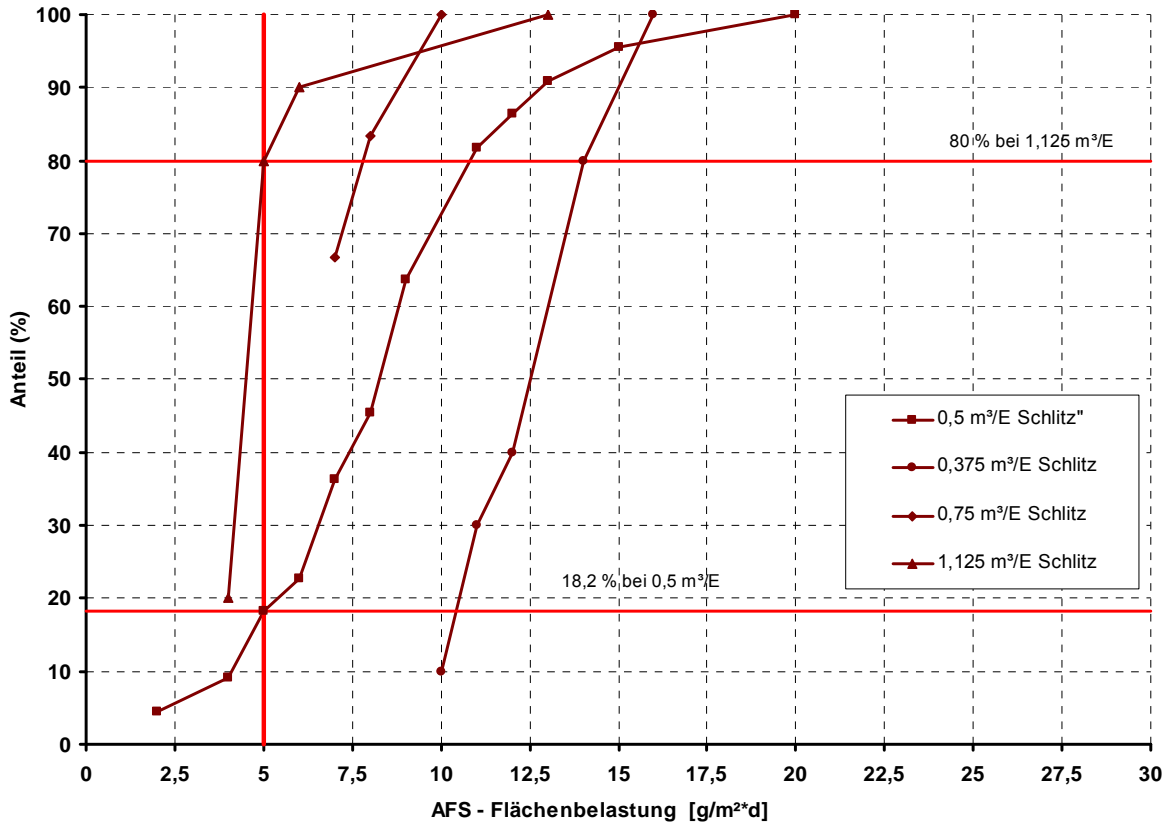


Bild 41 Häufigkeitsverteilung der AFS Flächenbelastung in Altentretptow mit variierenden spezifischen Vorklärvolumina

Keine Unterschreitung wurde bei 0,375 m³/E und bei 0,75 m³/E festgestellt. Die 5 g AFS/(m²·d) werden nur zu einem sehr geringen Anteil unterschritten. Dies lässt sich in Tabelle 20 sehen. Lediglich bei der sehr großen Einstellung mit 1,125 m³/E werden trotz sehr hoher Zulaufkonzentrationen die 5 g AFS/(m²·d) zu 80 % eingehalten. Hier scheint der geringe Beschickungsvolumenstrom von 600 l/d eine entscheidende Rolle zu spielen.

Tabelle 20 Unterschreitungshäufigkeit der Flächenbelastung von 5 g AFS/m²·d auf dem Demonstrationsfeld bei den MKG mit Schlitz

	MKG ^a mit Schlitz
0,375 m ³ /E	0 %
0,5 m ³ /E	18,2 %
0,75 m ³ /E	0 %
1,125 m ³ /E	80 %

^aMKG = Mehrkammergrube

Um einen Überblick über die theoretische Standardflächenbelastung im Vergleich zu den realen Belastungen zu bekommen, wurde die Tabelle 21 erstellt. Die Standardbelastung wurde mit einem üblichen Bemessungswert von 150 l/(E·d) Wasserverbrauch, der jeweiligen angeschlossenen Einwohnerzahl, der gegebenen Beetfläche von 18 m² und der einzuhaltenden 100 mg AFS/l Konzentration berechnet. Bei der realen Belastung handelt es sich um den Medianwert aus der jeweiligen Messreihe.

Tabelle 21 Vergleich Standardbelastung und errechneter Feststoffbelastung in Altentreptow bei verschiedenen spezifischen Volumina

	Standardbelastung ^a in g AFS/m ² d	Einwohner	Medianwert reale Belastung in g AFS/m ² d Schlitz
0,375 m ³ /E	10	12	14
0,5 m ³ /E	7,5	9	8
0,75 m ³ /E	5	6	7
1,125 m ³ /E	3,3	4	5

^a Standardbelastung = bei Standardbedingungen und angenommenen Wasserverbrauch von 150 l/E·d und 100 mg AFS/l im Zulauf zum bepflanzten Bodenfilter

Erst bei einem spezifischen Volumen von 750 l/E erreicht der Standardwert die von GOETZ & WINTER empfohlene Grenze von 5 g AFS/(m²·d) um Kolmation zu verhindern. Im Bereich kleiner spezifischer Vorklär volumina werden standardmäßig höhere Belastungen erreicht.

Berücksichtigt man den niedrigen Wasserverbrauch von teilweise unter 100 l/(E·d) im ländlichen Raum und ebenso einen mittleren Ablaufwert nach der Vorklärung von 150 mg AFS/l, der in Altentreptow sicher eingehalten wurde, bleibt die Standardbelastung gleich.

$$\frac{150 \text{mg AFS} / \text{l} \cdot 100 \text{l} / \text{EW} \cdot d \cdot 9 \text{EW}}{18 \text{m}^2} = 7,5 \text{g AFS} / \text{m}^2 \cdot d$$

Dies macht die mögliche Begrenzung auf einen einzuhaltenden Ablaufwert von 150 mg AFS/l anstelle von 100 mg AFS/l deutlich.

Die Flächenbelastung integriert im Gegensatz zu der einfachen Konzentrationsbeschränkung mehrere Parameter. Diese sind der Zulaufvolumenstrom, die Konzentration und die beschickte zur Verfügung stehende Fläche. Es werden demnach mehrere Einflussgrößen, die entscheidend auf die Kolmation wirken können, berücksichtigt. Die empfohlene Flächenbelastung um Kolmation zu verhindern, wurde lediglich ab 750 l/E für CSB und für AFS ab 1.125 l/E eingehalten. Während des Untersuchungszeitraumes wurden keine Kolmationserscheinungen des bepflanzten Bodenfilters festgestellt. Um die empfohlenen 5 g AFS/(m²·d) einzuhalten, müsste ein spezifisches Vorklär volumin von 0,75 m³/E zur Verfügung stehen bzw. die Größe des bepflanzten Bodenfilters erhöht werden.

5.2.4. Schlammfreies Volumen

In Anlehnung an die Auswertung von SCHÜTTE (2000) wurde mit Hilfe der Schlammspiegelmessungen das schlammfreie Volumen berechnet und in Bild 42 dargestellt. Leider konnten aufgrund logistischer Probleme nur wenige Daten gesammelt werden. Dennoch bestätigen diese die Ergebnisse von den Praxisanlagen. Das schlammfreie Volumen lag im Bereich von 0,13 bis 0,61 m³/E. Die Ablaufgrenze von 100 mg AFS/l wurde zu 46 % unterschritten und sie schwanken über den gesamten Bereich der untersuchten schlammfreien Volumen, bis auf wenige Ausnahmen, um die 100 mg AFS/l. Somit scheinen steigende zur Verfügung stehende Vorklär volumen keine höhere Unterschreitungen zur Folge zu haben.

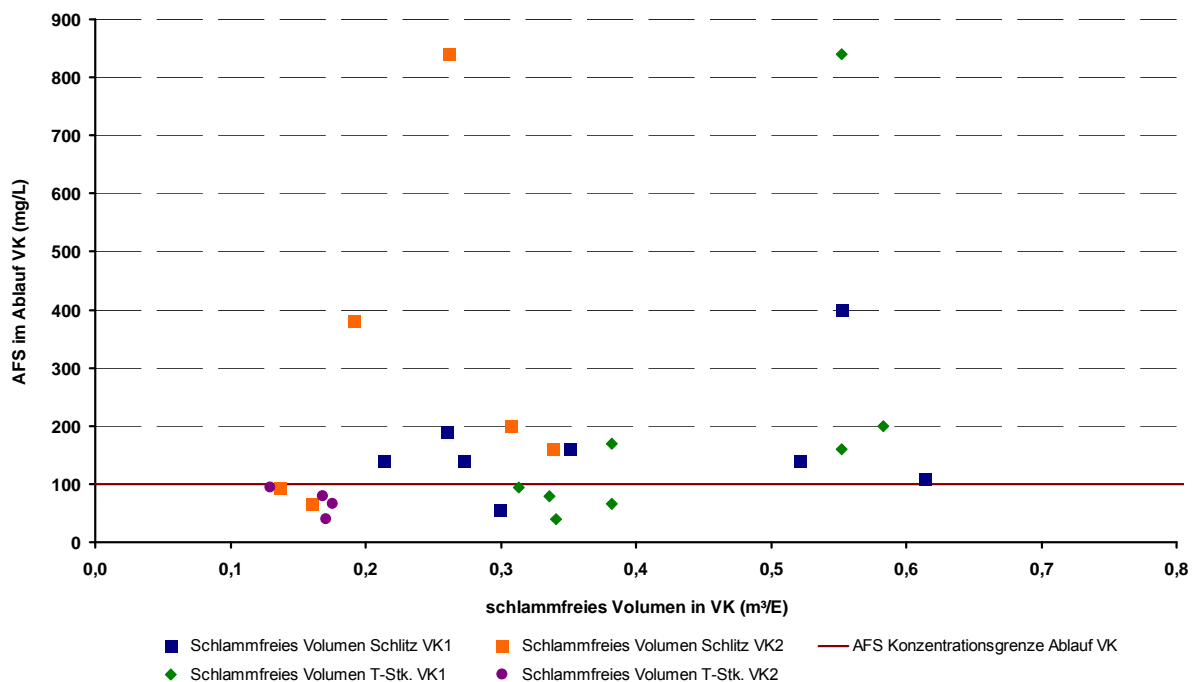


Bild 42 Schlammfreies Volumen in Bezug zu den AFS – Ablaufwerten nach der Vorklärung inkl. 100 mg/l Grenze bezogen auf 150 l/(E·d)

Das schlammfreie Volumen wurde zusätzlich auf die für die Bemessung einer Kläranlage üblichen 120 g CSB/(E·d) berechnet und ist **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt. Beim Vergleich von Bild 42 und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** wird die Verschiebung des schlammfreien Volumens deutlich. Es konnten schlammfreie Volumen aus der Phase mit 0,5 m³/E_{150l/E·d}; 0,433 m³/E_{120gCSB/E·d} sowie aus der Phase mit 1,125 m³/E_{150l/E·d}; 0,969 m³/E_{120gCSB/E·d} berechnet werden. Bei 0,5 m³/E findet eine Verschiebung zu geringeren schlammfreien Volumina statt und bei 1,125 m³/E findet eine Verschiebung zu höheren schlammfreien Volumina statt. Die ungewöhnlich hohen Zulaufkonzentrationen bei 1,125 m³/E spielen eine entscheidende Rolle. Insgesamt verschiebt sich der Bereich des schlammfreien Volumens minimal auf 0,11 bis 0,53 m³/E.

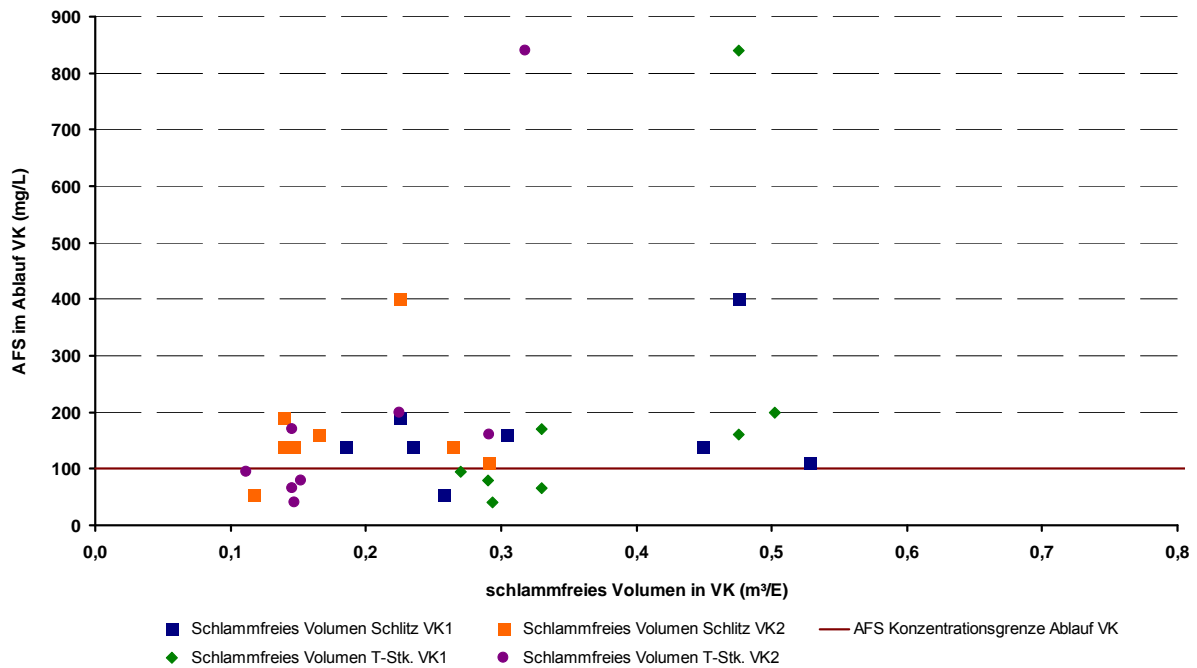


Bild 43 Schlammfreies Volumen in Bezug zu den AFS – Ablaufwerten nach der Vorklärung inkl. 100 mg/l Grenze bezogen auf 120 g/(E·d)

5.2.5. Vergleich Praxisanlagen und Demonstrationsfeld Altentreptow

In der folgenden Tabelle 22 sind die Minimumwerte, Maximumwerte und Mittelwerte aus den Praxisuntersuchungen im Vergleich zu den Daten vom Demonstrationsfeld dargestellt. Spezifisches schlammfreie Volumen und Nutzvolumen der Vorklärungen liegen annähernd im gleichen Bereich. Die Unterschreitungshäufigkeit von 100 mg AFS/l bei den Schlitzanlagen liegen bei 11 bzw. 12,5 %, die bei den Anlagen mit Tauchrohrüberläufen bei 16,7 bzw. 19,5 %. Die Häufigkeiten zeigen in der Praxis und auf dem Demonstrationsfeld eine minimale Unterschreitung der 100 mg AFS/l. Die CSB und AFS Flächenbelastung ist bei den Praxisdaten geringer als beim Demonstrationsfeld. Dies lässt sich auf den geringeren Trinkwasserverbrauch in der Praxis zurück schließen. Daraus resultiert eine hohe Unterschreitungshäufigkeit von bis zu 80 % bei den Praxisanlagen gegenüber dem Demonstrationsfeld im Bereich 25 – 28 % im Hinblick auf die einzuhaltenden 20 g CSB/m²·d und die 5 g AFS/(m²·d).

Die Aufenthaltszeit des Abwassers in der Vorklärung ist gegenüber der Aufenthaltszeit auf dem Demonstrationsfeld als deutlich erhöht einzustufen.

Tabelle 22 Vergleich der Daten aus Praxis mit schwankender Auslastung und Demonstrationsfeld

Parameter	Einheit	Praxis			Demonstrationsfeld		
		Min	Max	Mittelwert	Min	Max	Mittelwert
spezif. schlammfreies Volumen	m ³ /E	0,2	4,8	1,5	0,12	0,61	0,29
spezif. Nutzvolumen	m ³ /E	0,3	5,8	1,8	0,375	1,125	0,662
Unterschreitungshäufigkeit Schlitz 100 mg AFS/l	%	12,5			0	33	11
Unterschreitungshäufigkeit Tauchrohr 100 mg AFS/l	%	16,7			0	48	19,5
CSB Flächenbelastung	g/m ² d	0,1	118,9	15,0	9	66	30
AFS Flächenbelastung	g/m ² d	0,1	22,6	3,7	0	20	8
Unterschreitungshäufigkeit 20 g CSB/m ² .d (Schlitz & Tauchrohr)	%	81,4					
Unterschreitungshäufigkeit 20 g CSB/m ² .d (Schlitz)					0	67	27,5
Unterschreitungshäufigkeit 5 g AFS/m ² .d (Schlitz & Tauchrohr)	%	78,8					
Unterschreitungshäufigkeit 5 g AFS/m ² .d (Schlitz)					0	80	24,6
Reinigungsgrad VK gesamt	%	k.A.			50	67	59
Aufenthaltszeit (alle Daten)	d	1,9	172,0	24,1	3,3	10	6

5.3. Weitergehende Feststoffreduktion am Beispiel zweier Vorklärungen

Ein weiteres Ziel des Projektes war es, Möglichkeiten für eine weitergehende Feststoffreduktion zu bewerten. Es konnten mehrere Möglichkeiten von Filterapparaturen recherchiert werden. Diese sind

- Bürsten (a)
- Flat Armaturen (b),
- „Polzeifilter“ der Firma Aqua Nostra (c) und,
- Tufe-Tite Effluent Filter aus Kanada (d)

und in Bild 44 gezeigt.



(a)



(b)



(c)

Tuf-Tite® Effluent Filters.

EF-4
800 gpd
ANSI/NFPA Standard #6

4" Sch. 40 & SDR-35

800 GPD
ANSI/NFPA Standard #6

TB-4
T-Baffle™
ANSI/NFPA Standard #6

Patent Numbers: 4,318,433; 4,411,626; other pat's pending.

Rear of EF-4 filter - close-up.

Optional Gas Baffle for EF-4 for extended filter life.

EF-6
1500 gpd
ANSI/NFPA Standard #6

4" Sch. 40 & SDR-35

1500 GPD
ANSI/NFPA Standard #6

TB-6
T-Baffle™
ANSI/NFPA Standard #6

Molded-in Gas/Solids Deflector

Tough Problem
Solids entering the septic field significantly reduce the life of the field, resulting in premature failure of the entire system.

TUF-TITE Solution
The EF-4 Effluent Filter filters solids down to 1/10", increasing the life of your septic system.

Molded-in lid gasket.
No fighting with flimsy foam rubber gaskets. Assures a watertight seal every time.

Every filter needs a Riser
for easy cleaning and inspection. Stackable, interlocking Risers make filter maintenance easy. Available in 12", 16", 20", and 24" diameters.

Tuf-Tite® Inc. • 500 Capital Drive • Lake Zurich, Illinois 60047
©2013, Tuf-Tite Corporation. Printed in USA. Form EF-01

(d)

Bild 44 Varianten zum weitergehenden Feststoffrückhalt in der Vorklärung

Für einen Praxistest wurde im Hinblick auf zukunftsorientierte Wirtschaftlichkeit die preisgünstigste Variante der Bürste getestet. Des Weiteren ist vorgesehen, den Treppenfilter der Firma Aqua Nostra im Rahmen einer Master- oder Bachelorarbeit am Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft zu beproben. Gespräche diesbezüglich konnten bereits geführt werden. Die Flatarmaturen entstammen der Firma Argo Ingenieurgesellschaft GmbH unter der Leitung von Heino Schütte und werden bereits dort untersucht.

Die Bürsten konnten an zwei Mehrkammergruben aus dem Bestand von Joachim Krüger im Hinblick auf ihren Abbaugrad getestet werden. Ebenso wurde eine weitere Bürste bei einer Anlage mit auffällig hohem Feststoffzulauf zur Mehrkammergrube eingebaut.

5.3.1. Anlagenbeschreibung und Einbau der Bürste

Der Untersuchungszeitraum für den Bürstentest erstreckte sich auf 20 Tage. Zehn Tage wurden die Anlagen innerhalb des normalen Betriebes ohne Bürste beprobt und weitere zehn Tage nach Einbau von einer (Haus 1) bzw. drei Bürsten (Hause 2). Es wurden täglich 15.00 Uhr die Wasserstände abgelesen und ebenfalls die Anzahl der Bewohner bestimmt. Einen Überblick über die beiden Anlagen gibt Bild 45. Die Probenahmen erfolgten anhand einer Stichprobe jeweils in der zweiten und dritten Kammer sowie in dem nachgeschalteten Pumpenschacht. Eventueller Schwimmschlamm wurde von der Probe fern gehalten.

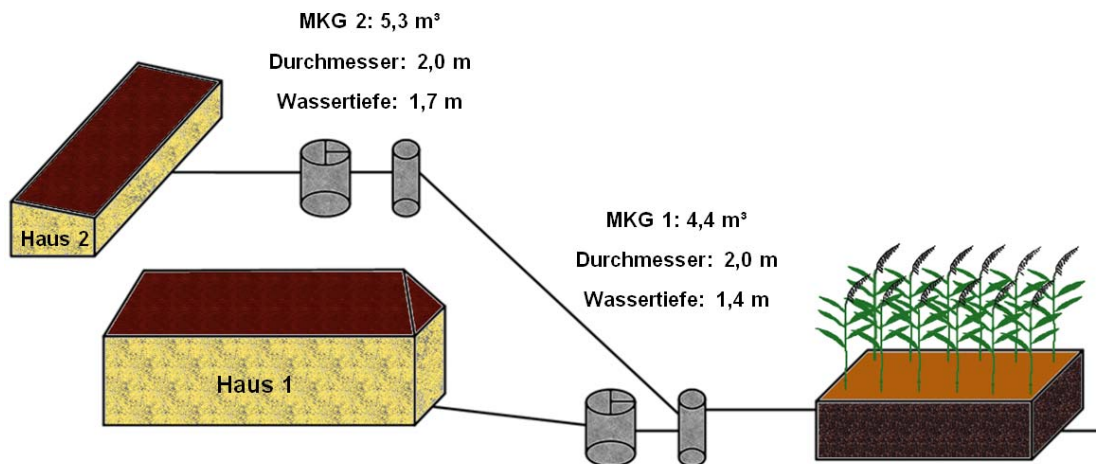


Bild 45 Lageskizze und Schema der beiden Mehrkammergruben mit Pumpenschacht und beplanzt Bodenfilter für die Untersuchung mit weitergehendem Feststoffrückhalt

Bei Haus 1 handelt es sich um ein Betriebsgebäude mit durchschnittlich 15 Mitarbeitern und zwei dauerhaft wohnenden Personen. Es existieren die klassischen sanitären Einrichtungen wie Waschmaschine, Geschirrspüler und Dusche. Haus 2 ist ein Ferienhaus mit schwankender Personenzahl. Schlammspiegelmessungen wurden nicht realisiert, da es sich um einen sehr kurzen Untersuchungszeitraum handelte und davon ausgegangen werden kann, dass sich innerhalb dieser 20 Tage der Schlamm Spiegel nicht messbar verändert. Die Mehrkammergruben waren zum Untersuchungszeitpunkt beide zu 1/3 des Gesamtnutzvolumens mit Schlamm ausgefüllt. Eine Entschlammung nach DIN 4262-1 wurde auf Ende der Untersuchungszeit festgelegt. Die Abmessungen beider Mehrkammergruben sind

in Bild 45 ebenfalls dargestellt. Bild 46 zeigt die Mehrkammergruben von Haus 1 und Haus 2 mit Probenahmestelle, Anzahl und Ort der Bürsten.

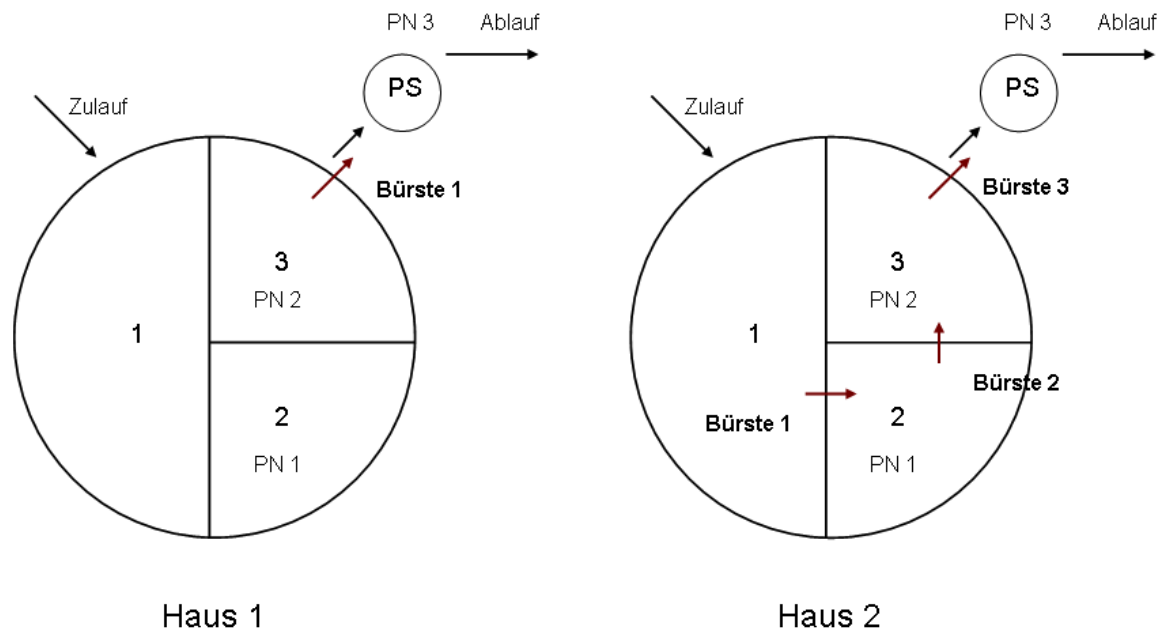


Bild 46 Schema der zwei Mehrkammergruben (Haus 1 und 2) mit Positionen der eingebauten Bürsten und den Probenahmestellen (PN = Probenahme; PS = Pumpenschacht)

Die Mehrkammergrube von Haus 1 erhielt eine Bürste in dem Verbindungsrohr (T-Stück) von der dritten Kammer zum Pumpenschacht. Die Mehrkammergrube von Haus 2 erhielt drei Bürsten in den Verbindungsrohren von der ersten zur zweiten, von der zweiten zur dritten sowie von der dritten Kammer zum Pumpenschacht. Diese sind in der Bild 46 als rote Pfeile dargestellt.

5.3.2. Ergebnisse zur weitergehenden Feststoffreduktion

Tabelle 23 gibt alle errechneten Werte für die Versuchsreihe mit und ohne Bürste wieder. Das schlammfreie Volumen kann als sehr gering eingestuft werden und liegt in dem Bereich von 0,15 bis 1,5 m³/E. Der Abbaugrad bezieht sich auf das Verhältnis von 2. Kammer und Ablauf der Mehrkammergrube nach dem Pumpenschacht. Es muss berücksichtigt werden, dass der Großteil der Stoffe in der ersten Kammer abgeschieden wird. Bei der Aufenthaltszeit handelt es sich um die gesamte verbrachte Zeit des Abwassers in der Mehrkammergrube von Kammer 1 bis 3.

Tabelle 23 Datenvergleich von Haus 1 und Haus 2 während der Untersuchung ohne Bürste und mit Bürsteneinbau (Haus 1 Einbau von einer Bürste, Haus 2 Einbau von 3 Bürsten)

	Haus 1 ohne Bürste	Haus 1 mit Bürste	Haus 2 ohne Bürste	Haus 2 mit Bürste
angeschlossene E (Mittelwert)	16	13	4	16
spezif. Wasserverbrauch (l/E·d)	30 – 80	30 – 180	100 – 170	63 - 214
spezif. Nutzvolumen (m ³ /E)	0,35	0,3 – 0,53	0,9 – 1,5	0,15 – 0,31
Aufenthaltszeit t _A (h) VK	0,19	0,23	0,09	0,32
Unterschreitungshäufigkeit 20 g CSB/m ² d Flächenbelastung	30%	80%	100%	60%
Unterschreitungshäufigkeit 5 gAFS/m ² d Flächenbelastung	30%	20%	100%	30%
Unterschreitungshäufigkeit 100 mg AFS/l	0%	10%	70%	40%
η AFS	58%	36%	29%	9%
η CSB	48%	38%	13%	13%

Das schlammfreie Volumen wurde als konstant angenommen und mit 33 % Füllstand der Mehrkammergrube berechnet. Bild 47 verdeutlicht die AFS-Unterschreitungen der 100 mg/l Grenze der vier Messreihen. Haus 1 zeigt bei gleichen schlammfreien Volumina einen AFS-Mittelwert von 190 mg/l (ohne Bürste) und 197 mg/L (mit Bürste). Bei Haus 2 zeigt sich eine ähnliche AFS-Konzentration (ohne Bürste 92 mg/l und mit Bürste 113 mg/l) bei veränderten schlammfreien Volumina, was auf die geringe Einwohnerzahl und dem veränderten Zulaufvolumenstrom während der Untersuchung ohne Bürste zurückzuführen ist. Die Bürste scheint damit keinen Einfluss auf die Häufigkeit der Unterschreitungen zu nehmen.

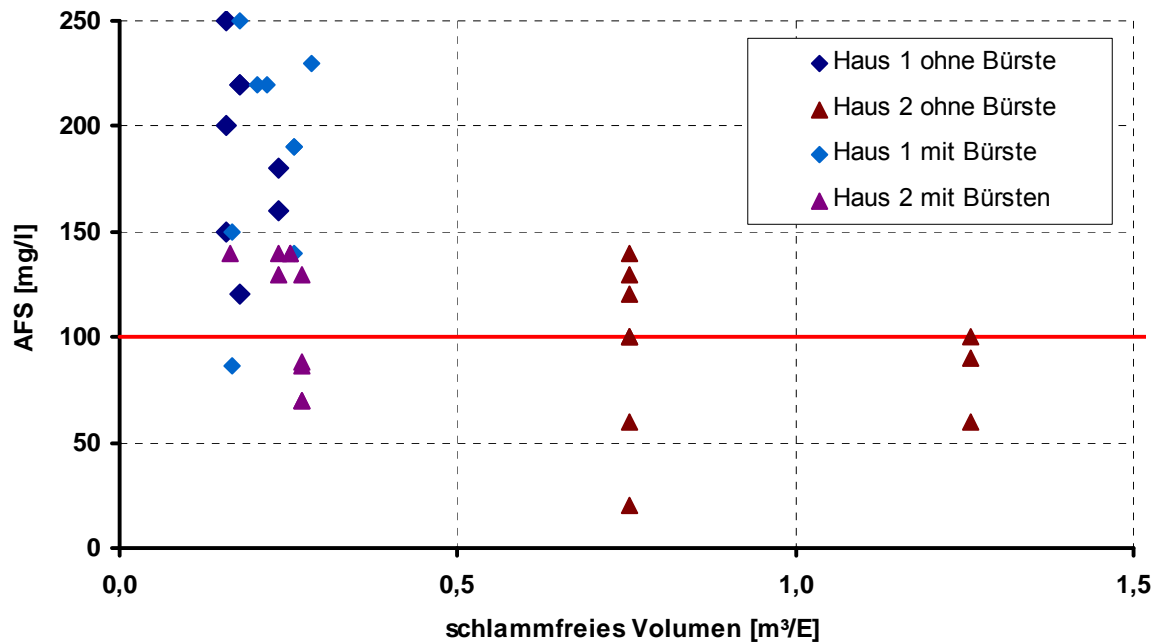


Bild 47 Feststoffkonzentration im Zulauf zum bepflanzten Bodenfilter im Vergleich zum schlammfreien Volumen für alle vier Messreihen Haus 1 und Haus 2 mit und ohne Bürste

Bild 48 und Bild 49 zeigen die CSB und AFS Flächenbelastung im Vergleich zu den jeweiligen Ablaufwerten nach der Vorklärung. Es wird deutlich, dass die Ablaufkonzentration mit der Flächenbelastung linear korreliert. Steigt die Ablaufkonzentration nach der Vorklärung, so steigt auch die Flächenbelastung. Lediglich bei „Haus 2 mit Bürste“ kann diese lineare Korrelation nicht angewendet werden. Der stark schwankende Wasserverbrauch mit Stoßbelastungen kann hierfür ursächlich sein. D.h. bei hohen Wasserverbräuchen wird die Konzentration im Zulauf geringer, aber die Fracht auf das Beet erhöht sich. Ob der Einbau der drei Bürsten in Haus 2 hier einen positiven Effekt hat, kann lediglich abgeschätzt werden. In Bild 48 lässt sich eine konstante Ablaufkonzentration erkennen, ähnlich wie in Bild 49. Daraus lässt sich bedingt schlussfolgern, dass der Einbau der drei Bürsten einen verstärkten AFS-Rückhalt trotz erhöhter Frachten bewirkt hat.

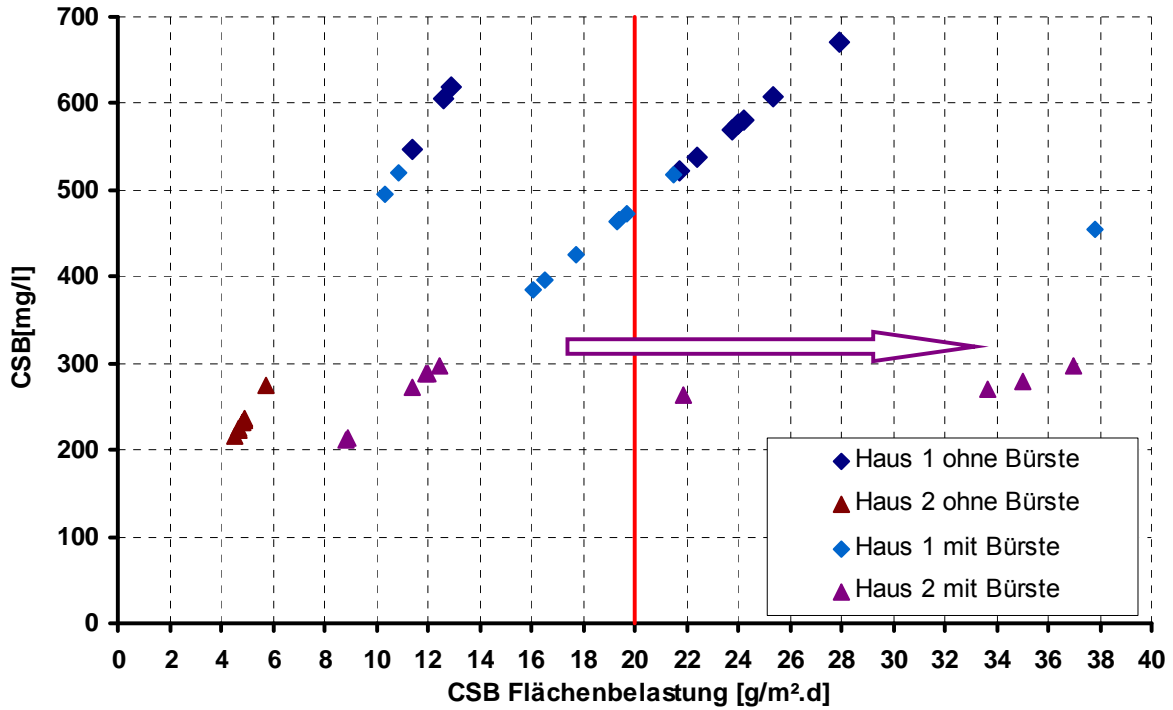


Bild 48 Vergleich der CSB Flächenbelastung und Ablaufkonzentration nach der VK von allen Messreihen (Haus 1 und Haus 2 mit und ohne Bürste)

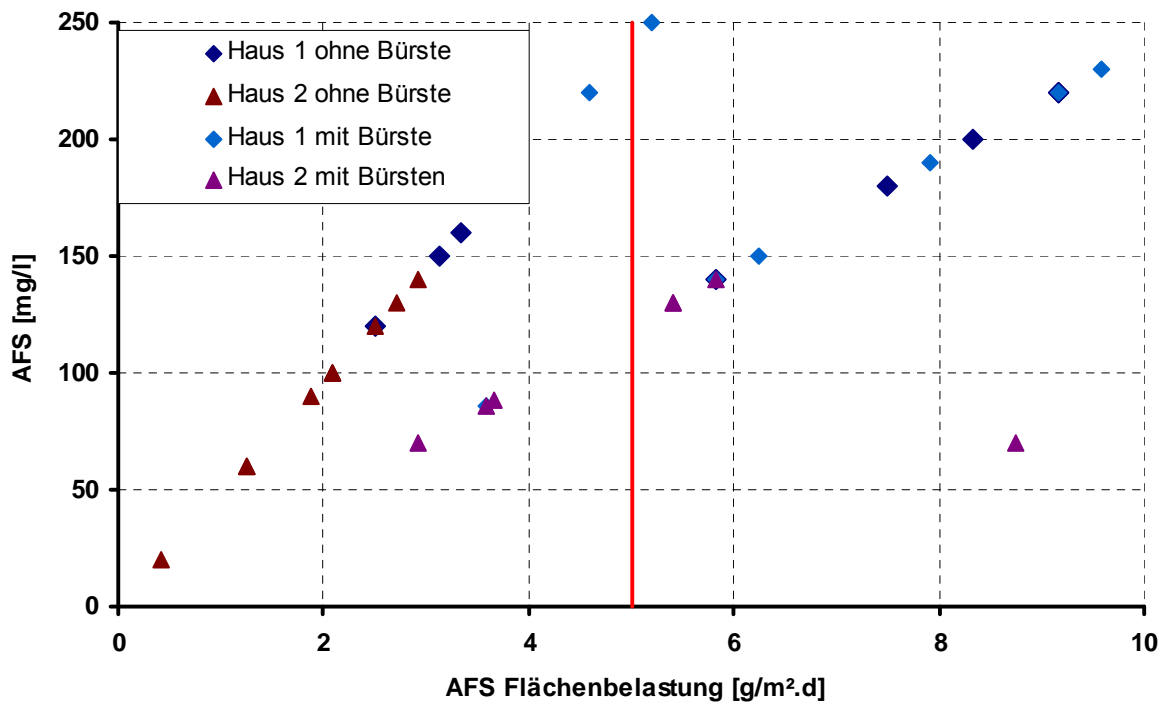


Bild 49 Vergleich der AFS Flächenbelastung und Ablaufkonzentration nach der VK von allen Messreihen (Haus 1 und Haus 2 mit und ohne Bürste)

Vergleicht man den Abbaugrad (Tabelle 24) zwischen den einzelnen Kammern, kann festgestellt werden, dass der größte Abbaugrad innerhalb der zweiten und dritten Kammer

zu verzeichnen ist. Damit wird bestätigt, dass spätestens nach der zweiten Kammer der reguläre Absetzvorgang abgeschlossen ist. Dies ist bei Haus 1 und Haus 2 für beide Parameter deutlich erkennbar. Dabei sollen lediglich die Abbaugrade vom selbigen Haus verglichen werden. Der Vergleich bzgl. Abbaugrad untereinander ist aufgrund unterschiedlicher hydraulischer Bedingungen nicht zulässig.

Tabelle 24 Vergleich des Abbaugrades von AFS- und CSB-Medianwerte zwischen den Kammern beider Mehrkammergruben (oB = ohne Bürste, mB = mit Bürste)

	Aufenthaltszeit t_R (d)	CSB Abbaugrad (%)			AFS Abbaugrad (%)		
		2. – 3. Kammer	3. - PS	gesamt	2. – 3. Kammer	3. - PS	gesamt
Haus 1 oB	0,19	43 %	8%	49%	57%	14%	62%
Haus 1mB	0,23	14%	23%	36%	8%	22%	36%
Haus 2 oB	0,09	12%	3%	13%	40%	7%	22%
Haus 2mB	0,32	9%	3%	12%	1%	6%	9%

Die Messreihen mit Bürsteneinbau zeigen eine geringe Veränderung im Wirkungsgrad. Haus 1 mit einer Bürste zwischen der dritten Kammer und dem Pumpenschacht zeigt eine Erhöhung des Reinigungsgrades von Kammer 3 zum Pumpenschacht gegenüber der zweiten und dritten Kammer. Dies ist bei Haus 2 leider nicht so deutlich erkennbar, könnte aber daran liegen, dass die drei Bürsten den eventuell höheren Abbaugrad auf alle Kammern ausgleichen und dies lediglich in der Fracht deutlich wird.

Zurzeit werden von der Firma „alles klar“ GmbH ebenfalls Untersuchungen bzgl. des Einsatzes solcher Bürsten in Vorklärunen unternommen. Diese sind aber noch nicht endgültig ausgewertet.

6. Fazit

Die Ergebnisse sollen im Folgenden zusammenfassend dargestellt werden. Die Untersuchungen der Praxisdaten aus dem Wartungsbestand von Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH und GKU mbH wurden zunächst genutzt, um die geeignete Probenahmestelle festzulegen. Dabei stellte sich heraus, dass im Rahmen der Messunsicherheiten die Probenahme in der zweiten Kammer und im Pumpenschacht (dritte Kammer) sehr schwanken, so dass die Probenahmestelle auf die handhabbare Stelle für das Wartungspersonal in der dritten Kammer unmittelbar am Ausgang des Tauchrohres bzw. Schlitzes von der zweiten Kammer festgelegt wurde.

Insgesamt konnten 150 Daten mit Tauchrohrüberlauf und 16 Daten mit Durchlassöffnungen aus dem Bestand von Joachim Krüger und GKU ausgewertet werden.

- Nur 17 % der Anlagen mit T-Stück und 13 % der Anlagen mit Durchlassöffnung halten die geforderten 100 mg AFS/l bei einem durchschnittlichen schlammfreien Volumen von 1,4 bzw. 1,5 m³/E ein. 53 % der Anlagen mit T-Stück und 44 % der Anlagen mit Durchlassöffnung halten die 150 mg AFS/l ein. Demnach lässt sich kein deutlicher Unterschied zwischen der Verwendung von Durchlassöffnung oder Tauchrohrüberlauf verzeichnen.
- Im Bereich von 0,5 bis 2,0 m³/E schlammfreien Volumen lässt sich keine Tendenz hinsichtlich verbesserten Feststoffrückhalt bei größerem schlammfreien Vorklärvolumen erkennen. Demnach kann der Arbeitsbereich zwischen 0,5 und 2,0 m³/E liegen.
- Aufenthaltszeit des Abwassers in der Vorklärung, Schlammspiegelhöhen und Auslastung der Anlagen hinsichtlich der angeschlossenen Einwohner haben keinen Einfluss auf die Ablaufqualität
- 68 % der Anlagen sind länger als fünf Jahre in Betrieb und seit Bau bzw. Nachrüstung der bepflanzten Bodenfilter als kolmationsfrei zu bezeichnen. Von allen Anlagen aus dem Bestand von Joachim Krüger, die die 100 mg AFS/l einhalten, sind 69 % älter als fünf Jahre. D.h. bei dem Großteil der Anlagen wären Kolmationserscheinungen aufgrund des Alters möglich. Bei keiner der Anlagen zeigte sich Kolmation.
- Eine AFS-Flächenbelastung von 5 g AFS/(m²·d), die von Goetz & Winter (2002) zur Vermeidung von Kolmation empfohlen werden, wird von 79 % der Anlagen eingehalten. Da bei den untersuchten Anlagen keine Kolmation auftrat, ist die AFS-Flächenbelastung kein hinreichendes Kriterium.
- Die Begrenzung der Flächenbelastung auf 20 g CSB/(m²·d), die im Arbeitsblatt ATV A 262 (2006) vorgegeben wird, wird von 81 % der Anlagen eingehalten.

Auf dem KKA-Demonstrationsfeld in Altentreptow wurden zeitgleich gezielte Untersuchungen hinsichtlich der Parameter CSB und AFS mit variierenden Beschickungsmengen simuliert. Es erfolgten Untersuchungen hinsichtlich des Wirkungsgrads, Unterschreitungshäufigkeit der

100 mg AFS/l – Grenze und der Flächenbelastung bei zwei Mehrkammergruben mit unterschiedlichen Verbindungen (Tauchrohr und Durchlassöffnung). Im Folgenden werden die Ergebnisse aufgelistet dargestellt.

- Der durchschnittliche Wirkungsgrad bei 0,375 m³/E, 0,5 m³/E, 0,75 m³/E und 1,125 m³/E beträgt für den CSB rund 60 %. Der Abbaugrad hinsichtlich AFS liegt im Durchschnitt rund 64 %. Dabei schneidet die Mehrkammergrube mit dem Tauchrohrüberlauf etwas besser ab als die einfache Durchlassöffnung. Der geforderte Wirkungsgrad für den CSB von 30 % laut DIN 4261-T1 wird damit deutlich überschritten. Der Wirkungsgrad für die Feststoffe ist ebenfalls als hoch einzustufen, dennoch werden die 100 mg AFS/l im Ablauf der Vorklärunen zu 77 % überschritten. Demnach müssten bei fast 80 % der Anlagen bei andauernder gleicher Betriebsführung Kolmation zu befürchten sein. Während des Untersuchungszeitraumes von über 18 Monaten konnte keine Kolmation an der eingebauten Subterra-Pflanzenkläranlage festgestellt werden. Die Unterschreitungshäufigkeit von 150 mg AFS/l beträgt 71 %.
- Bei der Untersuchung hinsichtlich der Flächenbelastungen wurden lediglich die Vorklärun mit Schlitz betrachtet, da nur hier ein bepflanzten Bodenfilter nachgeschaltet war. Die CSB – Unterschreitungshäufigkeit steigt mit zunehmenden zur Verfügung stehenden Vorklärvolumen bis auf 67 % bei 750 l/E, sinkt dann aber noch einmal bei 1,125 m³/E auf 10 % ab. Die AFS – Unterschreitungshäufigkeit unter 5 g AFS/(m²·d) bei unterschiedlichen Vorklärvolumen ist als schwankend zu bezeichnen. Berechnet man die Standardbelastung mit einem Wasserverbrauch von 150 l/(E·d) und einem angenommenen Ablaufwert von 100 mg AFS/l kann erst ab 0,75 m³/E Vorklärvolumen die 5 g AFS/(m²·d) eingehalten werden. Somit kann es rein rechnerisch bei 0,375 m³/E und 0,5 m³/E nicht zum Einhalten der 5 g AFS/m²·d kommen. Bei angenommen 150 mg AFS/l als einzuhaltende Grenze nach der Vorklärun und einem Wasserverbrauch von 100 l/(E·d) im ländlichen Raum verändert sich die Standardbelastung nicht.
- Das schlammfreie Volumen bestätigt die Ergebnisse der Praxisanlagen. Im Bereich von 0,1 bis 0,7 m³/E verteilen sich die AFS – Ablaufwerte relativ homogen mit einer Unterschreitungshäufigkeit von 46 %.

Eine zusätzliche Untersuchung hinsichtlich des gesteigerten Feststoffrückhalts mittels Bürsteneinbau in den Tauchrohrüberlauf erfolgte über den Zeitraum von 20 Tagen an zwei ausgewählten Mehrkammergruben. Die Untersuchung lässt einen erhöhten Feststoffrückhalt vermuten. Dies konnte anhand der Mehrkammergrube mit Einbau einer Bürste in die letzte mögliche Verbindungsstufe im Ablauf nach der dritten Kammer gezeigt werden. Der Einbau einer Bürste sollte weiteren Untersuchungen unterzogen werden. Es wird angenommen, dass er als eine Art Polizeifilter bei Stoßbelastungen vermehrte Feststoffkonzentrationen auf den bepflanzten Bodenfilter verhindern kann.

Die Untersuchungen von SCHÜTTE, 2000, die bei bepflanzten Bodenfiltern 150 mg/l AFS im Ablauf bei einem spezifischen Vorklärvolumen von 750 l/E als sicher einhaltbar gilt, konnten

weitestgehend bestätigt werden. Nach den vorliegenden Daten können auch 500 I/E und teilweise sogar 375 I/E ausreichen, um den Grenzwert von 150 mg/l AFS einzuhalten.

Die Anforderungen des Arbeitsblattes DWA-A 262 wurden nur bedingt erfüllt, dennoch ließ sich keine Kolmation feststellen. Die Verwendung von Mehrkammerabsetzgruben im Bereich kleiner Anschlussgrößen < 6 Einwohner erscheint sinnvoll. Mehrkammerausfallgruben stellen keine Verbesserung in diesem Bereich dar.

Prof. Dr.-Ing. Matthias Barjenbruch

TU Berlin

Dipl.-Ing. Cathrin Hinz

TU Berlin

Vivan Blank

Joachim Krüger PKA GmbH

7. Literaturverzeichnis

AUB Abwasser (2012):

Abwasser- und Umwelthanlagen GmbH Steinhagen. <http://www.aub-abwasser.de/liefpro.htm>. Dezember 2012.

ATV – DVWK - A 131 (2000):

Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. DWA Regelwerk. Hennef. Mai. 2000.

ATV-DWA-A 262 (2006):

Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern zur biologischen Reinigung kommunalem Abwasser. Hennef, März 2006.

ATV DWA - Kommentar 262 (2007):

Naturnahe Abwasserbehandlung in Pflanzenkläranlagen und Teichkläranlagen. ATV – Kommentar. Oktober. 2007.

ATV-DWA-A 222 (2011):

Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von kleinen Kläranlagen mit aerober biologischer Reinigungsstufe bis 1.000 Einwohnerwerte. Hennef, Mai, 2011.

BARJENBRUCH & SCHÜLER,R. (2011):

Kläranlagen-Leistungsvergleich 2010 des DWA-Landesverbandes Nord-Ost. Kläranlagen- und Kanal-Nachbarschaften 2011/2012; Landesverband Nord-Ost, 2011.

Bepflanzte Bodenfilter (2012):

Verbundprojekt Bepflanzte Bodenfilter. <http://www.bodenfilter.de/default.htm>. 2012.

DIN EN 12056-2 (2001):

Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden, Teil 2: Schmutzwasseranlagen, Planung und Berechnung, Berlin, 2001.

DIN EN 12566-2 (2009):

Kleinkläranlagen für bis zu 50 EW. Teil 2 – Bodenfiltrationssysteme. Hennef. Februar. 2007.

DIN EN 12566-3 (2009):

Kleinkläranlagen für bis zu 50 EW. Teil 3 – Vorgefertigte und/oder vor Ort montierte Anlagen zur Behandlung von häuslichem Schmutzwasser. Hennef. Juli. 2009.

DIN 4261 (2002):

Kleinkläranlagen, Teil 1: Anlagen zur Abwasservorbehandlung, Berlin, 2002.

DIN 38409 – H2 ():

Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H). Bestimmung von abfiltrierbaren Stoffen und des Glührückstandes. Teil 2. März. 1987.

DWA – M – 221 (WD)

Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Kleinkläranlagen mit aerober biologischer Reinigungsstufe. Hennef, Februar. 2012.

DWA Arbeitsgruppe KA-10.1 (2009):

Aktueller Untersuchungsbedarf bei bepflanzten Bodenfiltern zur Behandlung von kommunalem Abwasser. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall (56). Nr.1, S.38 – 43. Januar, 2009.

FLASCHE, K. (2011):

Gewässerbelastung aus Kleinkläranlagen und Möglichkeiten der Reduktion – In: Abwasserentsorgung im ländlichen Raum, DWA 2011 WasserWirtschafts-Kurse, Kassel, 12.-14.-Oktober 2011.

Goetz, D., Winter, K.-J. (2002):

Bodenkundliche Untersuchung der Kolmation Bepflanzter Bodenfilter. Abschlussbericht Verbundprojekt Bepflanzte Bodenfilter. AZ 14178. Februar, 2002.

LÖFFLER, H. (1992):

Das Pflanzenbeet – Klärverfahren Phytofilt – Theoretische Grundlagen – praktische Anwendungen. Norddeutsche Naturschutzakademie (Hrsg.). Naturorientierte Abwasserbehandlung. NNA – Berichte Band 5, Heft 3. 1992.

Otto, U. (2000):

Entwicklungen beim Einsatz von Kleinkläranlagen. Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Rhein.-Westf. Techn. Hochschule Aachen (Hrsg.) Dissertation. Aachen. 2000.

Platzer, C. (1998):

Entwicklung eines Bemessungsansatzes zur Stickstoffelimination in Pflanzenkläranlagen. Dissertation. Technische Universität Berlin. Nr.6. Berlin.1998.

Schütte, H. (2000):

Betriebserfahrungen mit Kleinkläranlagen. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall. Jahrgang 47. Nr.10. S. 1499 – 1505. Oktober. 2000.

TESCHNER, K.; MACIEL, M.; HEGEMANN, W. (2004):

Kolmation von vertikal durchströmten Pflanzenkläranlagen - Prozesse und Ursachen. Wasser - Abwasser GWF 145, Nr.1, 2004.

TGL 7762 (1979):

Kleinkläranlagen - Anwendung, Bemessung, Anlage und Betrieb. Deutsche Demokratische Republik. 1979.

TSCHUI ET AL. (1993):

Röske, I., Uhlmann, D. (2005):

Biologie der Wasser- und Abwasserbehandlung. Verlag Eugen Ulmer . Stuttgart, 2005.

Wissing, F., Hofmann, K. (2002):

Wasserreinigung mit Pflanzen. Ulmer Verlag. 2002.

WRRL 2000/60/EG (2000).

Wasserrahmenrichtlinie. Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.2000.

Zhang, C. (2007):

Fundamentals of Environmental Sampling and Analysis. John Wiley & Sons (Hrsg.). 2007.

Gespräche:

Herr Hermann, Aqua Nostra 31.10.2012

Herr Falkenberg, 31.10.2012

Anhang I

Erweitertes Protokoll für die Untersuchung der im Betrieb befindlichen Mehrkammerabsetzgruben

Anlage	Nr.	
Wartung	bisherige Häufigkeit	letzte Wartung
Skizze	Bitte auf Extrablatt mit Anordnung und Form der Schächte (auch etwaige Schächte außer Mehrkammerabsetzgrube und Pumpenschacht zur Fremdwasserermittlung)	

Baulicher Zustand der Mehrkammerabsetzgrube / des Pumpenschachtes

	MKG 1		MKG 2			Pumpenschacht
Anzahl der Kammern						/
Art der Verbindung zwischen den Kammern	Tauchrohr <input type="checkbox"/>		Schlitz <input type="checkbox"/>		Andere <input type="checkbox"/>	
Breite [m] (jeder Kammer)						
Länge [m] (jeder Kammer)						
Nutzvolumen [m³] (jeder Kammer)						
Wassertiefe t [m]						
Durchmesser [m]						
Aufteilung der Kammern [%]						
Bauart						
Hersteller						
Herstellungsjahr						

Wasserverbrauch / Abwasseranfall / Schlammfall

Wasserverbrauch			
gem. Abrechnung (Wasserverband)	Datum	Stand [m ³]	Verbrauch [m ³ /a]
Mögliches Fremdwassereindringpotential			
zuführenden Abwasserleitungen ab Haus	Länge [m]	Baujahr	
Höhe Grundwasserspiegel			
Schlammräumung			

durchschnittliche Schlammabfuhrmenge der letzten drei Jahre [m ³]	2006	2007	2008
durchschnittliches Intervall der Schlammabfuhr			

1. Termin

Allgemeine Daten

Anwesender Mitarbeiter		
Ankunft bei Kunden		Abfahrt bei Kunden
Probenehmer:		Datum / Uhrzeit:
Örtliche Wetterverhältnisse	am Probenahmetag	am Vortag
trocken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Niederschläge	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Temperatur [°C]		

Tatsächliche Abwasserbelastungssituation

Wie viele Personen wohnen im Haushalt [E]			
Zahl der Wochenpendler [E]	Zahl der täglichen Pendler [E]	Zahl der dauerhaften Bewohner [E]	
zusätzliche Belastung (Schlachtungen, Gäste, sonstige Bemerkungen)			
Stand Wasserzähler [m ³]			
Wird ein Hausbrunnen benutzt	<input type="checkbox"/> ja	falls ja, welche Wassermengen [m ³]?	<input type="checkbox"/> nein
Wird ein Gießbrunnen benutzt	<input type="checkbox"/> ja	falls ja, welche Wassermengen [m ³]?	<input type="checkbox"/> nein

Zustand der Anlage

Vorklärung / ggf. Pumpenschacht

Kontrolle des Schlammspiegels, ggf. Veranlassung einer Schlammbabfuhr						
letzte Schlammbabfuhr		<input type="checkbox"/> Regelabfuhr <input type="checkbox"/> bedarfsgerechte Schlammbabfuhr			Datum	
Art der Entleerung		<input type="checkbox"/> leeren und 30 cm zurück lassen <input type="checkbox"/> leeren bis zum Grund				
		Sinkschlamm			Schwimmschlamm	
		Schicht- dicke [cm]	Farbe	Volumen [m ³]	Schicht- dicke [cm]	Volumen [m ³]
MKG 1	1. Kammer					
	2. Kammer					
	3. Kammer					
	Ggf. Pumpenschacht					
MKG 2	1. Kammer					
	2. Kammer					
	3. Kammer					
	Ggf. Pumpenschacht					

	Beschreibung	Maßnahme / Ersatzteile
	Überprüfung der Schachtabdeckung	
	Überprüfung Wasserstand Vorklärung / Pumpenschacht	
	Überprüfung des Zu- und Ablaufes sowie der Überläufe; ggf. Spülen	
	Feststellung von Korrosions- oder generellen baulichen Mängeln	
	Kontrolle der Schmutzwasserpumpe und deren Befestigung	

Reinigung und Wartung von Schwimmerschalter und Pumpe		
evtl. Kontrolle Fettabscheider		
Bemerkungen (z.B. Geruch)		

Probenahme Ablauf letzte Vorklärkammer

Sensorische Prüfungen	
absetzbare Stoffe (ASS) nach ½ h [ml/l]	
absetzbare Stoffe (ASS) nach 2 h [ml/l]	

Probenahme in letzter Kammer

Sensorische Prüfungen	
pH-Wert [-]	
Redox-Potential [mV]	
elektr. Leitfähigkeit [mS/cm]	
O ₂ -Gehalt [mg/l]	
Temperatur [°C]	

Probeanalyse im	<input type="checkbox"/> Fremdlabor	<input checked="" type="checkbox"/> Eigenlabor
Transport / Aufbewahrung	<input type="checkbox"/> Kühlung auf 4°C	<input type="checkbox"/> gefroren
		<input type="checkbox"/> Probe dunkel gehalten

Anhang II

Tabelle 25 Wertetabelle mit CSB (mg/l) und AFS (mg/l) vor und nach dem Pumpenschacht der Anlagen aus dem Bestand von Joachim Krüger für die Auswertung des geeigneten Probenahmeortes

Anlagen-Nr. & Stat. Wert	CSB (mg/l) 2te Kammer	CSB (mg/l) 3te Kammer	AFS (mg/l) 2te Kammer	AFS (mg/l) 3te Kammer
Anzahl	26	26	26	26
Min	186	44	5	0
Max	1662	1338	290	320
Mittelwert	601	554	144	157
Medianwert	580	509	135	155
Standardabweichung	311	338	63	82
Varianz	52	61	44	52
85% Perzentil	1531	1275	280	315
99%-Perzentil	776	891	206	228
1	1116	1029	200	320
2	395	499	5	200
3	582	675	140	80
4	621	916	100	240
5	703	463	250	180
6	402	341	240	160
7	585	633	150	260
8	657	554	170	130
9	578	502	170	200
10	885	875	150	180
11	669	633	190	240
12	928	987	180	210
13	885	1074	230	300
14	508	482	120	100
15	1662	1338	290	210
16	186	118	98	74
17	463	516	100	130
18	362	555	120	220
19	434	104	80	24
20	443	44	130	0
21	292	242	100	64
22	653	89	100	60
23	528	804	70	130
24	582	433	140	150
25	250	245	100	110
26	250	260	110	110

Tabelle 26 Ergebnisse zum schlammfreien Volumen und Nutzvolumen der Praxisanlagen mit Tauchrohrüberläufen und Schlitzverbindungen

	Nr	Nutz- volumen Kammer [m ³]	Wasser- tiefe t [m]	Durch- messer d [m]	Sink- und Schwimm- schlamm 1.Kammer [cm]	Sink- und Schwimm- schlamm 2.Kammer [cm]	Sink- und Schwimm- schlamm 3.Kammer [cm]	Schlamm- freies Volumen [m ³] 1.Kammer (50% des Gesamtvol.)	Schlamm- freies Volumen [m ³] 2.Kammer 25%	Schlamm- freies Volumen [m ³] 3.Kammer 25%	Schlamm- freies Volumen [m ³] Gesamt 1. MKG
Anzahl		150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Mittelwert		4,9	1,3	2,2	38,7	21,6	3,7	1,7	1,0	1,2	3,9
Minimum		0,9	1,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,6
Maximum		9,9	1,9	3,0	120,0	110,0	60,0	4,2	2,2	2,5	8,5
Standardabweichung		1,6	0,2	0,3	22,1	17,9	7,6	0,8	0,4	0,4	1,5
Varianz		34	15	14	57	83	207	46	40	34	39
85%-Wert		6	1	3	60	40	10	3	1	2	6
99%-Wert		10	2	3	98	61	25	4	2	2	8
Median		4	1	2	35	20	0	2	1	1	4
Tauchrohr	1	4,4	1,4	2,0	45	11	0	1,5	1,0	1,1	3,6
	2	4,7	1,5	2,0	20	7	0	2,0	1,1	1,2	4,3
	3	4,8	1,7	1,9	55	110	0	1,6	0,4	1,2	3,3
	4	5,7	1,8	2,0	95	60	0	1,3	0,9	1,4	3,7
	5	3,8	1,2	2,0	70	41	0	0,8	0,6	0,9	2,3
	6	9,9	1,4	3,0	44	31	10	3,4	1,9	2,3	7,6
	7	3,6	1,2	2,0	50	30	0	1,0	0,7	0,9	2,6
	8	3,6	1,2	2,0	40	2	0	1,2	0,9	0,9	3,0
	9	3,8	1,2	2,0	20	5	0	1,6	0,9	0,9	3,4
	10	3,8	1,1	2,1	33	22	0	1,3	0,8	1,0	3,0
	11	3,6	1,2	2,0	100	1	0	0,3	0,9	0,9	2,1
	12	3,8	1,3	2,0	3	0	0	1,9	1,0	1,0	3,8
	13	9,9	1,4	3,0	70	37	0	2,5	1,8	2,5	6,8
	14	3,8	1,2	2,0	17	0	0	1,6	0,9	0,9	3,5
	15	4,1	1,3	2,0	35	0	0	1,5	1,0	1,0	3,5

16	6,0	1,2	2,5	45	25	0	1,9	1,2	1,5	4,6
17	3,8	1,2	2,0	35	0	0	1,3	0,9	0,9	3,2
18	4,5	1,2	2,2	10	10	0	2,1	1,0	1,1	4,2
19	6,4	1,3	2,5	30	5	0	2,5	1,5	1,6	5,6
20	3,8	1,2	2,0	25	10	0	1,5	0,9	0,9	3,3
21	3,8	1,2	2,0	40	35	5	1,3	0,7	0,9	2,8
22	3,8	1,2	2,0	25	5	0	1,5	0,9	0,9	3,3
23	3,8	1,2	2,0	35	20	20	1,3	0,8	0,8	2,9
24	3,8	1,2	2,0	55	50	0	1,0	0,5	0,9	2,5
25	3,8	1,2	2,0	50	25	0	1,1	0,7	0,9	2,8
26	3,8	1,2	2,0	50	40	15	1,1	0,6	0,8	2,6
27	3,8	1,2	2,0	0	0	0	1,9	0,9	0,9	3,8
28	3,8	1,2	2,0	0	0	0	1,9	0,9	0,9	3,8
29	3,8	1,2	2,0	15	5	5	1,6	0,9	0,9	3,5
30	3,8	1,2	2,0	10	0	0	1,7	0,9	0,9	3,6
31	3,8	1,2	2,0	77	50	10	0,7	0,5	0,9	2,1
32	3,8	1,2	2,0	88	60	20	0,5	0,5	0,8	1,8
33	3,8	1,2	2,0	67	11	0	0,8	0,9	0,9	2,6
34	4,6	1,1	2,3	25	15	5	1,8	1,0	1,1	3,8
35	4,6	1,1	2,3	30	35	5	1,7	0,8	1,1	3,5
36	4,6	1,1	2,3	57	10	0	1,1	1,0	1,1	3,3
37	3,9	1,3	2,0	55	15	5	1,1	0,9	0,9	2,9
38	3,9	1,3	2,0	17	4	3	1,7	1,0	1,0	3,6
39	3,9	1,3	2,0	80	50	10	0,7	0,6	0,9	2,2
40	3,8	1,2	2,0	13	12	4	1,7	0,8	0,9	3,4
41	5,7	1,3	2,4	0	0	0	2,8	1,4	1,4	5,7
42	3,8	1,2	2,0	37	5	0	1,3	0,9	0,9	3,1
43	3,8	1,2	2,0	38	45	0	1,3	0,6	0,9	2,8
44	3,8	1,2	2,0	35	46	10	1,3	0,6	0,9	2,8
45	3,8	1,2	2,0	35	0	0	1,3	0,9	0,9	3,2
46	3,8	1,2	2,0	52	4	3	1,1	0,9	0,9	2,9
47	3,8	1,2	2,0	60	25	0	0,9	0,7	0,9	2,6

48	3,8	1,2	2,0	15	15	10	1,6	0,8	0,9	3,3
49	3,8	1,2	2,0	16	5	0	1,6	0,9	0,9	3,5
50	3,8	1,3	2,0	35	5	0	1,4	0,9	1,0	3,3
51	3,8	1,3	2,0	35	10	0	1,4	0,9	1,0	3,2
52	3,8	1,2	2,0	120	35	0	0,0	0,7	0,9	1,6
53	3,8	1,2	2,0	40	25	0	1,3	0,7	0,9	2,9
54	3,8	1,2	2,0	70	30	0	0,8	0,7	0,9	2,4
55	6,4	1,3	2,5	30	20	0	2,5	1,3	1,6	5,4
56	6,4	1,3	2,5	25	5	0	2,6	1,5	1,6	5,7
57	6,4	1,3	2,5	31	0	0	2,4	1,6	1,6	5,6
58	8,5	1,6	2,6	45	35	0	3,1	1,7	2,1	6,8
59	8,5	1,6	2,6	25	15	15	3,6	1,9	1,9	7,4
60	8,5	1,6	2,6	7	0	0	4,1	2,1	2,1	8,3
61	3,8	1,2	2,0	54	30	0	1,0	0,7	0,9	2,7
62	3,8	1,2	2,0	30	20	3	1,4	0,8	0,9	3,1
63	3,8	1,2	2,0	25	0	0	1,5	0,9	0,9	3,4
64	7,1	1,9	2,2	45	20	0	2,7	1,6	1,8	6,1
65	7,1	1,9	2,2	27	32	11	3,0	1,5	1,7	6,2
66	7,1	1,9	2,2	30	7	0	3,0	1,7	1,8	6,5
67	6,7	1,8	2,2	30	15	0	2,8	1,5	1,7	6,0
68	6,7	1,8	2,2	16	5	0	3,1	1,6	1,7	6,4
69	6,7	1,8	2,2	6	3	0	3,2	1,7	1,7	6,6
70	3,8	1,2	2,0	45	20	0	1,2	0,8	0,9	2,9
71	3,8	1,2	2,0	37	31	5	1,3	0,7	0,9	2,9
72	3,8	1,2	2,0	27	6	0	1,5	0,9	0,9	3,3
73	3,8	1,2	2,0	40	15	0	1,3	0,8	0,9	3,0
74	3,8	1,2	2,0	31	20	3	1,4	0,8	0,9	3,1
75	3,8	1,2	2,0	26	0	0	1,5	0,9	0,9	3,4
76	4,4	1,2	2,2	80	30	0	0,7	0,8	1,1	2,7
77	4,4	1,2	2,2	33	21	3	1,6	0,9	1,1	3,6
78	4,4	1,2	2,2	43	26	2	1,4	0,9	1,1	3,4
79	8,8	1,8	2,5	10	5	0	4,2	2,1	2,2	8,5

80	8,8	1,8	2,5	20	0	0	3,9	2,2	2,2	8,3
81	3,8	1,2	2,0	30	25	0	1,4	0,7	0,9	3,1
82	9,9	1,6	2,8	50	20	0	3,4	2,2	2,5	8,0
83	9,9	1,6	2,8	62	16	6	3,0	2,2	2,4	7,6
84	4,2	1,2	2,1	3	1	0	2,0	1,0	1,0	4,1
85	4,2	1,2	2,1	35	25	5	1,5	0,8	1,0	3,3
86	4,2	1,2	2,1	35	25	5	1,5	0,8	1,0	3,3
87	4,3	1,4	2,0	30	25	0	1,7	0,9	1,1	3,7
88	4,3	1,4	2,0	30	25	5	1,7	0,9	1,0	3,6
89	4,3	1,4	2,0	32	0	0	1,7	1,1	1,1	3,8
90	1,8	1,2	1,4	30	42	0	0,7	0,3	0,5	1,5
91	1,8	1,2	1,4	40	35	0	0,6	0,3	0,5	1,4
92	1,8	1,2	1,4	70	60	25	0,4	0,2	0,4	1,0
93	6,4	1,3	2,5	30	20	0	2,5	1,3	1,6	5,4
94	6,4	1,3	2,5	78	62	20	1,3	0,8	1,3	3,5
95	6,4	1,3	2,5	45	0	0	2,1	1,6	1,6	5,3
96	4,1	1,3	2,0	50	20	0	1,3	0,9	1,0	3,1
97	4,1	1,3	2,0	35	21	5	1,5	0,9	1,0	3,3
98	4,1	1,3	2,0	55	20	0	1,2	0,9	1,0	3,1
99	4,5	1,2	2,2	60	30	10	1,1	0,8	1,0	3,0
100	5,9	1,2	2,5	47	21	4	1,8	1,2	1,4	4,4
101	5,9	1,2	2,5	50	25	5	1,7	1,2	1,4	4,3
102	0,9	1,2	1,0	55	35	25	0,3	0,2	0,2	0,6
103	5,4	1,3	2,3	50	20	5	1,7	1,1	1,3	4,1
104	5,4	1,3	2,3	65	30	0	1,4	1,0	1,4	3,7
105	5,4	1,3	2,3	85	40	15	0,9	0,9	1,2	3,1
106	5,0	1,2	2,3	20	20	5	2,1	1,0	1,2	4,3
107	5,0	1,2	2,3	25	15	0	2,0	1,1	1,2	4,3
108	5,0	1,2	2,3	6	30	15	2,4	0,9	1,1	4,4
109	6,0	1,2	2,5	45	25	0	1,9	1,2	1,5	4,6
110	6,0	1,2	2,5	30	20	5	2,3	1,3	1,4	4,9
111	6,0	1,2	2,5	50	20	0	1,8	1,3	1,5	4,5

112	5,4	1,3	2,3	45	30	5	1,8	1,0	1,3	4,1
113	5,4	1,3	2,3	42	7	0	1,8	1,3	1,4	4,5
114	5,4	1,3	2,3	35	5	0	2,0	1,3	1,4	4,6
115	3,6	1,2	2,0	50	10	3	1,0	0,8	0,9	2,7
116	3,6	1,2	2,0	45	10	0	1,1	0,8	0,9	2,8
117	3,6	1,2	2,0	65	45	5	0,8	0,6	0,9	2,2
118	3,6	1,2	2,0	80	50	0	0,6	0,5	0,9	2,0
119	3,6	1,2	2,0	75	50	10	0,7	0,5	0,8	2,0
120	5,2	1,3	2,3	15	5	0	2,3	1,2	1,3	4,8
121	5,2	1,3	2,3	15	35	0	2,3	0,9	1,3	4,5
122	6,4	1,3	2,5	6	60	10	3,0	0,9	1,5	5,4
123	5,8	1,2	2,5	35	10	0	2,0	1,3	1,4	4,8
124	5,8	1,2	2,5	32	11	0	2,1	1,3	1,4	4,9
125	6,8	1,2	2,8	20	6	0	2,8	1,6	1,7	6,1
126	6,8	1,2	2,8	35	15	0	2,4	1,5	1,7	5,6
127	6,8	1,2	2,8	27	7	0	2,6	1,6	1,7	5,9
128	5,9	1,2	2,5	0	40	10	2,9	1,0	1,3	5,3
129	5,9	1,2	2,5	0	60	25	2,9	0,7	1,2	4,8
130	3,1	1,2	1,8	45	35	0	1,0	0,5	0,8	2,3
131	3,1	1,2	1,8	50	45	0	0,9	0,5	0,8	2,1
132	3,1	1,2	1,8	4	15	0	1,5	0,7	0,8	2,9
133	4,1	1,3	2,0	47	20	0	1,3	0,9	1,0	3,2
134	5,3	1,7	2,0	30	40	20	2,2	1,0	1,2	4,4
135	5,7	1,8	2,0	30	20	60	2,4	1,3	0,9	4,6
136	5,7	1,8	2,0	60	20	20	1,9	1,3	1,3	4,4
137	6,3	1,4	2,4	45	45	0	2,1	1,1	1,6	4,8
138	6,3	1,4	2,4	35	30	0	2,4	1,2	1,6	5,2
139	6,3	1,4	2,4	50	25	0	2,0	1,3	1,6	4,9
140	4,5	1,2	2,2	6	3	2	2,1	1,1	1,1	4,3
141	3,8	1,2	2,0	15	8	4	1,6	0,9	0,9	3,4
142	6,4	1,3	2,5	56	0	0	1,8	1,6	1,6	5,0
143	5,9	1,2	2,5	81	0	0	1,0	1,5	1,5	3,9

	144	5,8	1,2	2,5	22	16	0	2,4	1,3	1,4	5,1
	145	4,1	1,3	2,0	0	0	0	2,0	1,0	1,0	4,1
	146	0,9	1,2	1,0	61	55	0	0,2	0,1	0,2	0,6
	147	9,9	1,6	2,8	52	21	10	3,3	2,1	2,3	7,8
	148	8,8	1,8	2,5	30	2	0	3,7	2,2	2,2	8,1
	149	3,8	1,2	2,0	18	11	1	1,6	0,9	0,9	3,4
	150	5,9	1,2	2,5	3	26	3	2,9	1,2	1,4	5,5
Anzahl		16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Mittelwert		7,9	1,7	2,4	55,1	34,2	1,9	3,1	1,6	1,9	6,6
Minimum		3,8	1,1	2,0	10,0	5,0	0,0	1,7	0,9	0,9	3,5
Maximum		12,5	2,4	3,8	130,0	108,0	10,0	5,7	2,8	2,8	11,3
Standardabweichung		2,9	0,4	0,7	30,7	27,5	3,9	1,1	0,6	0,6	2,3
Varianz		37	25	28	56	80	208	36	36	34	34
85%-Wert		12	2	3	81	58	8	4	2	3	9
99%-Wert		12	2	4	124	103	10	6	3	3	11
Median		6	2	2	54	33	0	3	1	2	6
Summe		127	28	39	882	547	30	50	25	31	106
Schlitz	1	3,8	1,2	2,0	30	10	0	1,7	0,86	0,94	3,5
	2	9,0	2,0	2,4	10	5	0	4,4	2,20	2,26	8,9
	3	10,9	2,4	2,4	70	30	0	4,7	2,37	2,71	9,8
	4	6,3	2,0	2,0	20	5	0	3,1	1,53	1,57	6,2
	5	3,8	1,2	2,0	10	5	0	1,8	0,90	0,94	3,7
	6	8,6	1,8	2,5	130	75	0	2,5	1,23	2,15	5,8
	7	10,4	2,3	2,4	90	108	0	2,8	1,38	2,60	6,7
	8	6,0	1,9	2,0	52	22	0	2,6	1,32	1,49	5,4
	9	6,0	1,9	2,0	60	22	0	2,6	1,32	1,49	5,4
	10	6,0	1,9	2,0	85	60	0	2,0	1,02	1,49	4,6
	11	6,3	2,0	2,0	70	50	0	2,4	1,18	1,57	5,1
	12	6,3	2,0	2,0	70	40	0	2,5	1,26	1,57	5,3
	13	6,3	2,0	2,0	50	35	0	2,6	1,30	1,57	5,5

14	12,5	1,1	3,8	30	10	10	5,7	2,83	2,83	11,3
15	12,5	1,1	3,8	50	35	10	4,3	2,13	2,83	9,2
16	12,5	1,1	3,8	55	35	10	4,3	2,13	2,83	9,2

Tabelle 27 Gesamte Wertetabelle für die Auswertung zur täglichen Flächenbelastung der Praxisanlagen mit Tauchrohr- und Schlitzverbindungen aus dem Bestand von Joachim Krüger PKA GmbH

Nummer	CSB Mittelwert [mg/L]	AFS [mg/L]	Einwohnerwerte	Beetfläche [m ²]	spezifischer Verbrauch	CSB tägliche Flächenbelastung [g/m ² /d]	AFS tägliche Flächenbelastung [g/m ² /d]
			Einwohnerwerte		[l/d*EW]		
Anzahl	156	156	156	156	156	156	156
Mittelwert	611,9	156,5	3,9	18,1	106,0	15,0	3,7
Minimum	27,0	5,0	1,0	12,0	20,5	0,1	0,1
Maximum	4828,0	360,0	30,0	120,0	317,0	118,9	22,6
Standardabweichung	456,4	60,8	4,1	15,0	54,4	17,7	3,3
Varianz	75	39	106	83	51	118	90
85%-Wert	894	210	5	24	154	23	6
99%-Wert	1696	330	30	120	317	97	16
Median	549	150	3	16	100	10	3
Tauchrohr							
1	362	120	3	12	141,1	12,77	4,23
2	259	110	5	12	109,6	11,83	5,02
3	1157,5	312	2	12	86,8	16,74	4,51
4	508	120	3	12	52,1	6,61	1,56
5	656,5	170	2	12	105,0	11,49	2,98
6	244	110	2	12	82,2	3,34	1,51
7	1662	290	1	12	54,8	7,59	1,32
8	185,5	98	1	18	30,1	0,31	0,16
9	703	252	5	12	109,6	32,10	11,51
10	669	186	2	18	132,9	9,88	2,75
11	521	85	4	12	116,4	20,22	3,30
12	319	110	3	15	71,2	4,54	1,57
13	924	210	2	18	132,9	13,64	3,10
14	295	160	4	24	75,3	3,70	2,01
15	577	266	3	16	118,7	12,84	5,92
16	520	160	3	12	178,1	23,15	7,12

17	650	150	3	12	178,1	28,94	6,68
18	554	130	3	12	178,1	24,66	5,79
19	264,5	130	3	12	119,2	7,88	3,87
20	277	98	3	12	119,2	8,25	2,92
21	137	110	2	12	74,0	1,69	1,36
22	536	110	1	12	74,0	3,30	0,68
23	418	190	2	12	74,0	5,15	2,34
24	170,5	70	1	24	38,4	0,27	0,11
25	63	32	1	24	38,4	0,10	0,05
26	156	80	1	24	38,4	0,25	0,13
27	798	270	2	12	72,6	9,66	3,27
28	603	200	2	12	72,6	7,30	2,42
29	829	330	2	12	72,6	10,03	3,99
30	410	120	2	12	143,8	9,83	2,88
31	575	160	2	12	143,8	13,78	3,84
32	583,5	210	2	12	143,8	13,99	5,03
33	548,5	150	3	12	57,5	7,89	2,16
34	591	110	3	12	57,5	8,50	1,58
35	543	120	3	12	57,5	7,81	1,73
36	236,5	76	2	12	157,5	6,21	2,00
37	200,5	92	5	12	109,6	9,16	4,20
38	633	260	4	18	137,0	19,27	7,91
39	353,5	210	4	18	137,0	10,76	6,39
40	335,5	210	4	18	137,0	10,21	6,39
41	838,5	210	2	18	132,9	12,38	3,10
42	924	220	2	18	132,9	13,64	3,25
43	885	145	5	21	98,6	20,78	3,41
44	828	250	5	21	98,6	19,44	5,87
45	1613	310	5	21	98,6	37,88	7,28
46	47,3	98	1	18	30,1	0,08	0,16
47	100	92	1	18	30,1	0,17	0,15
48	927,5	176	8	21	243,2	85,91	16,30
49	382,5	110	8	21	243,2	35,43	10,19
50	557,5	110	8	21	243,2	51,64	10,19

51	677	180	4	15	116,4	21,02	5,59
52	827,5	200	4	15	116,4	25,69	6,21
53	756	200	4	15	116,4	23,47	6,21
54	847,5	160	30	120	100,5	21,28	4,02
55	1029	210	30	120	100,5	25,84	5,27
56	570	130	30	120	100,5	14,32	3,26
57	698,5	155	2	12	78,1	9,09	2,02
58	395	92	2	12	78,1	5,14	1,20
59	509,5	360	2	12	78,1	6,63	4,68
60	621	95	5	16	76,7	14,89	2,28
61	969,5	230	5	16	76,7	23,24	5,51
62	376,5	140	5	16	76,7	9,03	3,36
63	402	235	2	24	189,0	6,33	3,70
64	566,5	170	2	24	189,0	8,92	2,68
65	445	170	2	24	189,0	7,01	2,68
66	1116	203	5	12	164,4	76,44	13,90
67	1736,5	330	5	12	164,4	118,94	22,60
68	1354,5	230	5	12	164,4	92,77	15,75
69	306	126	2	12	43,8	2,24	0,92
70	802,5	150	2	12	43,8	5,86	1,10
71	949	180	2	12	28,8	4,55	0,86
72	866	130	3	12	91,3	19,77	2,97
73	686	120	3	12	91,3	15,66	2,74
74	709	220	3	12	91,3	16,19	5,02
75	261,5	150	2	12	123,3	5,37	3,08
76	463	120	2	12	123,3	9,51	2,47
77	408	180	1	12	21,9	0,75	0,33
78	60,8	42	10	16	20,5	0,78	0,54
79	224	74	10	16	20,5	2,88	0,95
80	652,5	100	2	16	90,4	7,37	1,13
81	673,5	130	2	16	90,4	7,61	1,47
82	782,5	150	2	16	90,4	8,84	1,70
83	528	70	4	16	61,6	8,14	1,08
84	404,5	130	4	16	30,8	3,12	1,00

85	469,5	110	4	16	41,1	4,82	1,13
86	461	160	4	24	88,4	6,79	2,36
87	492,5	180	4	24	88,4	7,25	2,65
88	549,5	110	4	24	88,4	8,09	1,62
89	433,5	80	9	24	43,8	7,13	1,32
90	682,5	160	4	24	98,6	11,22	2,63
91	899	170	4	24	98,6	14,78	2,79
92	442,5	132	2	16	163,0	9,02	2,69
93	394,5	100	2	16	163,0	8,04	2,04
94	477	180	2	16	163,0	9,72	3,67
95	396	120	4	24	100,5	6,63	2,01
96	920	230	3	12	80,4	18,48	4,62
97	1143	200	3	12	80,4	22,96	4,02
98	316	70	2	12	137,0	7,21	1,60
99	1157	120	2	12	126,0	24,30	2,52
100	659	140	2	12	126,0	13,84	2,94
101	4828	200	2	12	126,0	101,41	4,20
102	478	86	4	12	116,0	18,48	3,32
103	658	130	4	12	116,0	25,44	5,03
104	786	180	4	12	116,0	30,39	6,96
105	364	150	3	15	71,2	5,19	2,14
106	297	170	3	15	71,2	4,23	2,42
107	440	130	3	15	71,2	6,27	1,85
108	718	130	2	16	83,6	7,50	1,36
109	883	200	2	16	83,6	9,22	2,09
110	998	200	2	16	83,6	10,42	2,09
111	470	130	2	12	52,1	4,08	1,13
112	758	170	3	18	86,8	10,96	2,46
113	787,5	150	5	18	52,1	11,39	2,17
114	1063,5	200	4	12	54,8	19,42	3,65
115	907	140	5	12	43,8	16,57	2,56
116	819,5	210	4	18	80,8	14,72	3,77
117	897,5	200	4	18	80,8	16,12	3,59
118	732,5	160	3	16	118,7	16,31	3,56

119	191	130	1	16	205,5	2,45	1,67
120	352,5	160	2	16	102,7	4,53	2,05
121	403	130	2	16	115,1	5,80	1,87
122	405	100	2	16	115,1	5,83	1,44
123	427,5	150	2	16	115,1	6,15	2,16
124	329,5	200	1,5	15	168,0	5,54	3,36
125	414	110	1,5	15	168,0	6,96	1,85
126	306	190	4	16	137,0	10,48	6,51
127	306,5	130	3	16	137,0	7,87	3,34
128	385,5	160	3	16	137,0	9,90	4,11
129	770	190	4	12	116,4	29,89	7,37
130	433	150	7	24	317,0	40,04	13,87
131	581,5	140	7	24	317,0	53,77	12,95
132	485	110	7	24	317,0	44,85	10,17
133	395	5	7	24	113,0	13,02	0,16
134	573	160	7	24	64,6	10,79	3,01
135	832	170	7	24	64,6	15,67	3,20
136	256,5	140	4	24	100,5	4,29	2,34
137	395	190	1	12	21,9	0,72	0,35
138	745,5	160	3	16	182,6	25,53	5,48
139	1299,5	320	3	12	80,4	26,11	6,43
140	249,5	130	2	16	102,7	3,20	1,67
141	813,5	170	4	12	116,4	31,57	6,60
142	909,5	140	2	12	130,1	19,73	3,04
143	168	80	10	16	20,5	2,16	1,03
144	463	120	2	12	123,3	9,51	2,47
145	549	200	1	12	21,9	1,00	0,37
146	338	160	1,5	12	168,0	7,10	3,36
147	327	40	2	12	52,1	2,84	0,35
Schlitz							
1	577,5	170	8	30	68,5	10,55	3,11
2	546	160	8	30	68,5	9,97	2,92
3	569,5	170	8	30	68,5	10,40	3,11
4	582	136	4	24	109,6	10,63	2,48

5	903	230	4	24	109,6	16,49	4,20
6	852	180	4	24	109,6	15,56	3,29
7	531,5	130	4	12	95,9	16,99	4,16
8	179,5	140	3	12	127,9	5,74	4,47
9	27	8	3	12	127,9	0,86	0,26

Aufteilung der Kammern [%]	Verbrauch [m³/a]	spezif. Verbrauch [l/Ewd]	CSB Mittelwert [mg/L]	AFS mg/L	dauerhafte Bewohner [E]	Schlamm freies Volumen [m³/E]	Nutzvolumen Kammer [m³/E]	
	150	150	150	150	150	150	150	Anzahl
	156,5	106,0	618,6	155,8	3,9	1,44	1,8	Mittelwert
	8,0	20,5	47,3	5,0	1,0	0,20	0,3	Minimum
	1100,0	317,0	4828,0	360,0	30,0	4,81	5,8	Maximum
	201,3	60,0	470,7	59,8	4,3	0,94	1,0	Standardabweichung
	129	57	76	38	108	65,15	58	Varianz
	186	159	889	210	5	2,25	2,7	85%-Wert
	1100	317	1708	330	30	4,23	4,4	99%-Wert
	100	91	550	150	3	1,21	1,6	Median
50/25/25	206	282	94	73	2	1,80	2,20	Tauchrohr
50/25/25	89	41	665	90	6	0,72	0,79	
50/25/25	266	182	492	180	4	0,81	1,20	
50/25/25	229	314	604	180	2	1,85	2,83	
50/25/25	103	94	362	120	3	0,78	1,26	
50/25/25	200	110	259	110	5	1,52	1,98	
50/25/25	95	87	1158	312	3	0,87	1,19	
50/25/25	38	52	508	120	2	1,49	1,79	
50/25/25	115	105	657	170	3	1,14	1,26	
50/25/25	60	82	244	110	2	1,52	1,90	
50/25/25	80	55	1662	290	4	0,52	0,90	
50/25/25	11	30	186	98	1	3,78	3,82	

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12

50/25/25	200	110	703	252	5	1,35	1,98	13
50/25/25	97	133	669	186	2	1,75	1,88	14
50/25/25	170	116	521	85	4	0,88	1,02	15
50/25/25	78	53	319	110	4	1,14	1,50	16
50/25/25	97,00	133	924	210	2	1,61	1,88	17
50/25/25	110,00	75	295	160	4	1,05	1,12	18
50/25/25	130,00	119	577	266	3	1,86	2,13	19
50/25/25	130,00	119	520	160	3	1,10	1,26	20
50/25/25	130,00	119	650	150	3	0,94	1,26	21
50/25/25	130,00	119	554	130	3	1,11	1,26	22
50/25/25	87,00	79	265	130	3	0,97	1,26	23
50/25/25	87,00	79	277	98	3	0,84	1,26	24
50/25/25	54,00	74	137	110	2	1,39	1,88	25
50/25/25	54,00	148	536	110	1	2,55	3,77	26
50/25/25	54,00	74	418	190	2	1,88	1,88	27
50/25/25	14,00	38	171	70	1	3,77	3,77	28
50/25/25	14,00	38	63	32	1	3,46	3,77	29
50/25/25	14,00	38	156	80	1	3,61	3,77	30
50/25/25	53,00	73	798	270	2	1,04	1,88	31
50/25/25	53,00	73	603	200	2	0,88	1,88	32
50/25/25	53,00	73	829	330	2	1,32	1,88	33
50/25/25	105,00	144	410	120	2	1,92	2,28	34
50/25/25	105,00	144	575	160	2	1,77	2,28	35
50/25/25	105,00	144	584	210	2	1,64	2,28	36
50/25/25	63,00	58	549	150	3	0,97	1,31	37
50/25/25	63,00	58	591	110	3	1,20	1,31	38
50/25/25	63,00	58	543	120	3	0,73	1,31	39
50/25/25	115,00	158	237	76	2	1,72	1,88	40
50/25/25	200,00	110	201	92	5	1,13	1,13	41
50/25/25	200,00	137	585	150	4	0,79	0,94	42
50/25/25	200,00	137	354	210	4	0,70	0,94	43
50/25/25	200,00	137	336	210	4	0,69	0,94	44

50/25/25	97,00	133	839	210	2	1,61	1,88	45
50/25/25	97,00	133	924	220	2	1,45	1,88	46
50/25/25	180,00	99	885	145	5	0,53	0,75	47
50/25/25	180,00	99	828	250	5	0,67	0,75	48
50/25/25	180,00	99	1613	310	5	0,70	0,75	49
50/25/25	11,00	30	47	98	1	3,26	3,82	50
50/25/25	11,00	30	100	92	1	3,22	3,82	51
50/25/25	710,00	243	928	176	8	0,20	0,47	52
50/25/25	710,00	243	383	110	8	0,37	0,47	53
50/25/25	710,00	243	558	110	8	0,30	0,47	54
50/25/25	170,00	116	677	180	4	1,35	1,60	55
50/25/25	170,00	116	828	200	4	1,43	1,60	56
50/25/25	170,00	116	756	200	4	1,40	1,60	57
50/25/26	1100,00	100	848	160	30	0,23	0,28	58
50/25/25	1100,00	100	1029	210	30	0,25	0,28	59
50/25/25	1100,00	100	570	130	30	0,28	0,28	60
50/25/26	57,00	78	699	155	2	1,34	1,88	61
50/25/25	57,00	78	395	92	2	1,56	1,88	62
50/25/25	57,00	78	510	360	2	1,69	1,88	63
50/25/26	140,00	77	621	95	5	1,21	1,42	64
50/25/25	140,00	77	970	230	5	1,24	1,42	65
50/25/25	140,00	77	377	140	5	1,29	1,42	66
50/25/26	138,00	189	402	235	2	3,01	3,36	67
50/25/25	138,00	189	567	170	2	3,19	3,36	68
50/25/25	138,00	189	445	170	2	3,29	3,36	69
50/25/26	300,00	164	1116	203	5	0,58	0,75	70
50/25/25	300,00	164	1737	330	5	0,58	0,75	71
50/25/25	300,00	164	1355	230	5	0,66	0,75	72
50/25/25	32,00	44	306	126	2	1,51	1,88	73
50/25/25	32,00	44	803	150	2	1,55	1,88	74
50/25/25	21,00	29	949	180	2	1,68	1,88	75
50/25/25	100,00	91	866	130	3	0,89	1,47	76

50/25/25	100,00	91	686	120	3	1,19	1,47	77
50/25/25	100,00	91	709	220	3	1,12	1,47	78
50/25/25	90,00	123	262	150	2	4,26	4,42	79
50/25/25	90,00	123	463	120	2	4,17	4,42	80
50/25/25	8,00	22	408	180	1	3,10	3,77	81
50/25/25	75,00	21	61	42	10	0,80	0,99	82
50/25/25	75,00	21	224	74	10	0,76	0,99	83
50/25/25	66,00	90	653	100	2	2,05	2,08	84
50/25/25	66,00	90	674	130	2	1,64	2,08	85
50/25/25	66,00	90	783	150	2	1,64	2,08	86
50/25/26	45,00	31	528	70	4	0,92	1,08	87
50/25/25	45,00	31	405	130	4	0,91	1,08	88
50/25/25	45,00	31	470	110	4	0,96	1,08	89
50/25/25	129,00	88	461	160	4	0,36	0,46	90
50/25/25	129,00	88	493	180	4	0,35	0,46	91
50/25/25	129,00	88	550	110	4	0,25	0,46	92
50/25/26	144,00	44	434	80	9	0,60	0,71	93
50/25/25	144,00	99	683	160	4	0,87	1,60	94
50/25/25	144,00	99	899	170	4	1,32	1,60	95
50/25/25	119,00	163	443	132	2	1,57	2,04	96
50/25/25	119,00	163	395	100	2	1,66	2,04	97
50/25/25	119,00	163	477	180	2	1,53	2,04	98
50/25/25	110,00	75	396	120	4	0,75	1,12	99
50/25/25	88,00	80	920	230	3	1,48	1,96	100
50/25/25	88,00	80	1143	200	3	1,43	1,96	101
50/25/25	100,00	137	316	70	2	0,30	0,47	102
50/25/25	92,00	126	1157	120	2	2,05	2,70	103
50/25/25	92,00	126	659	140	2	1,87	2,70	104
50/25/25	92,00	126	4828	200	2	1,53	2,70	105
50/25/25	127,00	87	478	86	4	1,08	1,25	106
50/25/25	127,00	87	658	130	4	1,08	1,25	107
50/25/25	127,00	87	786	180	4	1,10	1,25	108

50/25/25	78,00	71	364	150	3	1,53	2,00	109
50/25/25	78,00	71	297	170	3	1,65	2,00	110
50/25/25	78,00	71	440	130	3	1,51	2,00	111
50/25/25	61,00	84	718	130	2	2,05	2,70	112
50/25/25	61,00	84	883	200	2	2,23	2,70	113
50/25/25	61,00	84	998	200	2	2,31	2,70	114
50/25/25	38,00	52	470	130	2	1,37	1,79	115
50/25/25	95,00	87	758	170	3	0,95	1,19	116
50/25/25	95,00	52	788	150	5	0,45	0,72	117
50/25/25	80,00	55	1064	200	4	0,50	0,90	118
50/25/25	80,00	44	907	140	5	0,40	0,72	119
50/25/25	118,00	81	820	210	4	1,21	1,30	120
50/25/25	118,00	81	898	200	4	1,13	1,30	121
50/25/25	130,00	119	733	160	3	1,79	2,13	122
50/25/25	75,00	205	191	130	1	4,81	5,79	123
50/25/25	75,00	103	353	160	2	2,44	2,90	124
50/25/25	84,00	115	403	130	2	3,07	3,41	125
50/25/25	84,00	115	405	100	2	2,78	3,41	126
50/25/25	84,00	115	428	150	2	2,96	3,41	127
50/25/25	92,00	168	330	200	1,5	3,52	3,93	128
50/25/25	92,00	168	414	110	1,5	3,23	3,93	129
50/25/25	100,00	68	306	190	4	0,56	0,76	130
50/25/25	100,00	91	307	130	3	0,71	1,02	131
50/25/25	100,00	91	386	160	3	0,97	1,02	132
50/25/25	170,00	116	770	190	4	0,80	1,02	133
50/25/25	810,00	317	433	150	7	0,63	0,76	134
50/25/25	810,00	317	582	140	7	0,65	0,81	135
50/25/25	810,00	317	485	110	7	0,63	0,81	136
50/25/25	165,00	65	395	5	7	0,69	0,90	137
50/25/25	165,00	65	573	160	7	0,74	0,90	138
50/25/25	165,00	65	832	170	7	0,70	0,90	139
50/25/25	110,00	75	257	140	4	1,08	1,12	140

50/25/25	8,00	22	395	190	1	3,44	3,77	141
50/25/25	200,00	183	746	160	3	1,67	2,13	142
50/25/25	88,00	80	1300	320	3	1,30	1,96	143
50/25/25	75,00	103	250	130	2	2,53	2,90	144
50/25/25	170,00	116	814	170	4	1,02	1,02	145
50/25/25	95,00	130	910	140	2	0,30	0,47	146
50/25/25	75,00	21	168	80	10	0,78	0,99	147
50/25/25	90,00	123	463	120	2	4,04	4,42	148
50/25/25	8,00	22	549	200	1	3,39	3,77	149
50/25/25	92,00	168	338	160	1,5	3,64	3,93	150
	16	16	16	16	16	16	16	Anzahl
	163,1	94,5	512,2	166,8	5,6	1,5	1,9	Mittelwert
	76,0	38,4	27,0	8,0	3,0	0,5	0,6	Minimum
	252,0	163,5	927,0	380,0	18,0	3,1	4,2	Maximum
	42,6	31,3	265,9	80,8	3,7	0,9	1,2	Standardabweichung
	26	33	52	48	66	57	64	Varianz
	200	125	823	218	8	3	3	85%-Wert
	248	158	923	367	17	3	4	99%-Wert
	160	99	558	165	4	1	2	Median
	2610	1512	8195	2669	89	24	30	Summe
50/25/25	119	82	594	170	4	0,9	0,9	Schlitz 1
50/25/25	76	52	737	120	4	2,2	2,3	2
50/25/25	252	38	505	290	18	0,5	0,6	3
50/25/25	136	75	282	120	5	1,2	1,3	4
50/25/25	179	163	105	85	3	1,2	1,3	5
50/25/25	222	101	927	380	6	1,0	1,4	6
50/25/25	126	115	279	180	3	2,2	3,5	7
50/25/25	200	68	546	160	8	0,7	0,7	8
50/25/25	200	68	570	170	8	0,7	0,7	9
50/25/25	200	68	578	170	8	0,6	0,7	10

25/25/25/25	160	110	903	230	4	1,3	1,6		11
25/25/25/25	160	110	852	180	4	1,3	1,6		12
25/25/25/25	160	110	582	136	4	1,4	1,6		13
50/25/25	140	96	532	130	4	2,8	3,1		14
50/25/25	140	128	180	140	3	3,1	4,2		15
50/25/25	140	128	27	8	3	3,1	4,2		16

Tabelle 28 Ergebnisse Messprogramm mit 0,375 m³/E Beschickung auf dem Demonstrationsfeld Altentreptow

bei 150 l/E.d		Zulauf		Ablauf mit Durchlassöffnung				Ablauf mit Tauchrohr			
Datum	Phase 2	CSB (mg/L)	AFS (mg/L)	CSB (mg/L)	ETA (%)	AFS (mg/L)	ETA (%)	CSB (mg/L)	ETA (%)	AFS (mg/L)	ETA (%)
Anzahl		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Mittelwert		783	391	304	59	132	60	281	62	128	65
Minimum		528	210	240	50	100	33	201	30	84	55
Maximum		1536	830	391	75	160	83	483	81	220	77
Standardabweichung		281	189	56	6	20	14	75	12	41	7
Varianz		36	48	18	10	15	24	27	20	32	11
85%-Wert		881	570	366	62	153	77	301	68	163	74
99%-Wert		1477	814	390	73	160	83	466	80	216	77
Median		685	316	302	59	140	57	267	62	115	64
06.12.2011	375 l/E	685	830	340	50	140	83	483	30	220	73
08.12.2011	375 l/E	859	380	332	61	160	58	304	65	170	55
15.12.2011	375 l/E	881	312	333	62	140	55	279	68	110	65
27.12.2011	375 l/E	881	310	381	57	160	48	296	66	140	55
29.12.2011	375 l/E	1536	650	391	75	140	78	294	81	150	77
10.01.2012	375 l/E	685	320	272	60	110	66	256	63	120	63
12.01.2012	375 l/E	615	210	240	61	140	33	240	61	88	58
17.01.2012	375 l/E	571	250	240	58	120	52	218	62	84	66
19.01.2012	375 l/E	528	230	244	54	100	57	201	62	86	63
26.01.2012	375 l/E	588	420	265	55	110	74	240	59	110	74

Tabelle 29 Ergebnisse Messprogramm mit 0,5 m³/E Beschickung auf dem Demonstrationsfeld Altentreptow

Datum	Phase 1	Zulauf		Ablauf MKG mit Schlitz				Ablauf IBB mit T-Stück			
		CSB (mg/L)	AFS (mg/L)	CSB (mg/L)	ETA (%)	AFS (mg/L)	ETA (%)	CSB (mg/L)	ETA (%)	AFS (mg/L)	ETA (%)
Anzahl		25	25	24	24	24	24	21	20	21	21
Mittelwert		929	401	363	50	119	60	337	65	120	68
Minimum		317	75	221	-23	1	-7	107	46	1	20
Maximum		2391	1080	499	87	300	100	639	84	380	100
Standardabweichung		451	231	90	26	67	30	149	12	74	19
Varianz		49	58	25	51	56	50	44	18	62	28
85%-Wert		1277	572	463	79	171	88	472	79	170	87
99%-Wert		2198	1025	499	86	284	100	610	84	342	99
Median		900	370	358	51	120	65	389	64	110	67
06.05.2010	500 I/E	743	220	441	41	70	68				
10./11.05.2010	500 I/E	653	75	462	29	1	99				
25./26.05.2010	500 I/E	1278	455	268	79	1	100	385	70	40	91
09./10.06.2010	500 I/E	1233	440	262	79	70	84	207	83	1	100
14./15.06.2010	500 I/E	1588	710	312	80	90	87	254	84	40	94
23./24.06.2010	500 I/E	652	145	394,5	39	140	3				
30.06.2010	500 I/E										
21./22.07.2010	500 I/E	844,5	435	417,5	51	85	80	290	66	190	56
28./29.07.2010	500 I/E	1167	505	264,5	77	55	89	432,5	63	95	81
04./05.08.2010	500 I/E	925,5	380	297,5	68	25	93	449,5	51	140	63
01./02.09.2010	560 I/E	1427,5	850	296,5	79	160	81	638,5	55	380	55
15./16.09.2010	560 I/E	646	290	321,5	50	110	62	294,5	54	140	52
06./07.10.2010	560 I/E	970,5	300	464	52	180	40	477,5	51	170	43
13./14.10.2010	560 I/E	970,5	520	454	53	230	56	431		130	75
20./21.10.2010	560 I/E	1276,5	620					472	63	80	87
9./10.08.2011	560 I/E	488	200	483	1	190	5				
10./11.08.2011	560 I/E	354	150	434,5	-23	160	-7	122	66	120	20
15./16.08.2011	560 I/E	578,5	270	251	57	110	59	112,15	81	110	59
17./18.08.2011	560 I/E	443,5	160	220,5	50	120	25	106,75	76	90	44
23./24.08.2011	560 I/E	454,5	500	264,5	42	300	40	114,5	75	150	70
30./31.08.2011	560 I/E	316,5	200	279	12	140	30	159	50	66	67
29.03.2012	500 I/E	905	370	421	53	110	70	389	57	86	77
03.04.2012	500 I/E	786	320	415	47	120	63	428	46	140	56
17.04.2012	500 I/E+	2391	1080	300	87	150	86	496	79	170	84
2./3.05.2012	500 I/E	1222	540	499	59	120	78	400	67	86	84
7./8.05.2012	500 I/E	900	280	497	45	120	57	414	54	92	67

Tabelle 30 Messreihe mit der Beschickung von 0,75 m³/E auf dem Demonstrationsfeld Altentreptow

Datum	Phase 2	Zulauf		Ablauf MKG mit Durchlassöffnung				Ablauf MKG mit T-Stück			
		CSB (mg/L)	AFS (mg/L)	CSB (mg/L)	ETA (%)	AFS (mg/L)	ETA (%)	CSB (mg/L)	ETA (%)	AFS (mg/L)	ETA (%)
Anzahl		6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Mittelwert		852	412	370	55	148	61	350	56	143	63
Minimum		589	254	182	42	130	49	297	40	120	53
Maximum		1276	690	491	74	190	78	374	71	170	77
Standardabweichung		245	136	97	12	20	9	26	10	17	8
Varianz		29	33	26	21	13	14	7	18	12	13
85%-Wert		1123	501	454	68	160	67	371	67	163	70
99%-Wert		1265	677	489	74	188	77	373	70	170	76
Median		765	369	381	53	140	61	360	55	140	62
22./23.08.2012	750 I/E	711	378	182	74	140	63	342	52	170	55
28./29.08.2012	750 I/E	646	352	364	44	140	60	297	54	130	63
22./23.10.2012	750 I/E	589	254	345	42	130	49	354	40	120	53
23./24.10.2012	750 I/E	819	360	399	51	140	61	365	55	140	61
29./30.10.2012	750 I/E	1276	690	441	65	150	78	374	71	160	77
02.11.2012	750 I/E	1072	438	491	54	190	57	371	65	140	68

Tabelle 31 Messreihe mit der Beschickung von 01,125 m³/E auf dem Demonstrationsfeld Altentreptow

Datum	Phase 2	Zulauf		Ablauf Subterra (Schlitz)				Ablauf IBB mit T-Stück			
		CSB (mg/L)	AFS (mg/L)	CSB (mg/L)	ETA (%)	AFS (mg/L)	ETA (%)	CSB (mg/L)	ETA (%)	AFS (mg/L)	ETA (%)
Anzahl		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Mittelwert		1420	760	414	67	168	74	559	59	246	65
Minimum		607	280	147	33	110	46	280	24	140	29
Maximum		2775	1546	896	91	400	89	1723	81	840	85
Standardabweichung		597	374	185	17	80	12	407	19	203	19
Varianz		42	49	45	25	47	17	73	33	82	29
85%-Wert		1729	1021	476	81	167	85	658	78	263	82
99%-Wert		2680	1499	860	91	379	89	1634	81	790	85
Median		1411	744	388	70	145	75	435	67	165	74
16.05.2012	1.125 I/E	1705	958	496	71	160	83	345	80	140	85
22.05.2012	1.125 I/E	607	280	406	33	150	46	331	45	140	50
12.06.2012	1.125 I/E	1082	584	321	70	160	73	280	74	140	76
29.06.2012	1.125 I/E	1729	1024	147	91	110	89	328	81	170	83
11.07.2012	1.125 I/E	778	306	440	43	110	64	473	39	160	48
13.07.2012	1.125 I/E	1609	798	375	77	140	82	507	69	230	71
17.07.2012	1.125 I/E	2775	1546	896	68	400	74	1723	38	840	46
19.07.2012	1.125 I/E	976	396	402	59	140	65	740	24	280	29
25.07.2012	1.125 I/E	1214	690	373	69	170	75	427	65	160	77
31.07.2012	1.125 I/E	1729	1016	281	84	140	86	443	74	200	80