

# Erfahrungen aus dem Betrieb eines neuen Sanitärkonzepts über einen Zeitraum von acht Jahren

Martin Oldenburg (Lübeck), Andrea Albold (Lübeck), Claudia Wendland (Hamburg), Ralf Otterpohl (Hamburg)

## Zusammenfassung

Hinsichtlich des Betriebs von neuartigen Sanitärsystemen liegen bisher erst wenig Erfahrungen vor. Die Erfahrungen aus dem langjährigen Betrieb eines Projekts mit getrennter Erfassung von Schwarz- und Grauwasser werden hier dargestellt. Neben den bisher ermittelten Daten hinsichtlich der Effizienz der Stoffstromtrennung und der Zusammensetzung der Teilströme wird auch auf die betrieblichen Erfahrungen eingegangen.

## Schlagwörter

Neuartige Sanitärsysteme, Teilströme, Urin, Fäzes, Schwarzwasser, Vakuumtoiletten, Biogas, Grauwasser, Pflanzenkläranlage

## Einleitung

Das Siedlungsprojekt Flintenbreite mit der getrennten Erfassung von Schwarzwasser (Toilettenabwasser) und Grauwasser (Küchen- und Badabwasser) war eines der ersten Projekte mit Teilströmen auf Siedlungsebene in Deutschland.

Dieses Abwassersystem ist eine von 10 Optionen, die die Autoren im Jahre 1999 vorschlugen [1], und es wird noch heute als ein geeignetes System zu Nährstoffnutzung und einem schonenden Umgang mit den Ressourcen Wasser und Nährstoffen angesehen.

Das Projekt war ausgelegt für ca. 350 Bewohner in 117 Wohneinheiten und startete im Jahr 2000 mit dem Erstbezug. Aufgrund von konjunkturellen Einflüssen in der Bauwirtschaft gab es nach der Errichtung von 30 Wohneinheiten mit 111 Einwohnern eine Unterbrechung des Bauablaufs. Zu diesem Zeitpunkt waren die technischen Erschließungsanlagen für den Endausbau fertig gestellt und sind seitdem in Betrieb. Alle Anlagen der Ver- und Entsorgung und die sonstigen Erschließungskomponenten werden von einer privaten Gesellschaft betrieben, die gegenüber den Bewohnern als Ver- und Entsorgungsgesellschaft auftritt und diese Dienstleistungen verbrauchsgenau abrechnet.

Derzeit findet eine Weiterführung des Projekts mit einem neuen Bauträger statt, hierbei werden technische Modifikationen und Weiterentwicklungen berücksichtigt.

## Material und Methoden

### *Beschreibung des Abwassersystems*

Da das Abwassersystem in anderen Veröffentlichungen [1] detailliert beschrieben worden ist, erfolgt an dieser Stelle lediglich eine Kurzbeschreibung.

Das separat erfasste Grauwasser wird nach Ableitung in einer konventionellen Schwerkraftkanalisation in Pflanzenkläranlagen behandelt. Aufgrund des verzögerten Ausbaus der Siedlung sind nur die Vorbehandlungseinheiten der drei errichteten bepflanzten Bodenfilter in Betrieb; von hier wird das Grauwasser zu einem der drei Bodenfilter gepumpt und biologisch behandelt. Die Inbetriebnahme der anderen Bodenfilter erfolgt demnächst in Abhängigkeit von der Anzahl der angeschlossenen Wohneinheiten.

Das Regenwasser wird oberflächlich abgeleitet und dezentral in diversen Mulden auf dem Gelände versickert. Die Mulden sind in die Oberflächengestaltung der Anlage integriert, lediglich die kontrollierte Strassenquerungen können erst mit Fertigstellung des endgültigen Strassenausbaus erstellt werden.

Durch den Einsatz von Vakuumtoiletten in Verbindung mit einem Vakuumrohrleitungssystem kann Schwarzwasser als hoch konzentrierter Volumenstrom mit geringer Verdünnung erfasst werden. Das Vakuum wird durch eine zentral angeordnete Vakuumstation erzeugt und das Schwarzwasser von hier der weiteren Behandlung zugeführt. Erst hierdurch wird eine anaerobe Behandlung in einer Biogasanlage ermöglicht.

Die Installation des Vakuumsystems in der Flintenbreite war eines der ersten Installationen, bei denen Schwarzwasser ohne weitere Vermischung mit Grauwasser in einem Vakuumsystem über grössere Distanzen transportiert wird. Die Schwarzwasserleitung wurde als geschweisste PE-Leitung mit den Durchmessern 50 – 63 mm (Innendurchmesser) ausgeführt und in dem für Vakuumsysteme typischen Sägezahnprofil verlegt. Inspektionsöffnungen ermöglichen den Zugang zu den Leitungen an den angeschlossenen Hauszeilen und in der Transportleitung auf dem Siedlungsgelände. Alle Leitungen enden im Keller des Technikgebäudes, in dem die zentrale Vakuumstation installiert ist, die mit jeweils zwei Vakuum- und Druckpumpen zum weiteren Transport des Schwarzwassers ausgestattet ist.

Für die weitere Behandlung wurde eine mesophil arbeitende Biogasanlage gebaut, die allerdings aufgrund der noch nicht fertig gestellten Bebauung und den daraus resultierenden niedrigen Schwarzwassermengen noch nicht in Betrieb genommen worden ist. Zusätzlich zum Schwarzwasser werden in der Biogasanlage die im Siedlungsgebiet gesammelten, zerkleinerten Bioabfälle behandelt werden.

Bis auf die Biogasanlage sind alle Installationen seit Anfang 2000 in Betrieb; die Betriebserfahrungen mit dem System sind Gegenstand des vorliegenden Artikels.

### *Datengrundlage*

Die Betriebsgesellschaft ist verantwortlich für die Ver- und Entsorgung der Gebäude und finanziert sich über die Zahlungen der Bewohner. Hierzu werden alle relevanten Verbrauchsgrößen über Zähler erfasst und analog zu dem Vorgehen öffentlicher Versorger einmal jährlich abgerechnet und mit den monatlichen Vorauszahlung verrechnet. Für den operationellen Betrieb beschäftigt die Betriebsgesellschaft eine Person, die für den Betrieb verantwortlich ist und im Falle von Störungen und Unregelmäßigkeiten durch die Bewohner informiert wird. Im Rahmen des normalen Betriebs werden täglich bzw. wöchentlich alle relevanten Anlagenteile inspiziert und protokolliert. Diese Aufzeichnungen und einige Sonderuntersuchungen sind die Basis für die nachfolgende Datenauswertung.

### *Projektstatus*

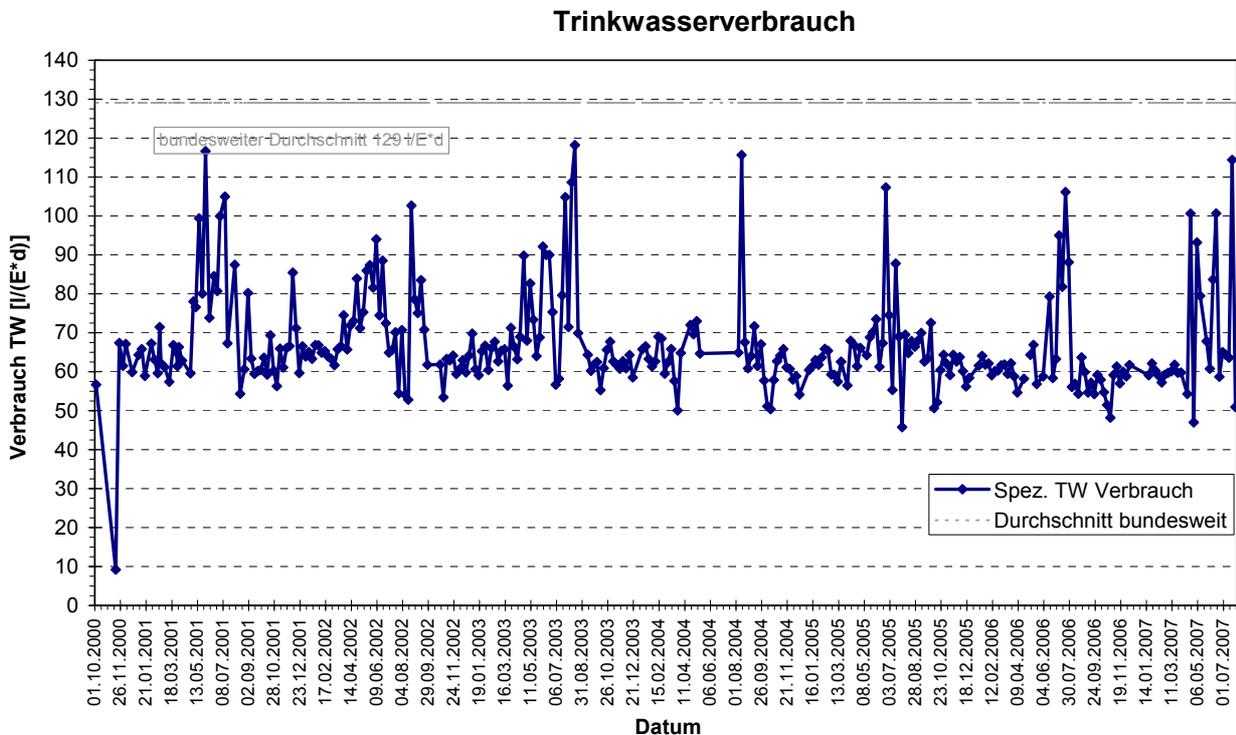
Durch die Fortführung des Projekts durch einen neuen Bauträger wird sich die Bebauungsstruktur auf dem Siedlungsgebiet verändern. Von den geplanten zusätzlichen 66 Wohneinheiten sind 12 Etagenwohnungen, den Rest bilden Reihenhäuser, die fingerförmig um den zentralen Anger angeordnet sind. So kann die geplante Bewohneranzahl auf ca. 300 Einwohner abgeschätzt werden. Derzeit sind 9 der neuen Reihenhäuser fertig gestellt, 6 davon sind bereits bezogen und weitere 7 sind in Bau.

## **Ergebnisse und Diskussion**

### *Wasserverbrauch*

In Abb. 1 ist der tägliche Wasserverbrauch, basierend auf wöchentlichen Ablesungen aufgetragen. Er weist in den Sommermonaten höhere Werte auf, ist ansonsten aber recht konstant. Der einwohnerspezifische Durchschnittsverbrauch beträgt im Mittel  $66 \text{ l}/(\text{Pers} \cdot \text{d})$  und entspricht somit der Hälfte des bundesweiten Durchschnitts von  $127 \text{ l}/(\text{Pers} \cdot \text{d})$ . Der Schwankungsbereich aufgrund des individuellen Verbrauchsverhaltens liegt zwischen  $38 - 118 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d})$ . Die Ursachen für den geringen Wasserverbrauch sind vielfältig: Durch den Einsatz der Vakuumtoiletten beträgt der Wasserverbrauch für die Toilettenspülung ca.  $5 \text{ l}/(\text{Pers} \cdot \text{d})$ . Ferner sind die Häuser ausgestattet mit was-

sersparenden Sanitärinstallationen und die Bewohner haben ebenfalls ein generelles Bewusstsein hinsichtlich eines sparsamen Umgangs mit den Ressourcen entwickelt. Das Trinkwasser fällt nach Verwendung entweder als Grau- oder als Schwarzwasser an. Auf diese beiden Teilströme wird im folgenden weiter eingegangen.



**Abb. 1: Trinkwasserverbrauch als Wochenmittelwert in der Wohnsiedlung Flintenbreite**

### *Grauwasser*

Der größte Anteil des verwendeten Wassers fällt als Grauwasser mit einem mittleren Volumen von 65 l/(Pers\*d) an.

Das anfallende Grauwasser wird in einer Pflanzenkläranlage behandelt, die aus einer Sedimentation für die Elimination der im Grauwasser enthaltenen Feststoffe und der anschließenden biologischen Behandlungsstufe, dem bepflanzten Bodenfilter, besteht.

Daten zur Zusammensetzung des Grauwasser und für den Ablauf der Anlage sind in Tab. 1 gegeben. Die Konzentrationen für den Zufluss der Anlage sind der Untersuchung aus [3] entnommen, für die Grauwasser aus der Flintenbreite verwendet wurde. Es wird deutlich, dass sich die organische Verschmutzung (CSB) und auch die Phosphorkonzentrationen nicht wesentlich von den Zuflusswerten konventioneller Kläranlagen unterscheiden. Deutlich niedriger sind allerdings die Stickstoffkonzentrationen infolge der getrennten Erfassung des Schwarzwassers.

Die Ursache für die hohen Phosphorkonzentrationen im Grauwasser ist in der Verwendung von Maschinengeschirrspülmitteln zu sehen, die laut Herstellerangabe bis zu 30 % an Phosphorverbindungen enthalten können.

Nähere Untersuchungen zur Zusammensetzung haben gezeigt, dass ein höherer Anteil des CSB in kolloidal gelöster Form vorliegt [4]. Ursachen hierfür werden nicht genannt, es kann aber vermutet werden, dass der gegenüber konventionellem Abwasser höhere Anteil an Detergentien aus Wasch- und Reinigungsmitteln einen Einfluss hierauf hat.

Die gute Reinigungsleistung des bepflanzten Bodenfilters ist anhand der niedrigen Ablaufwerte erkennbar. Die organische Verschmutzung ist mit einem CSB-Wert im Abfluss als weitestgehend reduziert zu betrachten. Die Stickstoffverbindungen sind ebenfalls sehr niedrig, lediglich die Phosphorverbindungen aus den Reinigungsmitteln werden im bepflanzten Bodenfilter nur teilweise zurückgehalten.

**Tab 1 Mengen und Konzentrationen des Grauwasser im Zu- und Abfluss der Pflanzenkläranlage im Zeitraum 2003 – 2008 (Tagesmischproben)**

Parameter	Einheit	Zufluss		Abfluss	
		Durchschnitt	Standardabweichung	Durchschnitt	Standardabweichung
Volumen	m <sup>3</sup> /d	<b>6,6</b>	4,1		
Org. Stoffe	CSB	<b>640</b>	127	<b>23</b>	7
	CSB <sub>filtr</sub>	<b>125</b>	37	-	-
	BSB <sub>5</sub>	-		<b>1</b>	0,5
Nährstoffe	N	<b>27,2</b>	3,5	<b>4,5</b>	-
	NH <sub>4</sub> -N	<b>4,2</b>	2,0	<b>0,1</b>	-
	NO <sub>3</sub> -N	-		<b>3,0</b>	-
	P <sub>ges</sub>	<b>9,8</b>	0,6	<b>4,5</b>	-
	PO <sub>4</sub> -P	<b>8,0</b>	0,6	<b>4,5</b>	-

Für eine gute Reinigungsleistung eines bepflanzten Bodenfilters ist die Entfernung von Feststoffen im Zufluss zur Vermeidung von Kolmation des Bodenkörpers eine wichtige Voraussetzung. Daher ist dem Bodenfilter eine Sedimentationsstufe mit einem spezifischen Volumen von 60 l/E vorgeschaltet, dies entspricht einer mittleren Aufenthaltszeit des Grauwassers von 6 Stunden.

Eine erste Schlammernahme aus den Sedimentationsanlagen wurde nach einer Betriebszeit von fünf Jahren durchgeführt, da zu diesem Zeitpunkt der erste der drei in Reihe geschalteten Kammern zu ca. 40 – 50 % mit Schlamm gefüllt war. Messungen des spezifischen Schlammanfalls an den drei in Betrieb befindlichen Absetzanlagen zeigten einen mittleren Schlammanfall von 42 l/(Pers\*Jahr). Dieser Wert liegt deutlich unterhalb der Angaben für den Schlammanfall in herkömmlichen Mehrkammergruben, bei denen mit einem Schlammanfall von 500 l/(Pers\*Jahr) gerechnet werden muss [5].

Der Schlamm aus der Grauwasserbehandlung weist eine hellgraue Farbe auf, nur in den unteren Schichten weist die dunklere Färbung auf anaerobe Abbauvorgänge hin.

#### *Schwarzwasser und Vakuumkanalisation*

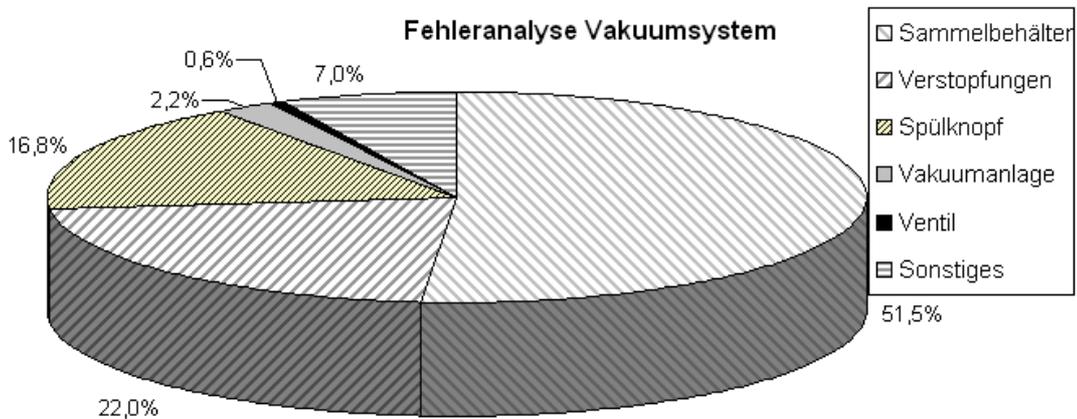
Die installierten Vakuumtoiletten verbraucht je Spülung ca. 0,7 – 1,2 Liter Wasser. Zur Geräuschreduzierung und zur Gewährleistung einer sicheren Ableitung wurden je Haus Zwischensammelbehälter mit einem Volumen von 8 Litern installiert. In diesen Zwischensammelbehältern wird das Schwarzwasser gesammelt und bei Vollerfüllung automatisch über das Vakuumsystem abgesaugt. Dem erhöhten Aufwand für diese Sammelbehälter stand eine erwartete höhere Betriebssicherheit infolge zusätzlicher Sicherheit gegenüber Verstopfungen bei fehlerhafter Benutzung (Störstoffe) und größerem Absaugvolumen und damit verbundener besserer Ableitung gegenüber.

Da das Trinkwasser eine hohe Wasserhärte (84 – 199 mg/l Ca<sup>++</sup>) aufweist, waren seit Projektbeginn erhöhte Ablagerung in den Vakuumleitungen erwartet und eine regelmäßige Reinigung der Rohrleitungen als notwendig erachtet worden.

Die im Vakuumsystem aufgetretenen Fehler wurden über einen Zeitraum von 8 Jahren protokolliert und regelmäßig ausgewertet. Eine Gegenüberstellung der aufgetretenen Fehler zeigt Abb. 2.

Die häufigsten Fehler traten in Verbindung mit den oben beschriebenen Sammelbehältern in den Gebäuden auf. Diese haben sich als zu fehleranfällig erwiesen, Ausfälle infolge der Verstopfung von Luftschläuchen zur Steuerung, Verstopfungen der Steuerungseinheit etc. waren die Ursachen hierfür. Ursache waren vielfach Faserstoffe, die sich in den Luftleitungen sammelten und die Funk-

tion beeinträchtigten. Die Fehlerbehebung war meistens sehr einfach, stellte aber immer einen Eingriff in das System dar und konnte nicht durch die Bewohner in Eigenleistung vorgenommen werden. Daher wurden in den letzten zwei Jahren diese Sammelbehälter schrittweise bei Auftreten einer Störung außer Betrieb genommen und überbrückt, ohne dass es zu einem Komfortverlust bei den Bewohnern oder zu sonstigen Problemen im System gekommen ist.



**Abb. 2: Fehleranalyse des Vakuumsystems Flintenbreite**

Eine andere hohe Fehlerursache stellen Verstopfungen dar. Diese Verstopfungen resultieren teilweise aus Fehlbenutzungen, d.h. die Vakuumtoilette wurde zur Entsorgung von Abfällen (Hygieneartikel, Putzlappen, Katzenstreu etc.) verwendet oder aus der Verwendung von widerstandsfähigen Toilettenpapieren (Feuchttücher). Vielfach ist der Grund für die Verstopfung im Nachhinein nicht festzustellen, da die Ursache bei der Beseitigung meistens mechanisch zerstört und dann direkt über das Vakuumsystem abtransportiert wird. In der letzten Zeit sind vermehrt Ablagerungen an den Rohrwandungen festzustellen, die aus Fällungsprodukten aufgrund der hohen Wasserhärte resultieren. Die Vermutung, dass es sich hierbei um Struvit ausfällungen infolge der hohen Stickstoff-, Phosphat- und Calciumkonzentrationen (im wesentlichen aus dem Urin) handelt, konnte bisher noch nicht bestätigt werden. Die Zugabe von chemischen marktverfügbaren Hilfsstoffen in die Toilette hat sich als nicht hilfreich erweisen, da die Einwirkzeit zu kurz ist, um eine Remobilisierung der Ablagerungen zu erreichen. Gleiches gilt für den Einsatz schwacher Säuren (Zitronen- oder Essigsäure), die lange Einwirkzeiten erfordern und somit eine Außerbetriebnahme der Vakuumkanalisation über mehrere Stunden erforderlich machen würden. Gute Erfahrung wurden mit dem Einsatz der stärkeren Salzsäure gemacht, die innerhalb von 1 – 2 Stunden Einwirkzeit eine Zerstörung der Struktur der Ablagerungen bewirkt, und die dann gemeinsam mit den gelösten Ablagerungen über das Vakuum abtransportiert werden kann. Es ist daher vorgehen, präventiv die Spülung mit der Säure alle 4 – 5 Jahre vorzunehmen, um der Verkrustung der Vakuumleitungen vorzubeugen.

Als sehr störanfällig hat sich der Auslöseknopf für die Spülung der Toiletten erwiesen. Hier kommt es aufgrund der feinen Mechanik innerhalb des Knopfes zu Störungen und fehlerhafter oder nicht möglicher Auslösung der Spülung. Hier ist eine konstruktive Verbesserung durch den Hersteller erforderlich.

Als wenig störungsanfällig hat sich die Vakuumzentrale erwiesen, die aufgrund der doppelten Auslegung von Vakuum- und Druckpumpen eine hohe Verfügbarkeit der Anlagenteile aufweist.

Ebenfalls als robust erweist sich das Vakuumventil in den Toiletten, das die Abgrenzung des Vakuumsystems gegenüber der Atmosphäre darstellt und während des Spülvorgangs zum Ziel der Absaugung geöffnet wird. Hier mussten in den acht Jahren Betriebszeit lediglich drei Membranen in den Ventilen gewechselt werden. Sie sind somit erheblich beständiger, als seinerzeit vom Hersteller genannt wurde (durchschnittliche Lebensdauer von 5 Jahren).

Aufgrund des Unterdrucks von bis zu 0.5 bar im Vakuumsystem werden die Feststoffe des Schwarzwassers (Fäkalien, Toilettenpapier etc.) schnell zerstört und sind in ihrer Struktur an der Vakuumstation nicht mehr erkennbar. Der Energieverbrauch für den Betrieb der Vakuumtoiletten

und den Transport des Schwarzwassers beträgt 50 kWh/(Pers\*a). Durch die regelmäßige Überwachung des Energieverbrauchs können Betriebsunregelmäßigkeiten und Undichtigkeiten schnell erkannt und identifiziert werden.

Die Zusammensetzung des gesammelten Schwarzwassers ist aus der folgenden Abbildung ersichtlich. Diese Daten beruhen auf über 100 Proben, die über einen Zeitraum von 2 Jahren entnommen wurden; Details hierzu können [6] entnommen werden.

**Tab 2 Mengen und Konzentrationen im Schwarzwasser**

	<b>Parameter</b>	<b>Einheit</b>	<b>Durchschnitt</b>	<b>Standardabweichung</b>
	Volumen	m <sup>3</sup> /d	<b>0,5</b>	0,15
Org. Stoffe	CSB	g/m <sup>3</sup>	<b>8.060</b>	2.950
	CSB <sub>filt</sub>	g/m <sup>3</sup>	<b>2.440</b>	670
	TOC	g/m <sup>3</sup>	<b>2.410</b>	720
	TS	g/m <sup>3</sup>	<b>6.530</b>	2.110
	oTS	g/m <sup>3</sup>	<b>4.090</b>	1.830
Nährstoff	N	g/m <sup>3</sup>	<b>1.495</b>	244
	□ NH <sub>4</sub> -N	g/m <sup>3</sup>	<b>1.111</b>	137
	P <sub>ges</sub>	g/m <sup>3</sup>	<b>175</b>	-

Bei der Betrachtung der Mengen und der aus den Konzentrationsangaben ermittelbaren Frachten ergeben sich Abweichungen gegenüber den Literaturwerten. Da es sich bei der Flintenbreite um ein reines Wohngebiet handelt, sind ein großer Anteil der Bewohner Kinder, und die Erwerbstätigen sind aufgrund der Berufstätigkeit außer Haus. Anhand von Bilanzierungen kann abgeschätzt werden, dass im Schwarzwasser der Flintenbreite ca. 60 % der Tagesfracht enthalten ist [6].

Über einen Zeitraum von mehr als 2 Jahren durchgeführte Laborversuche zur anaeroben Behandlung von Schwarzwasser erzielten eine Gasproduktion von 210 l CH<sub>4</sub>/kg CSB<sub>zu</sub>, bei 20 Tagen Verweilzeit. Der anaerobe Abbaugrad liegt dabei über 60 %, (gesamte anaerobe Abbaubarkeit ist 72 %), was vergleichbaren Literaturwerten entspricht. Hieraus lässt sich eine einwohnerspezifische Gasproduktion von 8,4 l CH<sub>4</sub>/(Pers\*d) errechnen. Diese Gasmenge lässt sich durch Zugabe von Küchenabfällen auf 25 l CH<sub>4</sub>/(Pers\*d) erhöhen [6]. Mit dieser produzierten Gasmenge lässt sich lediglich ca. 5 % des Jahreswärmebedarfs der gesamten Siedlung decken. Durch diese Berechnung wird deutlich, dass es sich bei der anaeroben Behandlung von Schwarzwasser mit Bioabfällen primär um eine Anlage der Abwasserbehandlung unter Beibehaltung der Nährstoffkonzentrationen und nicht um eine Anlage zur Energiegewinnung handelt; das angefallene Biogas ist als Nebenprodukt anzusehen.

Die hohen Ammoniumkonzentrationen im Schwarzwasser sind deutlich unterhalb des Konzentrationsbereichs, der eine Hemmung der anaeroben biologischen Prozesse bewirkt. In der Vakuumkanalisation wird aufgrund des niedrigen Dampfdrucks Ammoniak ausgestrippt und über die Abluft der Biogasanlage abgegeben und macht eine Abluftbehandlung in einem Biofilter erforderlich. Die hohen Ammoniakkonzentrationen können je nach verwendetem Rohrmaterial stark korrosiv wirken. Die an einigen wenigen Stellen der Vakuumzentrale eingesetzten verzinkten Stahlrohre waren nach einigen Jahren stark korrodiert und mussten ausgetauscht werden. Auch wenn die Hersteller von Vakuumsystemen verzinkte Stahlleitungen oder Gussrohrleitungen als Rohrmaterial empfehlen ist hiervon in reinen Schwarzwassersystemen aufgrund der hohen Aggressivität in der Gasphase abzuraten. Muffengeschweißte Polyethylenrohre haben sich als widerstandsfähig auch im Falle von Säuerung und Reinigung erwiesen und gewähren auch dauerhaft beständige Verbindungen.

### *Akzeptanz der Bewohner*

Die Einstellung der Bewohner der Siedlung Flintenbreite ist auch nach acht Jahren des Betriebs sehr positiv gegenüber dem Abwassersystem mit der getrennten Erfassung von Grau- und Schwarzwasser. Aufgrund des geringeren Wasserverbrauchs, der angepassten Behandlungsverfahren und der Synergieeffekte bei der Energieversorgung lassen sich im Rahmen der integrierten Ver- und Entsorgung Einsparpotentiale bei den Betriebskosten in Höhe von 15 – 20 % gegenüber den konventionellen Technik erreichen.

Auch die Vakuumtoiletten sind bei den Bewohnern akzeptiert, auch wenn die erhöhte Störunganfälligkeit, insbesondere an den Auslöseknöpfen, zu Beschwerden führte. Durch technische Modifikationen an dem Vakuumsystem ist in letzter Zeit Abhilfe geschaffen worden.

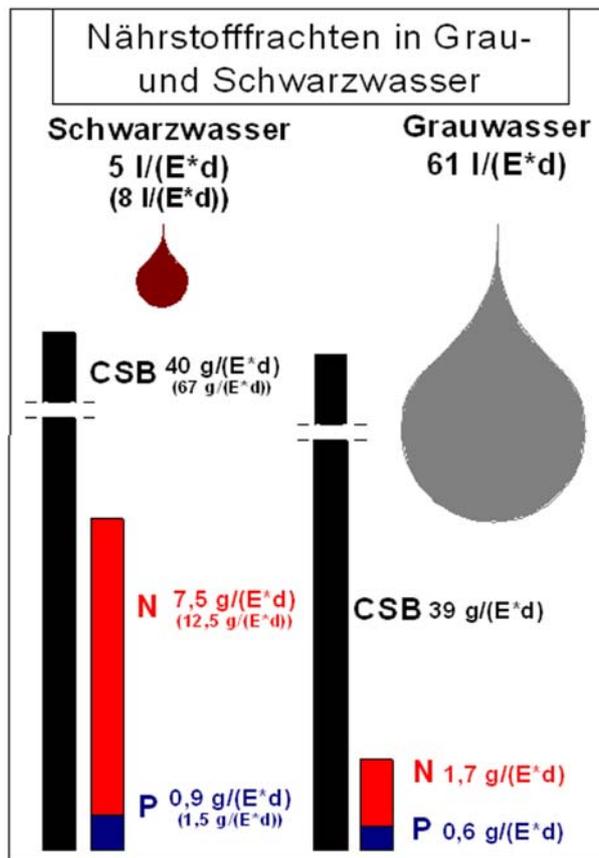
### **Fazit**

In der Wohnsiedlung Flintenbreite werden das Vakuum-Sanitärkonzept, die Grauwasserbehandlung und Regenwasserversickerung seit acht Jahren erfolgreich betrieben.

Die Grauwasserbehandlung läuft stabil und problemlos und erreicht aufgrund des niedrigen Nährstoffgehalts sehr gute Ablaufqualitäten. Obwohl der bepflanzte Bodenfilter direkt an den Garten der Anwohner grenzt, sind keine Beschwerden hinsichtlich Geruchsbildung o.ä. bekannt, vielmehr wird das Schilf als zusätzlicher Sichtschutz positiv empfunden.

Die Effektivität der Stoffstromtrennung und der Verbleib der Nährstoffe im Schwarzwasser wird anhand der Bilanz, die in Abb. 3 dargestellt ist, deutlich. Die Zahlenwerte beziehen sich auf die in den obigen Tabellen gemessenen Werte, die Frachten bei einer vollständigen Erfassung des Teilstroms Schwarzwasser sind in Klammern genannt. Die Frachten bei vollständiger Erfassung des Schwarzwassers stimmen sehr gut mit den Literaturwerten [7] überein.

Im Schwarzwasser finden sich ungefähr 51 % der organischen, 82 % der Stickstoff und 60 % der Phosphorfracht der beiden Teilströme. Aufgrund der effektiven Stoffstromtrennung kann der Teilstrom Schwarzwasser nach adäquater Behandlung als Nährstoffquelle eingesetzt werden.



**Abb. 3: Verteilung der Volumen und Frachten zwischen den Stoffströmen Schwarz- und Grauwasser (Zahlenwerte in Klammern beziehen sich auf die vollständige Schwarzwasserfracht)**

Im Rahmen der Projektfortführung und der Errichtung weiterer Reihenhäuser sind Modifikationen an den Vakuumtoiletten und an der Leitungsführung vorgenommen worden, die aus den Erfahrungen des langjährigen Betriebs resultieren. Eine der geplanten bepflanzten Bodenfilteranlagen wird aufgrund der Veränderung der Flächennutzung gegen eine unterirdische technische Anlage ersetzt werden, so dass zukünftig ein Vergleich der verschiedenen Behandlungsverfahren für das Grauwasser möglich ist.

## Literatur

- [1] Otterpohl, R., Oldenburg, M. (1999): Source Control in Urban Sanitation and Waste Management: 10 options with Ressource Management for different social and geographical conditions, *Water Science & Technology*, Vol. 39, No. 3-4, pp 153-160
- [2] Otterpohl, R., Oldenburg, M., Büttner, S. (1999): Alternative Entwässerungskonzepte zum Stoffstrommanagement, *Korrespondenz Abwasser*, 46. Jahrgang, Nr. 2, S. 204-212
- [3] Elmitwalli, T.A., Otterpohl, R. (2007) Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor, *Water Research* 41, p. 1379 – 1387
- [4] Elmitwalli, T.A., Shalabi, M., Wendland, C., Otterpohl, R. (2007) Grey water treatment in UASB reactor at ambient temperature, *Water Science & Technology* Vol 55, N0 7, pp 173 – 180
- [5] ATV-DVW (1993), Merkblatt ATV-DVWK-M 368: Biologische Stabilisierung von Klärschlamm
- [6] Wendland, C. (2008), Anaerobic Digestion of Blackwater and Kitchen Refuse, an der TU Hamburg-Harburg vorgelegte Dissertation

- [7] Vinneras, B., Palmquist, H., Palmer, P., Jönsson, H. (2006): The characteristics of household wastewater and biodegradable solid waste – A proposal for new Swedish design values. *Urban Water Journal* Vol 3, No. 1: 3-11

## **Autoren**

*Dr.-Ing. Martin Oldenburg*  
*Otterwasser GmbH*  
*Engelsgrube 81, 23552 Lübeck*  
*E-Mail: [oldenburg@otterwasser.de](mailto:oldenburg@otterwasser.de)*

*Dipl.-Ing. Andrea Albold*  
*Otterwasser GmbH*  
*Engelsgrube 81, 23552 Lübeck*

*Dipl.-Ing. Claudia Wendland*  
*TU Hamburg-Harburg*  
*Institut für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz*  
*Eißendorfer Str. 42, 21073 Hamburg*

*Prof. Dr.-Ing Ralf Otterpohl*  
*TU Hamburg-Harburg*  
*Institut für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz*  
*Eißendorfer Str. 42, 21073 Hamburg*