

Erfassung der Abwasserzusammensetzung und Abwasservolumenströme auf Flusskreuzfahrtschiffen



Abschlussbericht

für das

**Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen**



Förderkennzeichen:
IV 9 - 042 545 0030
IV 9 - 042 545 0031

Projektpartner:



Prüf- und Entwicklungsinstitut
für Abwassertechnik
an der RWTH Aachen e.V.

Aachen, im Januar 2008



Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen
Mies-van-der-Rohe-Str. 1 • 52074 Aachen
Tel: 0241 80 25207 • Fax: 0241 80 22285 • isa@isa.rwth-aachen.de



INSTITUT FÜR
SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT



PRÜF- UND ENTWICKLUNGSINSTITUT FÜR
ABWASSERTECHNIK AN DER RWTH AACHEN E.V.



Abschlussbericht

zum Forschungsvorhaben

Erfassung der Abwasserzusammensetzung und Abwasservolumenströme auf Flusskreuzfahrtschiffen

**AZ IV - 9 - 042 545 0030
AZ IV - 9 - 042 545 0031**

für das

**Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen**



Aachen, im Januar 2008

Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp
(ISA)

Dr.-Ing. E. Dorgeloh
(PIA)

Projektpartner

Partner		Bearbeiter
	<p>Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp Mies-van-der-Rohe-Str. 1 52074 Aachen Tel.: 0241 80 25207 Fax: 0241 80 22285 Email: isa@isa.rwth-aachen.de www.isa.rwth-aachen.de</p>	<p>Dr.-Ing. Regina Haußmann</p>
	<p>Prüf- und Entwicklungsinstitut für Abwassertechnik an der RWTH Aachen e.V. Mies-van-der-Rohe-Str. 1 52074 Aachen Tel.: 0241-75082-0 Fax: 0241-75082-29 Email: info@pia.rwth-aachen.de www.pia.rwth-aachen.de</p>	<p>Dr.-Ing. Elmar Dorgeloh Dipl.-Ing. Arndt Kaiser</p>

Projektbeteiligte

 Willkommen an Bord.	<p>Köln-Düsseldorfer Deutsche Rheinschiffahrt AG Frankenwerft 35 50667 Köln Tel: 02 21 / 20 88 - 3 18 Fax: 02 21 / 2 088 - 3 45 Email: info@k-d.com www.k-d.com</p>	<p>Technischer Leiter René Loef</p>
--	--	---

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	III
Kurzzeichen.....	IV
1 Zusammenfassung.....	5
2 Einleitung.....	7
3 Projektverlauf	8
4 Häusliches Abwasser auf Flusskreuzfahrtschiffen	9
5 Untersuchungen an Bord von Flusskreuzfahrtschiffen.....	11
5.1 Überblick zu durchgeführten Untersuchungen	11
5.2 Untersuchungen zu Abwasservolumenströmen	12
5.3 Untersuchungen zur Abwasserzusammensetzung	16
5.4 Bewertung der Untersuchungen.....	23
6 Berechnung von personenspezifischen Schmutzfrachten auf Basis der Untersuchungsergebnisse.....	25
6.1 Festlegung der Grunddaten für die Berechnung personenspezifischer Schmutzfrachten.....	25
6.2 Ergebnisse der Berechnungen personenspezifischer Schmutzfrachten	27
6.3 Anmerkungen zur Berechnung personenspezifischer Schmutzfrachten.....	31
7 Ausblick – Ableitung von Bemessungsgrößen für Bordkläranlagen für Flusskreuzfahrtschiffe	31
8 Literaturverzeichnis	32
9 Anhang: Tabellen Analyseergebnisse.....	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Abwasserteilströme des häuslichen Abwassers	9
Abbildung 2:	Wasserverbrauchsmessungen der Toilettenspülung einer Zwei-Personen-Fahrgastkabine bei Doppelbelegung	13
Abbildung 3:	Wasserverbrauchsmessungen „Wäscherei“	14

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Entstehungsorte häuslicher Abwässer auf Flusskreuzfahrtschiffen.....	9
Tabelle 2:	Untersuchte Abwasserströme	11
Tabelle 3:	Übersicht zu den erfassten Wasserverbrauchszahlen auf den untersuchten Flusskreuzfahrtschiffen	12
Tabelle 4:	Angegebener Wasserverbrauch an Bord von Flusskreuzfahrtschiffen während Kreuzfahrtbetrieb.....	12
Tabelle 5:	Gemessener Wasserverbrauch an Bord von Flusskreuzfahrtschiffen während Hotelbetrieb in der Nebensaison.....	13
Tabelle 6:	Statistische Kenngrößen zum Wasserverbrauch der Toilettenspülung einer Zwei-Personen-Fahrgastkabine bei Doppelbelegung.....	14
Tabelle 7:	Statistische Kenngrößen zum Wasserverbraucher „Wäscherei“	15
Tabelle 8:	Zusammenstellung mittlerer personenspezifischer Wasserverbrauchs- zahlen auf Flusskreuzfahrtschiffen in $l/(P*d)$	16
Tabelle 9:	Zusammensetzung der untersuchten Schwarzwasservolumenströme.....	18
Tabelle 10:	Verteilung der Nährstoffe auf Gelb- und Braunwasser (nach [4])	19
Tabelle 11:	Zusammensetzung der untersuchten Grauwasservolumenströme	20
Tabelle 12:	Zusammensetzung der untersuchten Küchenwässer.....	21
Tabelle 13:	CSB / BSB5 - Verhältnisse untersuchter Abwasservolumenströme	22
Tabelle 14:	CSB / BSB5 – Verhältnis von Abwasservolumenströmen häuslicher Abwässer	23
Tabelle 15:	Angaben zu personenspezifischen Schmutzfrachten	24
Tabelle 16:	Verwendete personenspezifische Wasserverbrauchszahlen für Berechnung personenspezifischer Schmutzfrachten.....	25
Tabelle 17:	Verwendete Abwasserzusammensetzungen für Berechnung personenspezifischer Schmutzfrachten	26
Tabelle 18:	Berechnung „Personenspezifische Schmutzfracht Schwarzwasser“	27
Tabelle 19:	Berechnung „Personenspezifische Schmutzfracht Grauwasser Unterbringung + Wäscherei“	28
Tabelle 20:	Berechnung „Personenspezifische Schmutzfracht Küchenwasser nach Fettabscheider“	29
Tabelle 21:	Berechnung „Personenspezifische Schmutzfracht Küchenwasser unbehandelt“	29

Tabelle 22:	Variationsrechnungen zur Ermittlung personenspezifischer Schmutzfrachten	30
Tabelle 23:	Ergebnisübersicht Berechnung personenspezifischer Schmutzfrachten	30
Tabelle 24:	CSB/BSB5-Verhältnisse der berechneten personenspezifischen Schmutzfrachten	32
Tabelle 25:	Anpassung der berechneten personenspezifischen Schmutzfrachten an CSB/BSB5-Verhältnis 2,3 : 1	32

Kurzzeichen

Kurzform	Dimension	Beschreibung
AFS	mg/l	Abfiltrierbare Stoffe
BSB ₅	mg/l	Biochemischer Sauerstoffbedarf
CSB	mg/l	Chemischer Sauerstoffbedarf
CSB _{hom}	mg/l	Chemischer Sauerstoffbedarf homogenisiert
CSB _{fil}	mg/l	Chemischer Sauerstoffbedarf filtriert
N _{ges}	mg/l	Gesamt Stickstoff
NH ₄ -N	mg/l	Ammonium-Stickstoff
P _{ges}	mg/l	Gesamt Phosphor
TOC	mg/l	Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff
MS		Motorschiff
TC		Twin Cruiser
l		Liter
d		Tag
ZKR		Zentralkommission für die Rheinschifffahrt

1 Zusammenfassung

Im vorliegenden Forschungsvorhaben wurde im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen die Abwassersituation auf Flusskreuzfahrtschiffen untersucht. Hintergrund des Vorhabens war, dass die an Bord von Flusskreuzfahrtschiffen installierten Bordkläranlagen die Abwässer zumeist nur unzureichend reinigen. Die Hauptursache wird darin gesehen, dass die Bordkläranlagen nicht entsprechend der Belastungssituation an Bord dieser Schiffe ausgelegt wurden, da kaum Erfahrungen zur Abwassersituation auf Fahrgastbinnenschiffen vorlagen und aufgrund fehlender Kenntnisse zu Abwasservolumenströmen und Abwasserzusammensetzungen allgemein übliche Bemessungsansätze für kommunale Kläranlagen bei der Dimensionierung der Bordkläranlagen herangezogen wurden. Ziel des Forschungsvorhabens war die Erfassung der Beschaffenheit der auf Flusskreuzfahrtschiffen anfallenden Abwasservolumenströme und eine Ableitung von Bemessungsgrößen für Schiffskläranlagen, die auf dieser Art von Schiffen eingesetzt werden sollen.

Häusliches Abwasser auf Flusskreuzfahrtschiffen fällt bei der Unterbringung, der Bewirtung und der Versorgung der Fahrgäste und des Bordpersonals an. Grau- und Schwarzwasser entstehen im Bereich der Fahrgast- und Personalkabinen, der Wäscherei sowie der Küche und des Restaurants. Schwarzwasser wird zumeist über ein Vakuumsystem und Grauwasser über Schwerkraftleitungen abgeleitet und in Speichertanks zwischengespeichert bevor sie einer Bordkläranlage zugeleitet werden.

Die Größe der Volumenströme und die Zusammensetzung (Abwasserkonzentrationen) der Abwasserteilströme ist abhängig von der technischen Ausrüstung und dem aktuellen Einsatzzweck des Flusskreuzfahrtschiffes sowie von der „Exklusivität“ der Kreuzfahrt, der Anzahl der beförderten Personen und schließlich von den Lebensgewohnheiten der Fahrgäste. Je nachdem, ob und wie ein Schiff im Kreuzfahrtbetrieb oder im Hotelbetrieb eingesetzt wird, können Küche und Wäscherei mehr oder weniger stark ausgelastet sein. Fallen im Küchen- und Restaurationsbetrieb sehr viele Essensreste an, die bei der Geschirreini-gung mit in das Abwasserentsorgungssystem eingeleitet werden, können die Konzentrationen im Abwasser insgesamt deutlich steigen.

Im Rahmen des Vorhabens konnten an Bord von insgesamt vier Flusskreuzfahrtschiffen Abwasserteilströme hinsichtlich ihrer Volumenströme und Zusammensetzungen untersucht werden. Die Abwasserkonzentrationen lagen größtenteils über den Konzentrationen, die aus Deutschland vom Landbereich für häuslich-kommunales Abwasser bekannt sind. Als Hauptgrund dafür wurden die besonderen Lebensgewohnheiten mit einem anderen Konsumverhal-

ten an Bord der exklusiven Schiffe gesehen. Zudem wurde berücksichtigt, dass an Bord dieser Schiffe ein internationales Publikum verkehrt. Aufgrund von anderen Lebensgewohnheiten und Verhaltensweisen kann diese Tatsache auch Einfluss auf die Abwasserzusammensetzung haben.

Zur Bestimmung des Abwasseranfalls an Bord der Schiffe wurde der Wasserverbrauch ermittelt und dem Abwasseranfall gleichgesetzt. Der Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall lag zwischen 120 und 165 Liter pro Person und Tag. Mit den Untersuchungsergebnissen zu den Volumenströmen und den Abwasserkonzentrationen wurden personenspezifische Schmutzfrachten ermittelt. Wird davon ausgegangen, dass das Küchenwasser vor der Behandlung in einer Bordkläranlage mit einem Fettabscheider vorbehandelt wird, ergeben sich personenspezifische Schmutzfrachten, die bis zu 3 Einwohnerwerten entsprechen.

Bei der Bemessung von Bordkläranlagen ist damit eine Person an Bord mit bis zu 3 Einwohnerwerten zu berücksichtigen. Bei der Wahl personenspezifischer Schmutzfrachten zur Auslegung von Bordkläranlagen wird empfohlen, schiffsspezifische Abweichungen hinsichtlich der „Exklusivität“ des jeweiligen Flusskreuzfahrtschiffes in Betracht zu ziehen, da diese Einfluss auf die Abwassersituation an Bord dieser Schiffe haben kann. Die aus den berechneten Schmutzfrachten abgeleiteten Bemessungsgrößen können daher nur als Anhaltswerte verstanden werden.

2 Einleitung

Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW) wurde am Prüf- und Entwicklungsinstitut für Abwassertechnik an der RWTH Aachen e.V. (PIA) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen (ISA) die Abwassersituation auf Flusskreuzfahrtschiffen untersucht.

Hintergrund des Forschungsvorhabens waren Betriebsprobleme mit an Bord installierten Schiffskläranlagen zur Behandlung des häuslichen Abwassers. Mit Inkrafttreten des „Übereinkommens über die Sammlung, Abgabe und Annahme von Abfällen in der Binnenschiffahrt“ der Zentralkommission für die Rheinschiffahrt (ZKR) [1] wird das Einleiten von unbehandelten häuslichen Abwässern von Flusskreuzfahrtschiffen verboten. Das Abwasser ist dann entweder an Bord zu speichern und an Land abzugeben oder durch geeignete Schiffskläranlagen direkt an Bord zu behandeln. Mit Blick auf diese zukünftigen Anforderungen (voraussichtlich ab 2010) ist in den vergangenen Jahren bereits begonnen worden, Schiffskläranlagen in Neubauten zu installieren. Damit sollte den neuen Reglementierungen der ZKR sowie dem allgemein gestiegenen Umweltbewusstsein in der Bevölkerung Rechnung getragen werden.

Nach den ersten Betriebsjahren der Schiffskläranlagen musste erkannt werden, dass die installierten Anlagen nur unzureichend funktionierten und die in Zukunft an sie gestellten Reinigungsanforderungen aller Wahrscheinlichkeit nach nicht erfüllen können. Jetziger Meinungsstand ist, dass die damals installierten Anlagen saniert werden müssen, eventuell sogar vollständig auszutauschen sind. Die Ursache wird darin gesehen, dass momentan kaum Erfahrungen zur Abwassersituation auf Fahrgastbinnenschiffen vorliegen. Aufgrund fehlender Kenntnisse zu Abwasservolumenströmen und Abwasserzusammensetzungen wurden daher allgemein übliche Bemessungsansätze für kommunale Anlagen bei der Dimensionierung der Anlagen herangezogen. Es ist davon auszugehen, dass die Bordkläranlagen nicht der Belastungssituation entsprechend ausgelegt wurden.

Ziel dieses Forschungsprojektes war es, die Beschaffenheit der auf Flusskreuzfahrtschiffen anfallenden Abwasservolumenströme zu ermitteln sowie aus den gewonnenen Erkenntnissen, Bemessungsgrößen für Schiffskläranlagen, die auf dieser Art von Schiffen eingesetzt werden sollen, abzuleiten.

3 Projektverlauf

Zu Beginn des Projektes waren Untersuchungen an Bord des Flusskreuzfahrtschiffes MS Artistry vorgesehen. Nach Kenntnis der Betreiber waren auf diesem Schiff die Probleme am auffälligsten. Im Anschluss sollte entschieden werden, ob die Untersuchungen auf weitere Flusskreuzfahrtschiffe auszuweiten sind, um die erzielten Ergebnisse zu ergänzen bzw. zu verifizieren.

Die Untersuchungen an Bord der MS Artistry waren für die Hauptsaison 2005 während eines regulären Kreuzfahrtbetriebs vorgesehen. Aufgrund der massiven Probleme mit der an Bord installierten Schiffskläranlage wurden in dieser Zeit jedoch Gutachten zur Funktionstüchtigkeit der Schiffskläranlage erstellt, die nicht durch Dritte beeinflusst werden durften. Daher mussten die Untersuchungen durch die RWTH Aachen verschoben werden.

Alternativ zu den Untersuchungen in der Hauptsaison 2005 bestand in der Wintersaison (Nebensaison) die Möglichkeit, die Abwasserbeschaffenheit auf zwei anderen Flusskreuzfahrtschiffen (MS Maxima und MS Viktoria) zu erfassen. Die Schiffe wurden für einen dreitägigen Zeitraum als Hotelschiffe für Messegäste in Düsseldorf eingesetzt. Der Unterschied zur Einsatzzeit in der Hauptsaison lag darin, dass es sich bei diesem Einsatz um eine Art „Hotel Garni Betrieb“ handelte und Küche bzw. Restaurant eine deutlich geringere Auslastung hatten. Vor dem Hintergrund, neben der Ermittlung erster Erkenntnisse über die Abwassersituation, auch die Situation an Bord hinsichtlich Probenahmemöglichkeiten, Durchführung von Probenahmen und Möglichkeiten zur Datenerfassung besser einschätzen zu können, wurde entschieden, diesen Einsatzfall auf den Schiffen MS Maxima und MS Viktoria im Rahmen von Voruntersuchungen zu erfassen.

In den folgenden Hauptsaisons konnten schließlich die Untersuchungen auf dem Flusskreuzfahrtschiff MS Artistry während des Kreuzfahrtbetriebs durchgeführt werden. Zusätzlich fanden weitere Untersuchungen während regulärer Kreuzfahrtbetriebe auf den Flusskreuzfahrtschiffen MS Maxima und TC Tapestry statt. Die zusätzlichen Untersuchungen dienten der Erhöhung der Datendichte und damit der Belastbarkeit der ermittelten Ergebnisse.

4 Häusliches Abwasser auf Flusskreuzfahrtschiffen

Häusliches Abwasser auf Flusskreuzfahrtschiffen fällt bei der Unterbringung, der Bewirtung und der Versorgung der Fahrgäste und des Bordpersonals an. Dabei kann das häusliche Abwasser von Flusskreuzfahrtschiffen in die in Abbildung 1 dargestellten Abwasserteilströme unterschieden werden.

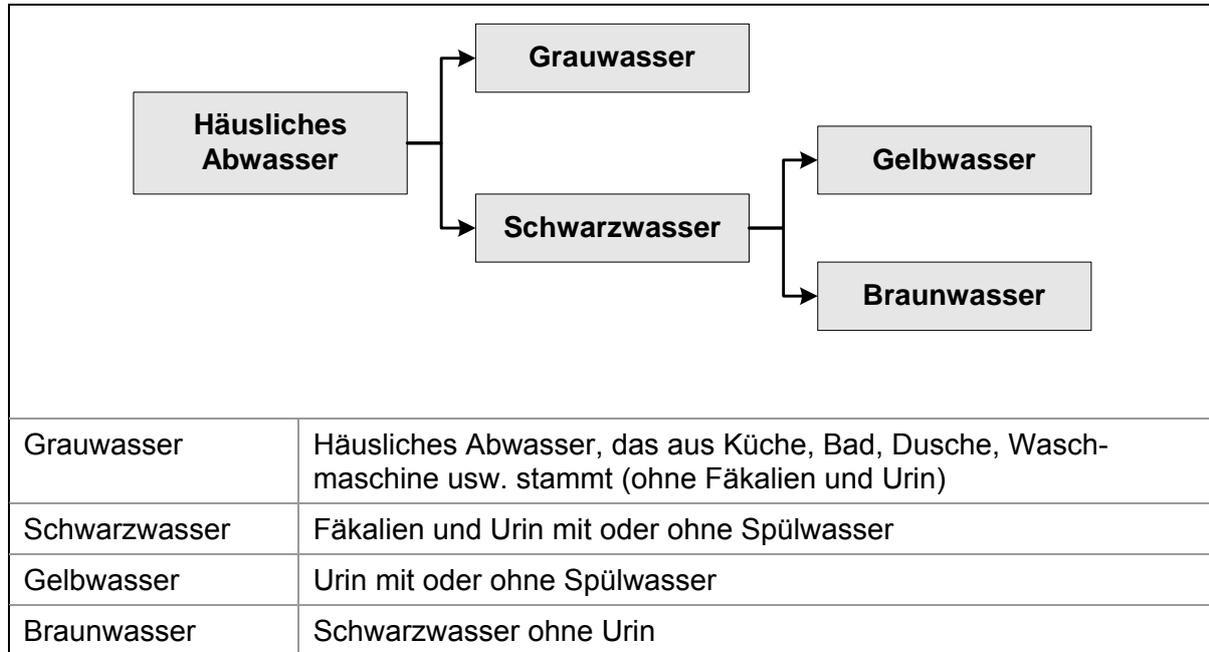


Abbildung 1: Abwasserteilströme des häuslichen Abwassers

Folgende Entstehungsorte für häusliche Abwässer können an Bord von Flusskreuzfahrtschiffen identifiziert werden.

Tabelle 1: Entstehungsorte häuslicher Abwässer auf Flusskreuzfahrtschiffen

Grauwasser	Schwarzwasser
Küche / Restaurant, Bar	Toiletten Fahrgastkabinen
Wäscherei (Waschmaschinen)	Toiletten Personalkabinen
Personalkabinen (Körper- + Raumpflege)	Toiletten Restaurantbereich
Fahrgastkabinen (Körper- + Raumpflege)	
Gästetoiletten (Handwaschbecken)	

Die Größe der Volumenströme und die Zusammensetzung (Abwasserkonzentrationen) der Abwasserteilströme ist abhängig von der technischen Ausrüstung und des aktuellen Einsatzzweckes des Flusskreuzfahrtschiffes sowie von der „Exklusivität“ der Kreuzfahrt, der Anzahl der beförderten Personen und schließlich von den Lebensgewohnheiten der Fahrgäste wie Essen, Trinken, Körperpflege usw. Überwiegend werden zur Ableitung der Schwarzwasserteilströme Vakuumsysteme eingesetzt, um den Spülwasserbedarf zu minimieren. Zudem können so genannte Wasserspar-Armaturen an Bord der Flusskreuzfahrtschiffe installiert sein, die zur Reduzierung des Wasserbedarfs bei der Körperpflege beitragen können oder es werden Waschmaschinen betrieben, die besonders sparsam im Umgang mit Waschwasser sind. Der Einsatzzweck und die Gesamtzahl der beförderten Personen (Summe aus Fahrgästen und Bordpersonal) haben schließlich entscheidenden Einfluss auf den Gesamtabwasseranfall des Schiffs. Je nachdem ob und wie ein Schiff im Kreuzfahrtbetrieb oder im Hotelbetrieb eingesetzt wird, können Küche und Wäscherei mehr oder weniger stark ausgelastet sein. Fallen im Küchen- und Restaurationsbetrieb sehr viele Essensreste an, die bei der Geschirreinigung mit in das Abwasserentsorgungssystem eingeleitet werden, können die Konzentrationen im Abwasser insgesamt deutlich steigen [2].

Neben dem Hotelbetrieb lässt sich auch der Kreuzfahrtbetrieb auf einem Flusskreuzfahrtschiff am Ehesten mit dem Betrieb von Hotels vergleichen. Auch dort können starke Schwankungen im Abwasservolumenstrom und in der Abwasserzusammensetzung je nach Ausstattung und Art des Hotels auftreten. So wird beispielsweise der Wasserverbrauch pro Gast und Tag in Hotels nach [3] zwischen 150 bis 600 l/(P*d) angegeben. Zu berücksichtigen ist bei dem Vergleich zwischen Hotel und Flusskreuzfahrtschiff jedoch, dass die tägliche Aufenthaltszeit der Fahrgäste an Bord von Flusskreuzfahrtschiffen deutlich länger sein kann als die tägliche Aufenthaltszeit von Gästen in Hotels und dass Flusskreuzfahrtschiffe weitestgehend autark betrieben werden müssen und damit eigene Versorgungseinrichtungen wie z.B. eine Wäscherei an Bord haben.

5 Untersuchungen an Bord von Flusskreuzfahrtschiffen

5.1 Überblick zu durchgeführten Untersuchungen

An Bord der untersuchten Schiffe werden die Abwasservolumenströme je nach ihrer Herkunft unterschiedlich gesammelt und abgeleitet. Die einzelnen Grauwasserfraktionen werden nach dem Schwerkraftprinzip über ein druckfreies Rohrleitungs- und Tanksystem gesammelt und schließlich einem Speichertank zugeleitet. Zur Ableitung der Schwarzwässer (Toilettenabwässer) sind auf den Schiffen Vakuumsysteme installiert. Die gesammelten Schwarzwässer werden einem separaten Speichertank zugeleitet. Eine Vermischung des Grauwassers mit dem Schwarzwasser erfolgt erst in den Schiffskläranlagen selbst.

Um den Abwasseranfall auf Flusskreuzfahrtschiffen zu erfassen, wurden an Bord der untersuchten Schiffe der Gesamtwasserverbrauch, der Wasserverbrauch der Wäschereien als ein Hauptverbraucher sowie exemplarisch das Toilettenspülwasser zweier Fahrgastkabinen ermittelt. Es wurde die Annahme getroffen, dass der Abwasseranfall weitestgehend identisch mit dem Wasserverbrauch ist. Der Wasserverbrauch der Küche als weiterer Hauptverbraucher konnte nicht ermittelt werden, da der Warmwasserverbrauch der Küche nicht erfasst wurde.

Je nach den örtlichen Gegebenheiten an Bord der Schiffe konnten Probenahmestellen eingerichtet werden, die es ermöglichten, bereits vermischte Grauwasserströme (Abwässer aus mehreren Entstehungsorten gemäß Tabelle 1) oder aber nur einzelne Teilströme zu beproben. So war es beispielsweise an Bord der TC Tapestry nur möglich, einen Grauwasseranteilstrom getrennt vom Küchenwasser sowie das Küchenwasser separat zu beproben. Die untersuchten Abwasserströme sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Untersuchte Abwasserströme

Schiff (Einsatz)	Schwarzwasser	Grauwasser	Teilstrom Küchenwasser
MS Maxima (Hotelbetrieb)	X	X	-
MS Victoria (Hotelbetrieb)	X	X	-
MS Artistry (Kreuzfahrtbetrieb)	X	X ¹⁾	X ¹⁾
TC Tapestry (Kreuzfahrtbetrieb)	X ²⁾	X ³⁾	X ³⁾
MS Maxima (Kreuzfahrtbetrieb)	-	X ³⁾	-

Anmerkungen zu Tabelle 2:

- 1) Teilstrom Küchenwasser im Grauwasserstrom enthalten
- 2) Nach Auswertung der Schwarzwasserströme zeigte sich, dass keine homogenen Abwasserproben genommen wurden. Die Analyseergebnisse waren daher nur bedingt auswertbar.
- 3) Teilstrom Küchenwasser nicht im Grauwasserstrom enthalten

5.2 Untersuchungen zu Abwasservolumenströmen

Während des Hotelbetriebs wurden auf den untersuchten Schiffen MS Victoria und MS Maxima kurzzeitig Wasseruhren zur Ermittlung des Gesamtwasserverbrauchs installiert. Während des Kreuzfahrtbetriebs wurde der tägliche Gesamtwasserverbrauch an Bord der untersuchten Schiffe MS Artistry und MS Tapestry entsprechend den Erfahrungswerten der Schiffsmaschinisten abgeleitet. Eine Installation von Wasseruhren war für diese Untersuchungen nicht möglich gewesen. Für die MS Maxima konnten für den Kreuzfahrtbetrieb keine Angaben zum Wasserverbrauch gemacht werden. Um abschätzen zu können, wie hoch der tägliche Schwarzwasservolumenstrom ist, wurden an Bord der MS Artistry und an Bord der TC Tapestry jeweils eine Wasseruhr an einer Toilettenspülung in einer Fahrgastkabine montiert. Zusätzlich war es möglich, an Bord dieser beiden Schiffe Wasseruhren zu installieren, um den Frischwasserbedarf der jeweiligen Wäscherei zu ermitteln. In Tabelle 3 ist eine Übersicht zu den erfassten Wasserverbrauchszahlen dargestellt.

Tabelle 3: Übersicht zu den erfassten Wasserverbrauchszahlen auf den untersuchten Flusskreuzfahrtschiffen

Schiff	MS Maxima	MS Viktoria	MS Artistry	TC Tapestry
Gesamtwasserverbrauch	X ¹⁾	X ¹⁾	X ²⁾	X ²⁾
Wasserverbrauch Wäscherei	-	-	X ¹⁾	X ¹⁾
Wasserverbrauch Toilettenspülung in einer Passagierkabine	-	-	X ¹⁾	X ¹⁾

Anmerkungen zu Tabelle 2:

1) Erfassung Wasserverbrauch über Wasseruhren

2) Wasserverbrauch abgeleitet aus Erfahrungswerten der Bordmaschinisten

Die täglichen Gesamtwasserverbräuche (Erfahrungswerte der Bordmaschinisten) für den Kreuzfahrtbetrieb bei Maximalauslastung sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Angegebener Wasserverbrauch an Bord von Flusskreuzfahrtschiffen während Kreuzfahrtbetrieb

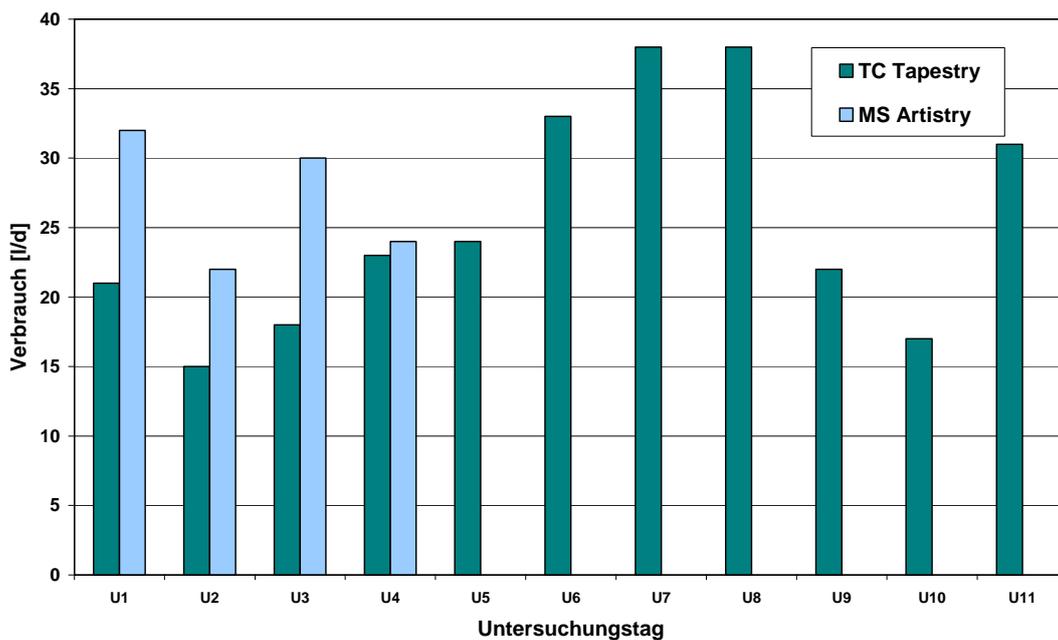
Schiff	Täglicher Wasserverbrauch [m ³ /d]	Personenkapazität (Maximalauslastung)	Personenspezifischer Wasserverbrauch [l/(P*d)]
MS Artistry	30 – 35	218	138 – 160
TC Tapestry	30 – 35	245	122 – 143

Der über Wasseruhren ermittelte Gesamtwasserverbrauch während des Einsatzes als Hotel-
schiff für Messegäste ist in Tabelle 5 dargestellt.

**Tabelle 5: Gemessener Wasserverbrauch an Bord von Flusskreuzfahrtschiffen
während Hotelbetrieb in der Nebensaison**

Schiff	Gemessener Wasser- verbrauch [m ³]	Zeitraum [h]	Personen- kapazität	Personenspezifischer Wasserverbrauch [l/(P*d)]
MS Viktoria	39	60	110	142
MS Maxima	44	61	99 - 112	165

Aus den Angaben zu den (täglichen) Gesamtwasserverbräuchen und den an Bord befindli-
chen Personen ergeben sich personenspezifische Wasserverbräuche von ca. 120 bis
165 l/(P*d). Folgende tägliche Wasserverbräuche der Toilettenspülung einer Fahrgastkabine
bei Doppelbelegung wurden an Bord der Schiffe MS Artistry und TC Tapestry über Wasser-
uhren ermittelt.



**Abbildung 2: Wasserverbrauchsmessungen der Toilettenspülung einer
Zwei-Personen-Fahrgastkabine bei Doppelbelegung**

Aus den ermittelten Wasserverbrauchszahlen ergeben sich folgende statistische Kenngrößen.

Tabelle 6: Statistische Kenngrößen zum Wasserverbrauch der Toilettenspülung einer Zwei-Personen-Fahrgastkabine bei Doppelbelegung

Kenngröße	Dim	TC Tapestry	MS Artistry
Anzahl Messungen	-	11	4
Mittelwert	[l/d]	25	27
Min	[l/d]	15	22
Max	[l/d]	38	32
85%-Perzentil	[l/d]	36	- ¹⁾

¹⁾ Anzahl Messungen zu gering

Aus Tabelle 6 ergibt sich ein mittlerer personenspezifischer Wasserverbrauch von etwa 13 l/(P*d) mit einem Schwankungsbereich von 8 bis 19 l/(P*d). Dieser Wasserverbrauch ist in erster Linie von dem eingestellten Spülwasservolumenstrom abhängig und kann daher einer hohen Streubreite unterliegen. Für den Hauptverbraucher „Wäscherei“ wurden folgende Wasserverbrauchszahlen ermittelt.

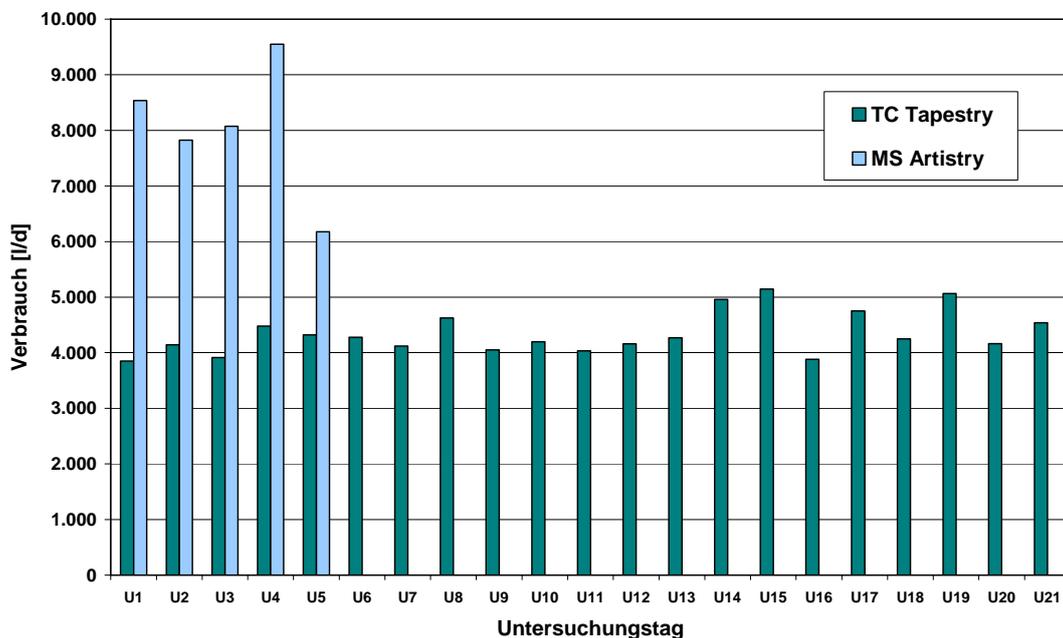


Abbildung 3: Wasserverbrauchsmessungen „Wäscherei“

Folgende statistische Kenngrößen können aus der Erfassung ermittelt werden.

Tabelle 7: Statistische Kenngrößen zum Wasserverbraucher „Wäscherei“

Kenngröße	Dim	TC Tapestry	MS Artistry
Anzahl Messungen	-	21	5
Mittelwert	[l/d]	4.343	8.033
Min	[l/d]	3.850	6.178
Max	[l/d]	5.144	9.550
85%-Perzentil	[l/d]	4.750	- ¹⁾

¹⁾ Anzahl Messungen zu gering

Während der Messungen waren an Bord der TC Tapestry 152 Passagiere und 44 Besatzungsmitglieder, insgesamt 196 Personen an Bord. An Bord der MS Artistry befanden sich 160 Passagiere und 40 Besatzungsmitglieder, demnach insgesamt 200 Personen. Aus den statistischen Kenngrößen ist ein spezifischer Wasserverbrauch von ca. 23 l/(P*d) für die TC Tapestry und ca. 40 l/(P*d) für die MS Artistry ableitbar. Die Abweichungen der beiden Schiffe untereinander können damit erklärt werden, dass beide Schiffe mit unterschiedlichen Waschmaschinen ausgerüstet sind bzw. die Waschmaschinen hinsichtlich Reinigungsprogramm, Befüllung der Waschmaschinen usw. unterschiedlich betrieben worden sind.

Während des Hotelbetriebs betrug der Wasserverbrauch der Wäschereien an Bord der MS Viktoria und MS Maxima über die gesamte Einsatzzeit jeweils 8,4 m³. Bezogen auf die Anzahl der Personen an Bord (vgl. Tabelle 5) ergeben sich spezifische Verbrauchswerte von 29 bis 30 l/(P*d).

Abschließend sind in Tabelle 8 die sich aus den Untersuchungen ergebenden mittleren personenspezifischen Wasserverbrauchszahlen zusammengetragen. Aus einer Differenzbetrachtung des Gesamtwasserverbrauchs und der einzelnen untersuchten Teilverbraucher „Toilettenspülung“ und „Wäscherei“ kann der Wasserverbrauch für die weiteren Verbraucher „Küche“ und „Unterkunft“ (Körperpflege + Raumpflege) abgeleitet werden.

Tabelle 8: Zusammenstellung mittlerer personenspezifischer Wasserverbrauchszahlen auf Flusskreuzfahrtschiffen in l/(P*d)

Schiff	TC Tapestry Kreuzfahrtbetrieb	MS Artistry Kreuzfahrtbetrieb	MS Viktoria Hotelbetrieb	MS Maxima Hotelbetrieb
Gesamt	132	149	142	165
Wäscherei	23	40	30	29
Toilettenspülung	13	14	-	-
Differenz (Küche+Unterkunft)	96	95	-	-

Es fällt auf, dass der Gesamtwasserverbrauch pro Person und Tag während einer Flusskreuzfahrt nicht über dem Verbrauch während eines Hotelbetriebs (Hotel Garni) lag, obwohl die Küche während der Flusskreuzfahrt deutlich höher ausgelastet war. Die Gründe dafür liegen daher sehr wahrscheinlich in den unterschiedlichen technischen Ausstattungen der Schiffe.

5.3 Untersuchungen zur Abwasserzusammensetzung

Bei allen untersuchten Abwasserproben handelte es sich um einfache Stichproben, die über den Tag morgens (~ 08:00 Uhr), mittags (~ 12:00 Uhr) und abends (~ 20:00 Uhr) genommen und zu einer zeitproportionalen Mischprobe zusammengeführt wurden. Nach Absprache mit dem Bordpersonal erfolgten die Probenahmen durch den jeweiligen Bordmaschinisten. Die Abwasserproben wurden an Bord der Schiffe in Kühlboxen bis zur Abholung aufbewahrt. Die Abholung der Abwasserproben erfolgte regelmäßig im 2- bis 3- Tagesrhythmus durch Mitarbeiter des PIA. Die Analysen der Abwasserproben wurden im Labor des ISA-Institutes gemäß DIN/EN-Analytik durchgeführt.

Während des Hotelbetriebs in der Nebensaison wurden die schiffseigenen Küchen nur zur Zubereitung des Frühstücks genutzt (Hotel Garni). Ein Einfluss des Küchenabwassers auf die Zusammensetzung des gesamten Grauwasservolumenstroms war hierbei nicht ermittelbar (vgl. Tabelle 2). Küchenabwasser setzt sich im Wesentlichen aus Wasser zur Essenszubereitung und Spülwasser zusammen und enthält in der Regel größere Mengen an festen und flüssigen Lebensmittelresten organischer Herkunft. Küchenabwasser ist üblicherweise sehr hoch mit organischen Inhaltsstoffen belastet; entsprechend hoch sind die CSB- und BSB₅-Konzentrationen. Bei der Auswertung der Zusammensetzung der Grauwasserströme an Bord der MS Maxima während des Kreuzfahrtbetriebs stellte sich bei anschließenden Nachforschungen heraus, dass auch hier kein Einfluss von Küchenabwasser ermittelbar war,

da der Teilstrom Küchenabwasser nicht in den Grauwassertank mit eingeleitet wurde (vgl. Tabelle 2).

Bei der Auswertung der Schwarzwasservolumenströme wurde festgestellt, dass die Untersuchungsergebnisse durch Absetzprozesse im Schwarzwassertank an Bord der TC Tapestry verfälscht wurden. Aufgrund der Höhe der Probenahmestelle und der Tatsache, dass eine Homogenisierung durch Zirkulationspumpen entgegen einer anfänglichen Vermutung nicht dauerhaft gewährleistet war, wurden abgesunkene Feststoffe nicht mit erfasst. Die Untersuchungsergebnisse dieser Abwasserproben sind daher nur bedingt auswertbar.

In den folgenden Tabellen sind die Bereiche (Min- / Max- Werte) der gemessenen Konzentrationen sowie die sich aus den Einzelmessungen ergebenden mittleren Konzentrationen (Mittelwerte) für die untersuchten Abwasserteilströme Schwarzwasser, Grauwasser und Küchenwasser angegeben.

Tabelle 9: Zusammensetzung der untersuchten Schwarzwasservolumenströme

Parameter		MS Viktoria Hotelbetrieb		MS Maxima Hotelbetrieb		MS Artistry Kreuzfahrtbetrieb		MS Tapestry ¹⁾ Kreuzfahrtbetrieb	
Anzahl Messwerte		3		3		8		7	
pH	-	8,6		8,8		8,7		7,2	
		8,6	8,6	8,7	8,9	7,7	9,0	7,0	7,9
Leitfähigkeit	µS/cm	9.410		9.747		7.766		1.729	
		7.230	10.700	9.110	10.900	5.600	11.700	1.430	2.030
CSB_{hom}	mg/l	19.733		16.967		5.511		1.025	
		15.900	26.600	14.100	18.700	1.740	11.600	813	1.430
CSB_{fil}	mg/l	2.823		3.082		1.566		580	
		2.090	3.390	2.605	3.570	216	3.070	495	628
BSB₅	mg/l	5.507		5.240		1.713		413	
		4.230	6.390	3.800	6.240	694	3.570	305	562
NH₄-N	mg/l	745,0		837,0		1.041,8		79,4	
		514,0	1.083,0	658,0	943,0	87,0	1.850,0	16,0	128,0
N_{ges}	mg/l	1.043,3		1.163,3		1.174,8		128,3	
		890,0	1.210,0	1.010,0	1.450,0	105,0	2.250,0	86,0	183,0
P_{ges}	mg/l	342,0		381,0		152,3		25,7	
		293,0	378,0	339,0	458,0	42,9	326,2	22,3	30,6
AFS	mg/l	11.603		12.133		3.516		499	
		8.570	16.400	11.200	14.000	561	12.300	246	877
TOC	mg/l	6.300		5.463		1.924		417	
		4.700	9.100	4.800	5.990	550	3.800	290	574
Lipophile Stoffe	mg/l	573		762		348		166	
		422	724	260	1.150	12	683	21	416
Bemerkungen		-		-		Lipophile Stoffe 2 Messungen		Lipophile Stoffe 4 Messungen	

¹⁾ Nach Auswertung der Schwarzwasserströme zeigte sich, dass keine homogenen Abwasserproben genommen wurden. Die Analyseergebnisse waren daher nur bedingt auswertbar.

Auf den Schiffen MS Viktoria und MS Maxima, die in der Nebensaison beprobt wurden, wurden deutlich höhere Konzentrationen gemessen, die im Vergleich zu den gemessenen Konzentrationen an Bord der MS Artistry um den Faktor 3 höher lagen. Allein beim Nährstoffparameter Stickstoff konnte dieses Verhältnis nicht festgestellt werden.

In erster Linie ergaben sich die Konzentrationen in Abhängigkeit der eingestellten Spülwassermengen der Vakuumtoiletten. Auf Rückfrage bestätigte der zuständige technische Leiter der Flusskreuzfahrtschiffe, dass die Spülwassermengen nicht auf jedem Schiff gleich einge-

stellt sind, sondern in Abhängigkeit der Situation und der Betriebsstabilität des gesamten Vakuumssystems gewählt werden. Ein Schwankungsbereich zwischen 1,0 und 3,0 Liter pro Spülung ist durchaus möglich. Da in der Nebensaison keine Volumenstrommessungen durchgeführt werden konnten, ist ein direkter Vergleich nicht möglich.

Der Grund, dass bei den Stickstoffkonzentrationen der Faktor 3 nicht feststellbar war, wird in erster Linie in den unterschiedlichen Einsatzzwecken und dem Verhalten der Gäste an Bord gesehen. Während dieses speziellen Hotelbetriebes dienten die Flusskreuzfahrtschiffe als reine Übernachtungsmöglichkeiten für Messegäste. Die Aufenthaltszeit der Gäste beschränkte sich hier überwiegend auf die Nachtzeit, während in der Hauptsaison die Passagiere der Flusskreuzfahrten, mit Ausnahme von kurzen Landausflügen, den gesamten Tag an Bord verbrachten. Hieraus können sich Änderungen im Verhältnis der Gelb- und Braunwasseranteile im gesamten Schwarzwasservolumenstrom ergeben. Nach [4] kann folgende Verteilung der Nährstoffe auf Gelb- und Braunwasser festgestellt werden.

Tabelle 10: Verteilung der Nährstoffe auf Gelb- und Braunwasser (nach [4])

Nährstoff	Gelbwasser	Braunwasser
Phosphor	> 50 %	< 50 %
Stickstoff	> 80 %	< 20 %

Tabelle 10 kann entnommen werden, dass Gelbwasser den überwiegenden Anteil an Stickstoff enthält. Unter der Annahme, dass Gelbwasser überwiegend über den Tag abgegeben wird, wurde der im Urin enthaltene Stickstoff während des Hotelbetriebs nicht in der Menge an Bord abgegeben wie während des Kreuzfahrtbetriebs.

Nach [5] umfasst Schwarzwasser etwa 60% der personenspezifischen täglichen CSB-Fracht, aufgeteilt auf 13% Gelbwasseranteil und 47% Braunwasseranteil. Bei einer spezifischen CSB-Gesamtfracht von 120 g/(P*d) im häuslichen Abwasser resultiert daraus eine tägliche Fracht von 72 g CSB/(P*d). Je nach Spülwassermenge und Schiffeinsatz bzw. Fahrgastverhalten können CSB-Konzentrationen in der Größenordnung von 5.000 bis 20.000 mg/l berechnet werden, was den gemessenen Werten entspricht. Nach [6] liegen Untersuchungsergebnisse zur Abwasserzusammensetzung von Schwarzwasser aus Vakuumtoiletten mit CSB-Konzentrationen von etwa 9.000 mg/l und BSB₅-Konzentrationen von etwa 2.740 mg/l vor. Vor diesem Hintergrund liefern die Messungen plausible Ergebnisse.

Die untersuchten Schwarzwasservolumenströme an Bord der TC Tapestry sind aus den bereits oben genannten Gründen nur bedingt auswertbar. Anhand der geringen Anteile an AFS-Fractionen konnte erkannt werden, dass die Schwarzwasserproben durch Absetzprozesse im Schwarzwassertank verfälscht wurden. Ein erhöhter Spülwasserverbrauch der Va-

kuumtoiletten konnte ausgeschlossen werden, wie die Ausführungen in Kapitel 5.2 (vgl. Tabelle 6) zeigen. Auf eine Betrachtung wird daher nicht näher eingegangen.

In Tabelle 11 sind die gemessenen Konzentrationen der Grauwasservolumenströme dargestellt.

Tabelle 11: Zusammensetzung der untersuchten Grauwasservolumenströme

Parameter		MS Viktoria Hotelbetrieb	MS Maxima Hotelbetrieb	MS Maxima Kreuzfahrthb.	MS Tapestry Kreuzfahrthb.	MS Artistry Kreuzfahrthb.					
Anzahl Messwerte		3	3	7	7	8					
pH	-	7,2		7,0		6,6		6,9		6,5	
		7,1	7,4	6,9	7,3	6,0	6,8	6,7	7,2	5,8	7,7
Leit- fähigkeit	$\mu\text{S/cm}$	1.110		987		1.297		1.074		888	
		1.040	1.230	840	1.100	740	3.490	1.020	1.150	575	1.550
CSB_{hom}	mg/l	670		799		1.100		969		1.735	
		565	873	423	1.160	861	1.280	324	2.020	382	4.470
CSB_{fil}	mg/l	389		297		671		548		552	
		289	543	188	415	438	1.050	226	898	159	1.100
BSB₅	mg/l	292		488		395		493		590	
		242	371	218	892	206	507	109	1.140	238	1.050
NH₄-N	mg/l	5,9		5,9		10,9		11,8		17,1	
		4,9	7,7	2,6	10,0	4,4	16,0	3,5	24,0	1,1	85,0
N_{ges}	mg/l	21,3		29,7		26,0		29,1		37,1	
		16,0	29,0	13,0	47,0	17,0	37,0	16,0	42,0	12,0	136,0
P_{ges}	mg/l	17		11,7		21,2		17,3		19,1	
		14	23	9	15	10,8	26,2	10,6	33,2	4,8	35,3
AFS	mg/l	204		577		232		262		363	
		145	281	250	1.060	185	284	74	536	5	1.160
TOC	mg/l	220,0		320		291		274		464	
		180,0	290,0	170	500	162	395	96	411	106	1.250
Lipophile Stoffe	mg/l	43		141		105		155		78	
		22	62	42	326			107	227	46	110
Einfluss Küchenwasser		nein		nein		nein		nein		ja	
Bemerkungen		-		-		Lipophile Stoffe 1 Messung		Lipophile Stoffe 3 Messungen		Lipophile Stoffe 2 Messungen	

Bis auf den untersuchten Grauwasservolumenstrom an Bord der MS Artistry konnte der Einfluss von Küchenwasser weitestgehend ausgeschlossen werden. Der Einfluss des Küchenwassers beim Grauwasservolumenstrom der MS Artistry ist an den deutlich höheren CSB-Konzentrationen im Maximumbereich erkennbar. Am Parameter Lipophile Stoffe ist dies nicht ersichtlich, wobei hier jedoch der Grund die geringe Anzahl der Messungen (2 Messungen an Bord der MS Artistry) ist. Im Hinblick auf die von [5] veröffentlichte Verteilung der In-

haltsstoffe in Grau- und Schwarzwasser liegen die CSB-Konzentrationen deutlich über denen, die von der Zusammensetzung von häuslich-kommunalem Abwasser her bekannt sind. Nach [5] ergibt sich ein Konzentrationsbereich von 180 bis 680 mg/l, in Abhängigkeit davon, auf welchen Grauwasservolumenstrom (angegeben zwischen 70 und 270 l/(P*d)) die tägliche personenspezifische CSB-Fracht von 48 g/(P*d) (Anteil 40%) bezogen wird. Wie die Untersuchungen zum Wasserverbrauch gezeigt haben, kann dieser Einfluss jedoch nur bedingt als alleinige Ursache für die Größenordnung der Konzentrationen gesehen werden. Es ist vielmehr zu berücksichtigen, dass aufgrund der „Exklusivität“ von Kreuzfahrten auf Kreuzfahrtschiffen höhere Schmutzfrachten anfallen können als beispielsweise in einem Personenhaushalt. Befragungen zum Konsumverhalten und den Lebensgewohnheiten waren aus Zeitgründen und logistischen Gründen nicht möglich, so dass konkretere Rückschlüsse nicht gezogen werden konnten. In folgender Tabelle sind die Zusammensetzungen der untersuchten Küchenwässer dargestellt.

Tabelle 12: Zusammensetzung der untersuchten Küchenwässer

Parameter		MS Artistry Kreuzfahrtbetrieb		TC Tapestry Kreuzfahrtbetrieb	
Anzahl Messwerte		3		7	
pH	-	5,0		5,6	
		5,0	5,1	5,1	5,8
Leitfähigkeit	µS/cm	1.076		1.484	
		828	1.360	1.250	1.690
CSB_{hom}	mg/l	9.287		4.723	
		4.230	13.800	2.580	9.850
CSB_{fil}	mg/l	2.170		2.310	
		1.510	2.590	1.670	2.990
BSB₅	mg/l	2.190		1.706	
		-	-	1.010	2.870
NH₄-N	mg/l	1,9		8,6	
		0,4	2,8	1,3	20,0
N_{ges}	mg/l	57,3		48,6	
		28,0	102,0	39,0	82,0
P_{ges}	mg/l	68,1		65,7	
		45,6	86,8	53,3	75,7
AFS	mg/l	9.733		2.876	
		5.200	12.600	357	15.300
TOC	mg/l	2.713		1.395	
		1.080	4.670	789	2.290
Lipophile Stoffe	mg/l	8.700		745	
		8.320	9.340	46	3.190
Bemerkungen		BSB ₅ 1 Messung		-	

Die Probenahmestellen konnten nur hinter dem jeweiligen Fettabscheider installiert werden. Die gemessenen Konzentrationen an lipophilen Stoffen (zwischen 8.320 bis 9.340 mg/l) und abfiltrierbaren Stoffen (5.200 – 12.600 mg/l) im Küchenwasser der MS Artistry lassen vermuten, dass der an Bord installierte, beheizbare Öl- und Fettabscheider nicht ordnungsgemäß in Betrieb war. Entsprechend hoch waren die gemessenen CSB-Konzentrationen. Durchgeführte und publizierte Untersuchungen von [7] zu Küchenabwässern mit organischen Inhaltsstoffen zeigen ähnliche Konzentrationsbereiche für die Parameter CSB und lipophile Stoffe, so dass die Ergebnisse plausibel erscheinen. Die im Vergleich niedrigeren aber insgesamt dennoch hohen CSB- und BSB₅-Konzentrationen im untersuchten Küchenwasser der TC Tapestry zeigen darüber hinaus, dass Küchenwasser an Bord von Schiffen auch nach einer Behandlung mit einem Öl- und Fettabscheider sehr hoch mit organischer Schmutzfracht belastet ist.

Zur weiteren Beurteilung der untersuchten Abwasservolumenströme wurden die CSB / BSB₅ – Verhältnisse aus den Einzelmessungen ermittelt und anschließend statistische Kenngrößen abgeleitet, die in Tabelle 13 dargestellt sind.

Tabelle 13: CSB / BSB₅ - Verhältnisse untersuchter Abwasservolumenströme

Abwasservolumenstrom		CSB / BSB ₅ – Verhältnis		
		Mittel	Min	Max
Grau- wasser	MS Maxima (HB)	1,8	1,3	2,3
	MS Viktoria (HB)	2,3	2,2	2,4
	MS Maxima (KfB)	3,0	2,2	4,2
	MS Artistry (KfB)	3,6	1,5	11,4
	TC Tapestry (KfB)	2,2	1,4	3,2
Schwarz- wasser	MS Maxima (HB)	3,4	2,3	4,8
	MS Viktoria (HB)	3,6	2,6	4,5
	MS Artistry (KfB)	3,0	2,2	4,0
	TC Tapestry (KfB)	2,5	2,1	3,0
Küchen- wasser	TC Tapestry (KfB)	2,7	2,4	3,4
	MS Artistry (KfB) ¹⁾	4,5	-	-
HB: Hotelbetrieb KfB: Kreuzfahrtbetrieb				

¹⁾ Anzahl BSB₅-Messungen : 1

In der Literatur finden sich folgende Angaben zu mittleren CSB / BSB₅ – Verhältnissen.

**Tabelle 14: CSB / BSB₅ – Verhältnis von Abwasservolumenströmen
häuslicher Abwässer**

Abwasservolumenstrom	CSB / BSB ₅ - Verhältnis	Literaturquelle
Grauwasser	2,0	[6]
Schwarzwasser / Vakuumtoilette	3,5	[6]
Küchenwasser	2,0	[7]
Kommunal-häusliches Abwasser	2,3	[8]
Kommunal-häusliches Abwasser	2,0	[9]

Insbesondere die während des Kreuzfahrtbetriebs untersuchten Grauwasserströme an Bord der MS Maxima und an Bord der MS Artistry weichen von diesen Literaturwerten ab. Ebenso ergeben sich Abweichungen für die Volumenströme Küchenwasser, wobei das im Falle des Küchenwassers an Bord der MS Artistry auf die geringe Anzahl an Messungen zurückgeführt werden kann. Für die Schwarzwasservolumenströme ergeben sich bis auf Ausnahme des Volumenstromes an Bord der TC Tapestry (vgl. Anmerkungen zu Tabelle 9) ähnliche wie aus der Literatur bekannte Verhältnisse.

Insgesamt kann ein Einfluss der Probenlagerung an Bord der Schiffe nicht ausgeschlossen werden. Trotz Aufbewahrung der Proben in Kühlboxen ist ein Abbau leicht abbaubarer Inhaltsstoffe (BSB₅-Fraktion) während der bis zu 3-Tage andauernden Lagerung möglich gewesen. Eine Verschiebung des CSB / BSB₅-Verhältnisses zu Gunsten des Parameters CSB kann daher nicht ausgeschlossen werden.

5.4 Bewertung der Untersuchungen

Die ermittelten Wasserverbräuche an Bord der Flusskreuzfahrtschiffe sind plausibel und nachvollziehbar. Ein Vergleich mit Wasserverbräuchen von Hotels zeigt, dass vergleichsweise geringere personenspezifische Wasserverbräuche als in Hotels ermittelt wurden (vgl. Kapitel 4). Die Ursache dafür liegt in der Ausrüstung der Flusskreuzfahrtschiffe mit wassersparenden Armaturen und Vakuumsystemen zur Toilettenentwässerung. Die an Bord durchgeführten Untersuchungen zur Zusammensetzung der Abwasservolumenströme müssen hinsichtlich der gegebenen Randbedingungen bewertet werden. Die Belastbarkeit der Messergebnisse und inwieweit sie als generelle Beschreibung zur Abwassersituation auf Flusskreuzfahrtschiffen herangezogen werden können, sind vor dem Hintergrund der Probenah-

meart, Probenahmehäufigkeit, Lagerung der Proben an Bord des Schiffes und Häufigkeit der Probenabholung zu betrachten. Im Rahmen dieses Projektes war es aus logistischen und finanziellen Gründen nicht möglich, feste automatisierte Probenehmer zu installieren, die es ermöglicht hätten, zeit- und/oder durchflussproportionale Proben bzw. 24h-Stunden-Mischproben zu nehmen. Die Probenahmen wurden nach Einweisung durch die Bordmaschinenisten durchgeführt, etwaige Abweichungen in den Probenahmeart können nicht ausgeschlossen werden. Ein Einfluss der notwendigen Zwischenlagerung der Proben an Bord (Abbau von BSB₅-Fraktionen) kann auch nicht ausgeschlossen werden. Durch die Lagerung der Proben in Kühlboxen wurde versucht, diesen Einfluss zu minimieren.

Die gemessenen Konzentrationsbereiche sind weitestgehend in sich plausibel und bewegen sich in Bezug auf Literaturangaben in bekannten Größenordnungen. Abweichungen untereinander sind auf unterschiedliche Bordgegebenheiten wie Fahrgastverhalten an Bord oder auf den Betriebszustand von Behandlungsstufen wie Öl- und Fettabscheider zurückzuführen. Zudem ist bei einem Vergleich mit den in Deutschland verwendeten personenspezifischen Frachten zu beachten, dass auf Flusskreuzfahrtschiffen ein internationales Publikum mit anderen Gewohnheiten verkehrt und dies entscheidenden Einfluss auf die Abwasserzusammensetzung haben kann. Ein Vergleich in Tabelle 15 zeigt, dass sich durchaus Abweichungen bei den Angaben zu personenspezifischen Schmutzfrachten ergeben.

Tabelle 15: Angaben zu personenspezifischen Schmutzfrachten

Personenspezifische Fracht	Deutschland ¹⁾	USA ²⁾
BSB ₅ [g/(P*d)]	60	50 – 120
TKN [g/(P*d)]	11	9 – 22
P _{ges} [g/(P*d)]	1,8	2,7 – 4,5

¹⁾ nach DWA-Arbeitsblatt A 198 [9]

²⁾ nach Metcalf & Eddy [10]

Insgesamt können die gewonnenen Ergebnisse als erste Anhaltswerte verwendet werden und liefern einen ausreichend guten Eindruck über die Abwassersituation an Bord von Flusskreuzfahrtschiffen. Es sollte angestrebt werden, die Belastbarkeit dieser Messergebnisse durch weitere Untersuchungen zu verbessern.

6 Berechnung von personenspezifischen Schmutzfrachten auf Basis der Untersuchungsergebnisse

6.1 Festlegung der Grunddaten für die Berechnung personenspezifischer Schmutzfrachten

Bei der Ermittlung der Schmutzfrachten musste berücksichtigt werden, dass die Untersuchungen zu den Volumenströmen und den Abwasserzusammensetzungen nicht identisch waren. So wurde beispielsweise der Volumenstrom von Waschwasser der Wäschereien ermittelt, nicht aber explizit die Zusammensetzung dieses Abwassers. Umgekehrt konnte die Zusammensetzung von Küchenwasser bestimmt werden, nicht aber der entsprechende Volumenstrom. Hinzu kommt, dass je nach Schiff nur einzelne Volumen- bzw. Stoffströme untersucht werden konnten. Vor diesem Hintergrund wurden die Untersuchungsergebnisse für die Berechnung der Schmutzfrachten kombiniert und fehlende Angaben durch Annahmen ergänzt. Die Untersuchungsergebnisse des Hotelbetriebs an Bord der Schiffe wurden bei der Berechnung nicht berücksichtigt, da es sich hierbei nicht um einen „klassischen“ Kreuzfahrtbetrieb an Bord der Schiffe gehandelt hatte. Aufgrund der geringen Datenmenge zum Hotelbetrieb auf den Schiffen und der Tatsache, dass dieser Hotelbetrieb je nach Angebot (Angebot von warmen Mahlzeiten) stark variieren kann, wurden für diesen Einsatzfall keine eigenen Auswertungen durchgeführt.

Auf Basis der ermittelten personenspezifischen Wasserverbräuche auf den Flusskreuzfahrtschiffen MS Artistry und TC Tapestry während des Kreuzfahrtbetriebs wurde folgender personenspezifischer Wasserverbrauch gewählt.

Tabelle 16: Verwendete personenspezifische Wasserverbrauchszahlen für Berechnung personenspezifischer Schmutzfrachten

Schiff	TC Tapestry (Kreuzfahrtbetrieb)	MS Artistry (Kreuzfahrtbetrieb)	Mittelwert	Gewählter Ansatz
Quelle	$I/(P \cdot d)$	$I/(P \cdot d)$	$I/(P \cdot d)$	$I/(P \cdot d)$
Schwarzwasser/ Toilettenspülung	13	14	13,5	15
Grauwasser Wäscherei	23	40	31,5	30
Grauwasser Unterkunft ¹⁾	96	95	95,5	80
Grauwasser Küche				15
Gesamt	132	149	140,5	140

¹⁾ Grauwasser für Körper- + Raumpflege

Mit dem gewählten Ansatz ergaben sich 15 l Schwarzwasser, 110 l Grauwasser ohne Küchenwasser und 15 l Küchenwasser pro Person und Tag. Um die gemessenen Maximalwerte beim Schwarzwasser (vgl. Tabelle 6) zu berücksichtigen, wurde der Anteil Schwarzwasser trotz des kleineren Mittelwertes von 13,5 l auf 15 l erhöht und entsprechend das Grauwasser Wäscherei, dessen Zusammensetzung nicht explizit untersucht werden konnte, reduziert.

Auf Basis folgender untersuchter Abwasservolumenströme wurde die Abwasserzusammensetzung für die Schmutzfrachtermittlung festgelegt. Bei der Wahl der Schmutzkonzentrationen wurden sowohl die mittlere Abwasserzusammensetzung (Mittelwert) als auch das 85%-Perzentil berücksichtigt.

Tabelle 17: Verwendete Abwasserzusammensetzungen für Berechnung personenspezifischer Schmutzfrachten

Volumenstromquelle	Mittelwert und 85-% Perzentil – Konzentrationen untersuchter Abwasservolumenströme
Schwarzwasser	Abwasserzusammensetzung Schwarzwasser MS Artistry
Grauwasser Unterkunft ¹⁾	Abwasserzusammensetzung Grauwasser TC Tapestry <u>und</u> Abwasserzusammensetzung Grauwasser MS Maxima (Kreuzfahrtbetrieb)
Grauwasser Wäscherei ¹⁾	
Küchenwasser nach Fettabscheider	Abwasserzusammensetzung Küchenwasser TC Tapestry
Küchenwasser unbehandelt	Abwasserzusammensetzung Küchenwasser MS Artistry

¹⁾ Bestimmung der Abwasserzusammensetzung des Grauwassers Unterbringung und Wäscherei erfolgte nur gemeinsam

Aufgrund einer automatisierten Berechnung wurden personenspezifische Schmutzfrachten auch berechnet, wenn die Datendichte eigentlich zu gering war. Die Anzahl der Einzelmessungen wurde daher mit angegeben. Da der Fettabscheider an Bord der MS Artistry augenscheinlich nicht ordnungsgemäß in Betrieb war, wurde auf Basis der ermittelten Abwasserzusammensetzung des Küchenwassers eine Schmutzfrachtberechnung für unbehandeltes Küchenabwasser durchgeführt.

6.2 Ergebnisse der Berechnungen personenspezifischer Schmutzfrachten

Die personenspezifischen Schmutzfrachten für die jeweiligen Abwasservolumenströme wurden gemäß folgender Formel ermittelt:

$$\text{Schmutzfracht [g/(P*d)]} = \text{Volumenstrom [l/(P*d)]} \times \text{Abwasserkonzentration [g/l]}$$

Der personenspezifische Volumenstrom wurde gemäß Tabelle 16 und die Abwasserkonzentrationen wurden entsprechend Tabelle 17 gewählt. In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse der Berechnungen zu den personenspezifischen Schmutzfrachten für die jeweiligen Abwasserteilströme aufgeführt.

Tabelle 18: Berechnung „Personenspezifische Schmutzfracht Schwarzwasser“

Parameter	Konzentration			Volumenstrom	Schmutzfracht	
	Anzahl	Mittelwert	85%- Perzentil	Q	Mittelwert	85%- Perzentil
	-	mg/l	mg/l	l/P*d	g/P*d	g/P*d
CSB_{hom}	8	5.511	8.561	15	82,7	128,4
BSB₅	7	1.713	2.400		25,7	36,0
N_{ges}	8	1.175	1.937		17,6	29,1
P_{ges}	8	152	262		2,3	3,9
AFS	8	3.516	4.582		52,7	68,7
Lipophile Stoffe	2	348	582		5,2	8,7

Basis: Untersuchungsergebnisse MS Artistry

**Tabelle 19: Berechnung „Personenspezifische Schmutzfracht
Grauwasser Unterbringung + Wäscherei“**

Betrachtung 1

Parameter	Konzentration			Volumenstrom	Schmutzfracht	
	Anzahl	Mittelwert	85%- Perzentil	Q	Mittelwert	85%- Perzentil
	-	mg/l	mg/l	l/P*d	g/P*d	g/P*d
CSB_{hom}	7	969	1.165	110	106,6	128,2
BSB₅	7	493	721		54,2	79,3
N_{ges}	7	29	38		3,2	4,2
P_{ges}	7	17	23		1,9	2,5
AFS	7	262	320		28,8	35,2
Lipophile Stoffe	3	155	198		17,0	21,8

Basis: Untersuchungsergebnisse TC Tapestry

Betrachtung 2

Parameter	Konzentration			Volumenstrom	Schmutzfracht	
	Anzahl	Mittelwert	85%- Perzentil	Q	Mittelwert	85%- Perzentil
	-	mg/l	mg/l	l/P*d	g/P*d	g/P*d
CSB_{hom}	7	1.100	1.253	110	121,0	137,8
BSB₅	7	395	484		43,4	53,2
N_{ges}	7	26	35		2,9	3,9
P_{ges}	7	21	24		2,3	2,7
AFS	7	232	263		25,6	29,0
Lipophile Stoffe	1	105	105		11,6	11,6

Basis: Untersuchungsergebnisse MS Maxima (Kreuzfahrtbetrieb)

**Tabelle 20: Berechnung „Personenspezifische Schmutzfracht
Küchenwasser nach Fettabscheider“**

Parameter	Konzentration			Volumenstrom	Schmutzfracht	
	Anzahl	Mittelwert	85%- Perzentil		Q	Mittelwert
	-	mg/l	mg/l	l/P*d	g/P*d	g/P*d
CSB_{hom}	7	4.723	5.539	15	70,8	83,1
BSB₅	7	1.706	2.015		25,6	30,2
N_{ges}	7	49	52		0,7	0,8
P_{ges}	7	66	76		1,0	1,1
AFS	7	2.876 ¹⁾	2.610 ¹⁾		43,1 ¹⁾	39,2 ¹⁾
Lipophile Stoffe	7	745	876		11,2	13,1

Basis: Untersuchungsergebnisse TC Tapestry

¹⁾ vgl. Ergebnisse Einzelmessungen; Median_{AFS} = 850 mg/l

**Tabelle 21: Berechnung „Personenspezifische Schmutzfracht
Küchenwasser unbehandelt“**

Parameter	Konzentration			Volumenstrom	Schmutzfracht	
	Anzahl	Mittelwert	85%- Perzentil		Q	Mittelwert
	-	mg/l	mg/l	l/P*d	g/P*d	g/P*d
CSB_{hom}	3	9.287	12.609	15	139,3	189,1
BSB₅ ¹⁾	1	2.190	2.190		32,9	32,9
N_{ges}	3	57	84		0,9	1,3
P_{ges}	3	68	82		1,0	1,2
AFS	3	9.733	12.240		146,0	183,6
Lipophile Stoffe	3	8.700	9.070		130,5	136,1

Basis: Untersuchungsergebnisse MS Artistry

¹⁾ Anzahl Messungen zu gering: Verhältnis CSB/BSB₅ gemäß [5] üblicherweise 2:1

Anschließend wurden die ermittelten personenspezifischen Schmutzfrachten für die Abwasserteilströme Schwarz-, Grau- und Küchenwasser durch Variationsrechnungen kombiniert und addiert. In Tabelle 22 ist eine Übersicht der durchgeführten Variationsrechnungen dargestellt.

Tabelle 22: Variationsrechnungen zur Ermittlung personenspezifischer Schmutzfrachten

Variante	Schwarzwasser	Grauwasser	Küchenwasser
A.1	Zusammensetzung Schwarzwasser MS Artistry	Zusammensetzung Grauwasser TC Tapestry	Zusammensetzung Küchenwasser TC Tapestry
A.2	Zusammensetzung Schwarzwasser MS Artistry	Zusammensetzung Grauwasser MS Maxima	Zusammensetzung Küchenwasser TC Tapestry
B.1	Zusammensetzung Schwarzwasser MS Artistry	Zusammensetzung Grauwasser TC Tapestry	Zusammensetzung Küchenwasser MS Artistry
B.2	Zusammensetzung Schwarzwasser MS Artistry	Zusammensetzung Grauwasser MS Maxima	Zusammensetzung Küchenwasser MS Artistry

Varianten A: Küchenabwasser behandelt; Fettabscheider

Varianten B: Küchenabwasser unbehandelt

Die Ergebnisse der Variationsrechnungen zur Ermittlung personenspezifischer Schmutzfrachten aus den vorangegangenen Untersuchungen zu Abwasservolumenströmen und Abwasserzusammensetzung des häuslichen Abwassers auf Flusskreuzfahrtschiffen sind abschließend in Tabelle 23 dargestellt.

Tabelle 23: Ergebnisübersicht Berechnung personenspezifischer Schmutzfrachten

Variante	Variante A				Variante B			
	A.1		A.2		B.1		B.2	
Parameter	Mittelwert	85%-Perzentil	Mittelwert	85%-Perzentil	Mittelwert	85%-Perzentil	Mittelwert	85%-Perzentil
CSB_{hom}	260	340	275	349	329	446	343	455
BSB₅	105	145	95	119	113	148	102	122
N_{ges}	22	34	21	34	22	35	21	34
P_{ges}	5	8	6	8	5	8	6	8
AFS	125	143	121	137	228	288	224	281
Lipophile Stoffe	33	44	28	33	153	167	147	156

Varianten A: Küchenabwasser behandelt; Fettabscheider

Varianten B: Küchenabwasser unbehandelt

Angaben in g/(P*d)

6.3 Anmerkungen zur Berechnung personenspezifischer Schmutzfrachten

Die für die Flusskreuzfahrtschiffe ermittelten personenspezifischen Schmutzfrachten liegen um die Faktoren 2 bis 3 über den aus Deutschland her bekannten personenspezifischen Schmutzfrachten. Wird zudem noch unbehandeltes Küchenwasser in der Berechnung berücksichtigt, steigt der Erhöhungsfaktor bis auf knapp 4 an (ca. 3,8 für den Parameter CSB). Für den Parameter P_{ges} liegen die Schmutzfrachten mit $8 \text{ g}/(P \cdot d)$ bereits über dem Faktor 4.

An Bord von Kreuzfahrtschiffen für den Seeverkehr werden heute personenspezifische Schmutzfrachten pro Passagier berücksichtigt, die um den Faktor 5 höher liegen als im Landbereich in Deutschland. Begründet wird dieser Ansatz mit den speziellen Lebensgewohnheiten an Bord und der Exklusivität von Kreuzfahrten, wie z. B. die Zubereitung von bis zu 5 warmen Mahlzeiten pro Tag und häufiger Reinigung der Fahrgasträume. Entsprechende Lebensgewohnheiten, wenn auch nicht in dieser ausgeprägten Form, können auch an Bord von Flusskreuzfahrtschiffen festgestellt werden [11]. Vor diesem Hintergrund liegen die ermittelten Ergebnisse der Berechnungen in der richtigen Größenordnung und liefern plausible Ergebnisse.

7 Ausblick – Ableitung von Bemessungsgrößen für Bordkläranlagen für Flusskreuzfahrtschiffe

Ein Ziel des Forschungsvorhabens war es, neben der Untersuchung der Abwassersituation auf Flusskreuzfahrtschiffen, Bemessungsgrößen für Bordkläranlagen, die an Bord von Flusskreuzfahrtschiffen installiert und betrieben werden sollen, aus den gewonnenen Erkenntnissen abzuleiten.

Von einer Installation und von einer sicheren Betriebsweise eines Fettabscheiders muss bei der Bemessung der Bordkläranlage auszugehen sein, da allein schon die hohen Frachten an Ölen und Fetten zu Betriebsstörungen in den Bordkläranlagen führen. Insofern sind die Berechnungen aus den Varianten A aus Tabelle 23 für die Ableitung der Bemessungsgrößen zu berücksichtigen. Ein Passagier entspricht damit, bezogen auf die Parameter CSB und BSB_5 , zwischen 2 und 3 Einwohnerwerten. Da die Bordkläranlagen für Flusskreuzfahrtschiffe nur auf Kohlenstoffelimination auszulegen sind [1], müssen die Nährstoffe N_{ges} und P_{ges} nur sekundär betrachtet werden.

Bei der Ableitung von Bemessungsgrößen muss jedoch auch berücksichtigt werden, dass ein Einfluss der Probenlagerung an Bord der Schiffe nicht ausgeschlossen werden konnte. Trotz sorgfältiger Aufbewahrung in Kühlboxen ist ein Abbau leicht abbaubarer Inhaltsstoffe (BSB_5 -Fraktion) während der bis zu 3-Tage andauernden Lagerung mit einer Verschiebung

des CSB / BSB₅-Verhältnisses zu Gunsten des Parameters CSB möglich gewesen. Einige CSB zu BSB₅-Verhältnisse weichen deutlich von dem gemäß DWA-A198 [9] bekannten Verhältnis 2 : 1 bzw. auch von dem nach [8] publizierten Verhältnis von 2,3 : 1 ab. Teilweise liegen die Verhältnisse in Tabelle 23 bei knapp 3 : 1 wie in Tabelle 24 dargestellt ist.

Tabelle 24: CSB/BSB₅-Verhältnisse der berechneten personenspezifischen Schmutzfrachten

	Berechnungsansatz 1		Berechnungsansatz 2	
	Mittelwert	85%-Perzentil	Mittelwert	85%-Perzentil
CSB_{hom} [g/(P*d)]	260	340	275	349
BSB₅ [g/(P*d)]	105	145	95	119
CSB/BSB₅-Verhältnis	2,5	2,3	2,9	2,9

Berechnungsansatz 1 entspricht Variante A 1 aus Tabelle 23

Berechnungsansatz 2 entspricht Variante A 2 aus Tabelle 23

Für die Variationsrechnungen der Varianten A aus Tabelle 23 wurden daher beispielhaft die personenspezifischen Schmutzfrachten einem CSB/BSB₅-Verhältnis von 2,3 : 1 angepasst. Wie die modifizierten personenspezifischen Schmutzfrachten aus Tabelle 25 zeigen, sollte bei der Bemessung von Bordkläranlagen eine Person an Bord eher mit 3 Einwohnerwerten anstatt mit 2 Einwohnerwerten berücksichtigt werden [11].

Tabelle 25: Anpassung der berechneten personenspezifischen Schmutzfrachten an CSB/BSB₅-Verhältnis 2,3 : 1

	Berechnungsansatz 1		Berechnungsansatz 2	
	Mittelwert	85%-Perzentil	Mittelwert	85%-Perzentil
Vorgegebenes CSB/BSB₅-Verhältnis	2,3			
Angepasste CSB-Fracht [g/(P*d)]	275	340	320	424
Angepasste BSB₅-Fracht [g/(P*d)]	120	145	140	194

Abschließend ist anzumerken, dass die Abwassersituationen an Bord von Flusskreuzfahrtschiffen von Schiff zu Schiff starken Schwankungen in Abhängigkeit der Art der Flusskreuzfahrt unterliegen können. Bei der Wahl personenspezifischer Schmutzfrachten zur Auslegung von Bordkläranlagen wird daher empfohlen, schiffsspezifische Abweichungen hinsichtlich der „Exklusivität“ des jeweiligen Flusskreuzfahrtschiffes zu berücksichtigen. Die vorgestellten Schmutzfrachten und daraus abgeleiteten Bemessungsgrößen können nur als Anhaltswerte verstanden werden.

8 Literaturverzeichnis

- [1] N.N.; Übereinkommen über die Sammlung, Abgabe und Annahme von Abfällen in der Rhein- und Binnenschifffahrt, September 1996; Zentralkommission der Rheinschifffahrt (ZKR); Straßburg, Ausgabe 2002
- [2] Kaiser, A.: Abwasserentsorgung in der Binnenschifffahrt; Beitrag zum 11-jährigen Firmenjubiläum der Firma Martin Systems AG – Sonneberg, 2007 (Vortrag)
- [3] Wilderer, P.A., Faulstich, M.: Wassergüte und Abfallwirtschaft; Skriptum der Technischen Universität München, Lehrstuhl für Wassergüte und Abfallwirtschaft; München 2004
- [4] Herbst, H. et al.: Technische Konzepte zur Gelbwasseraufbereitung; 1. Aachener Kongress Dezentrale Infrastruktur; GWA Band 204
- [5] Niederste-Hollenberg, J., Otterpohl, R.: Innovative Entwässerungskonzepte, wwt wasserwirtschaft wassertechnik, Heft 2, 2000
zitiert durch
Londong J.; Neue Sanitärsysteme – wirklich neu?; 1. Aachener Kongress Dezentrale Infrastruktur; GWA Band 204
- [6] Heerenklage, J. et al.: Konzept zur dezentralen Abfall- und Abwasserbehandlung; Technische Universität Hamburg-Harburg; Arbeitsbereich Abfallwirtschaft; Stand Nov. 2007 (<http://www.tu-harburg.de/aws/fb-dez.pdf>)
- [7] Bock, D., Menzel, U.: Untersuchungen zur Behandlung von Küchenabwässern mit organischen Inhaltsstoffen; Internetauftritt des Umweltamtes Frankfurt am Main; Stand Nov. 2007
http://frankfurt.de/sixcms/media.php/738/internetauftritt_workshop_fettabscheider_2801021.pdf
- [8] Wagner, W.: Abwassertechnik und Gewässerschutz, Band 1; C.F. Müller Verlag; Heidelberg 2002
- [9] Arbeitsblatt DWA- A 198: Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen; DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.; Hennef, 2003
- [10] Metcalf & Eddy: Wastewater Engineering – Treatment and Reuse, Fourth Edition
- [11] Kaiser, A.: Untersuchungen zur Abwasserbehandlung auf Fahrgastbinnen-Schiffen; Arbeitsgruppensitzung „Abfallbeseitigung und Umweltfragen“ der Zentralkommission für die Rhein- und Binnenschifffahrt (ZKR); Ad hoc- Sitzung; Brüssel 2007 (Vortrag)

9 Anhang: Tabellen Analyseergebnisse

**- Analytik „Untersuchungen Hotelbetrieb“ -
MS Maxima / MS Viktoria**

Datum	Art Volumenstrom	pH	Leit- fähigkeit µS/cm	CSB _{10min} mg/l	CSB _{5min} mg/l	NH ₄ -N mg/l	N _{ges} mg/l	P _{ges} mg/l	AFS mg/l	TOC mg/l	Lipophile Stoffe mg/l
-------	---------------------	----	-----------------------------	------------------------------	-----------------------------	----------------------------	--------------------------	--------------------------	-------------	-------------	-----------------------------

MS Maxima												
16.11.05	Grauwasser	6,9	1.100	1.160	415	892	10,0	47,0	15,0	1.060	500	326
17.11.05	Grauwasser	6,9	1.020	814	287	354	5,0	29,0	11,1	421	290	56
18.11.05	Grauwasser	7,3	840	423	188	218	2,6	13,0	8,9	250	170	42
	Anzahl	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Min	6,9	840	423	188	218	2,6	13,0	8,9	250	170	42
	Max	7,3	1.100	1.160	415	892	10,0	47,0	15,0	1.060	500	326
	Mittelwert	7,0	987	799	297	488	5,9	29,7	11,7	577	320	141
	85%-Perzentil	7,2	1.076	1.056	377	731	8,5	41,6	13,8	868	437	245

16.11.05	Schwarzwasser	8,9	10.900	14.100	3.070	6.240	658,0	1.450,0	458,0	14.000	5.600	876
17.11.05	Schwarzwasser	8,8	9.110	18.100	2.605	3.800	943,0	1.030,0	339,0	11.200	4.800	1.150
18.11.05	Schwarzwasser	8,7	9.230	18.700	3.570	5.680	910,0	1.010,0	346,0	11.200	5.990	260
	Anzahl	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Min	8,7	9.110	14.100	2.605	3.800	658,0	1.010,0	339,0	11.200	4.800	260
	Max	8,9	10.900	18.700	3.570	6.240	943,0	1.450,0	488,0	14.000	5.990	1.150
	Mittelwert	8,8	9.747	16.967	3.082	5.240	837,0	1.163,3	381,0	12.133	5.463	762
	85%-Perzentil	8,9	10.399	18.520	3.420	6.072	933,1	1.324,0	424,4	13.160	5.873	1.068

MS Viktoria												
16.11.05	Grauwasser	7,1	1.230	873	543	371	5,2	29,0	22,7	281	290	45
17.11.05	Grauwasser	7,1	1.060	565	326	242	7,7	19,0	14,1	145	180	22
18.11.05	Grauwasser	7,4	1.040	572	298	264	4,9	16,0	14,1	185	190	62
	Anzahl	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Min	7,1	1.040	565	298	242	4,9	16,0	14,1	145	180	22
	Max	7,4	1.230	873	543	371	7,7	29,0	22,7	281	290	62
	Mittelwert	7,2	1.110	670	389	292	5,9	21,3	17,0	204	220	43
	85%-Perzentil	7,3	1.179	783	478	339	7,0	26,0	20,1	252	260	57

16.11.05	Schwarzwasser	8,6	10.700	16.700	2.990	6.390	638,0	890,0	356,0	9.840	4.700	724
17.11.05	Schwarzwasser	8,6	10.300	15.900	3.390	4.230	1.083,0	1.210,0	293,0	8.570	5.100	572
18.11.05	Schwarzwasser	8,6	7.230	26.600	2.090	5.900	514,0	1.030,0	378,0	16.400	9.100	422
	Anzahl	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Min	8,6	7.230	15.900	2.090	4.230	514,0	890,0	293,0	8.570	4.700	422
	Max	8,6	10.700	26.600	3.390	6.390	1.083,0	1.210,0	378,0	16.400	9.100	724
	Mittelwert	8,6	9.410	19.733	2.823	5.507	745,0	1.043,3	342,3	11.603	6.300	573
	85%-Perzentil	8,6	10.580	23.630	3.270	6.243	949,5	1.156,0	371,4	14.432	7.900	678

- Analytik „Untersuchungen Kreuzfahrtbetrieb“ -
MS Artistry

Datum	Art Volumenstrom	pH	Leit- fähigkeit µS/cm	CSB _{hom} mg/l	CSB _{fil} mg/l	BSB ₅ mg/l	NH ₄ -N mg/l	N _{ges} mg/l	P _{ges} mg/l	AFS mg/l	TOC mg/l	Lipophile Stoffe mg/l
22.08.06	Grauwasser	5,9	773	1.600	826	1.050	2,9	29,0	32,2	380	510	-
23.08.06	Grauwasser	6,9	575	994	159	241	8,8	12,0	5,9	140	320	-
24.08.06	Grauwasser	5,9	678	4.470	806	989	1,1	23,0	21,5	432	1.250	-
25.08.06	Grauwasser	6,7	626	382	207	238	7,6	14,0	4,8	-	106	-
26.08.06	Grauwasser	6,4	786	1.060	573	570	9,3	22,0	16,0	5	290	-
27.08.06	Grauwasser	6,6	984	783	523	407	12,0	33,0	9,7	261	283	-
28.08.06	Grauwasser	5,8	1.130	1.490	1.100	971	10,0	38,0	27,3	162	-	110
29.08.06	Grauwasser	7,7	1.550	3.100	225	273	85,0	136,0	35,3	1.160	490	46
	Anzahl	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	2
	Min	5,8	575	382	159	238	1,1	12,0	4,8	5	106	46
	Max	7,7	1.550	4.470	1.100	1.050	85,0	136,0	35,3	1.160	1.250	110
	Mittelwert	6,5	888	1.735	552	590	17,1	37,1	19,1	363	464	78
	85%-Perzentil	6,9	1.123	3.025	825	971	11,9	37,6	32,0	505	584	100
22.08.06	Schwarzwasser	8,8	7.110	4.070	2.040	1.850	882,0	1.100,0	114,4	1.470	1.320	-
23.08.06	Schwarzwasser	9,0	11.700	7.050	2.960	-	1.850,0	2.250,0	176,2	2.910	2.220	-
24.08.06	Schwarzwasser	8,8	7.520	3.670	3.070	912	87,0	105,0	66,9	4.630	1.400	-
25.08.06	Schwarzwasser	8,7	5.600	1.740	1.350	694	744,0	703,0	42,9	1.340	550	-
26.08.06	Schwarzwasser	8,8	6.150	11.600	216	3.570	1.020,3	1.030,0	117,8	3.660	3.230	-
27.08.06	Schwarzwasser	7,7	6.280	5.370	1.030	1.820	991,0	1.120,0	266,3	1.260	2.100	-
28.08.06	Schwarzwasser	9,0	7.370	1.950	219	877	1.100,0	1.110,0	107,5	561	772	12
29.08.06	Schwarzwasser	8,9	10.400	8.640	1.640	2.270	1.660,0	1.980,0	326,2	12.300	3.800	683
	Anzahl	8	8	8	8	7	8	8	8	8	8	2
	Min	7,7	5.600	1.740	216	694	87,0	105,0	42,9	561	550	12
	Max	9,0	11.700	11.600	3.070	3.570	1.850,0	2.250,0	326,2	12.300	3.800	683
	Mittelwert	8,7	7.766	5.511	1.566	1.713	1.041,8	1.174,8	152,3	3.516	1.924	348
	85%-Perzentil	9,0	10.256	8.561	2.914	2.400	1.632,0	1.937,0	261,8	4.582	3.180	582
23.08.06	Küchenwasser	5,0	1.360	13.800	2.411	-	2,4	102,0	86,8	11.400	4.670	8.440
24.08.06	Küchenwasser	5,1	828	4.230	1.510	-	0,4	28,0	45,6	5.200	1.080	9.340
24.08.06	Küchenwasser	5,0	1.040	9.830	2.590	2.190	2,8	42,0	72,0	12.600	2.390	8.320
	Anzahl	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3
	Min	5,0	828	4.230	1.510	2.190	0,4	28,0	45,6	5.200	1.080	8.320
	Max	5,1	1.360	13.800	2.590	2.190	2,8	102,0	86,8	12.600	4.670	9.340
	Mittelwert	5,0	1.076	9.287	2.170	2.190	1,9	57,3	68,1	9.733	2.713	8.700
	85%-Perzentil	5,1	1.264	12.609	2.536	2.190	2,7	84,0	82,4	12.240	3.986	9.070

**- Analytik „Untersuchungen Kreuzfahrtbetrieb“ -
TC Tapestry**

Datum	Art Volumenstrom	pH	Leit- fähigkeit µS/cm	CSB _{hom} mg/l	CSB _{fill} mg/l	BSB ₅ mg/l	NH ₄ -N mg/l	N _{ges} mg/l	P _{ges} mg/l	AFS mg/l	TOC		Lipophile Stoffe	
											mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
27.08.06	Grauwasser	6,7	1.060	1.070	643	339	24,0	38,0	21,9	219	298	-	-	
28.08.06	Grauwasser	7,0	1.040	324	226	109	8,1	16,0	10,6	74	96	-	-	
29.08.06	Grauwasser	6,8	1.050	921	451	407	17,0	30,0	14,6	267	247	-	-	
30.08.06	Grauwasser	6,8	1.020	940	866	674	12,0	33,0	16,7	203	254	107	-	
31.08.06	Grauwasser	7,2	1.150	780	401	428	6,0	29,0	13,0	296	323	-	-	
01.09.06	Grauwasser	6,8	1.050	730	354	351	3,5	16,0	10,7	536	289	130	-	
02.09.06	Grauwasser	6,7	1.150	2.020	898	1.140	12,0	42,0	33,2	238	411	227	-	
statistische Auswertung	Anzahl	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	3	
	Min	6,7	1.020	324	226	109	3,5	16,0	10,6	74	96	107	-	
	Max	7,2	1.150	2.020	898	1.140	24,0	42,0	33,2	536	411	227	-	
	Mittelwert	6,9	1.074	969	548	493	11,8	29,1	17,3	262	274	155	-	
	85%-Perzentil	7,0	1.150	1.165	869	721	17,7	38,4	23,0	320	332	198	-	
27.08.06	Schwarzwasser	7,0	1.430	813	555	382	16,0	86,0	23,3	246	394	145	-	
28.08.06	Schwarzwasser	7,1	1.640	829	495	305	128,0	130,0	22,8	265	290	-	-	
29.08.06	Schwarzwasser	7,0	1.640	1.010	573	433	98,0	133,0	27,3	457	524	-	-	
30.08.06	Schwarzwasser	7,4	1.700	870	589	369	115,0	148,0	24,4	416	318	21	-	
31.08.06	Schwarzwasser	7,9	2.030	932	599	362	115,0	183,0	22,3	545	313	-	-	
01.09.06	Schwarzwasser	7,0	2.020	1.430	628	479	42,0	114,0	30,6	877	574	416	-	
02.09.06	Schwarzwasser	7,1	1.640	1.290	619	562	42,0	104,0	29,3	689	503	82	-	
statistische Auswertung	Anzahl	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	4	
	Min	7,0	1.430	813	495	305	16,0	86,0	22,3	246	290	21	-	
	Max	7,9	2.030	1.430	628	562	128,0	183,0	30,6	877	574	416	-	
	Mittelwert	7,2	1.729	1.025	580	413	79,4	128,3	25,7	499	417	166	-	
	85%-Perzentil	7,4	2.021	1.304	620	487	116,3	151,5	29,4	708	529	294	-	
27.08.06	Küchenwasser	5,8	1.390	2.580	1.670	1.010	8,3	43,0	75,7	357	789	178	-	
28.08.06	Küchenwasser	5,7	1.430	5.060	2.380	1.920	20,0	82,0	75,7	1.200	1.490	454	-	
29.08.06	Küchenwasser	5,6	1.250	9.850	2.990	2.870	5,1	40,0	68,5	15.300	2.290	3.190	-	
30.08.06	Küchenwasser	5,8	1.690	3.590	2.410	1.490	7,5	39,0	61,0	544	958	46	-	
31.08.06	Küchenwasser	5,6	1.620	3.680	2.050	1.230	1,3	39,0	53,3	682	1.400	123	-	
01.09.06	Küchenwasser	5,1	1.510	4.140	1.900	1.730	16,0	49,0	54,0	850	1.990	619	-	
02.09.06	Küchenwasser	5,8	1.500	4.160	2.770	1.690	2,0	48,0	71,6	1.200	850	604	-	
statistische Auswertung	Anzahl	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
	Min	5,1	1.250	2.580	1.670	1.010	1,3	39,0	53,3	357	789	46	-	
	Max	5,8	1.690	9.850	2.990	2.870	20,0	82,0	75,7	15.300	2.290	3.190	-	
	Mittelwert	5,6	1.484	4.723	2.310	1.706	8,6	48,6	65,7	2.876	1.395	745	-	
	85%-Perzentil	5,8	1.627	5.539	2.792	2.015	16,4	52,3	75,7	2.610	2.020	876	-	

**- Analytik „Untersuchungen Kreuzfahrtbetrieb“ -
MS Maxima**

Datum	Art Volumenstrom	pH	Leit- fähigkeit µS/cm	CSB _{hom} mg/l	CSB _{fil} mg/l	BSB ₅ mg/l	NH ₄ -N mg/l	N _{ges} mg/l	P _{ges} mg/l	AFS mg/l	TOC mg/l	Lipophile Stoffe mg/l
21.08.06	Grauwasser	6,0	3.490	1.250	1.050	507	16,0	37,0	26,2	208	395	105
22.08.06	Grauwasser	6,8	923	1.250	559	481	11,0	32,0	24,0	260	323	-
23.08.06	Grauwasser	6,5	1.070	1.280	621	477	14,0	35,0	20,5	284	360	-
24.08.06	Grauwasser	6,7	740	889	438	399	7,0	17,0	10,8	185	234	-
25.08.06	Grauwasser	6,7	1.030	1.050	684	261	11,0	17,0	24,2	209	162	-
26.08.06	Grauwasser	6,8	924	861	622	206	13,0	27,0	20,7	219	254	-
27.08.06	Grauwasser	6,8	905	1.120	723	433	4,4	17,0	21,9	261	309	-
	Anzahl	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1
	Min	6,0	740	861	438	206	4,4	17,0	10,8	185	162	105
	Max	6,8	3.490	1.280	1.050	507	16,0	37,0	26,2	284	395	105
	Mittelwert	6,6	1.297	1.100	671	395	10,9	26,0	21,2	232	291	105
	85%-Perzentil	6,8	1.312	1.253	756	484	14,2	35,2	24,4	263	364	105