

Erfassung der Abwasserzusammensetzung und Abwasservolumenströme auf Flusskreuzfahrtschiffen



Kurzbericht

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.



Kurzbericht

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> |
|--|--|---|

Inhaltsverzeichnis

Seite

| | |
|---|-----|
| Tabellenverzeichnis..... | II |
| Kurzzeichen..... | III |
| 1 Einleitung..... | 4 |
| 2 Vorgehen..... | 5 |
| 3 Ergebnisse | 6 |
| 3.1 Untersuchungen zu Abwasservolumenströmen | 6 |
| 3.2 Untersuchungen zur Abwasserzusammensetzung | 7 |
| 3.3 Berechnungen personenspezifischer Schmutzfrachten | 12 |
| 4 Ausblick – Ableitung von Bemessungsgrößen für Bordkläranlagen für Flusskreuzfahrtschiffe | 16 |
| 5 Literaturverzeichnis | 18 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Übersicht zu den Untersuchungen auf den Flusskreuzfahrtschiffen..... | 6 |
| Tabelle 2: Zusammenstellung mittlerer personenspezifischer Wasserverbrauchszahlen in $l/(P*d)$ | 7 |
| Tabelle 3: Zusammensetzung der untersuchten Schwarzwasservolumenströme..... | 9 |
| Tabelle 4: Zusammensetzung der untersuchten Grauwasservolumenströme | 10 |
| Tabelle 5: Zusammensetzung der untersuchten Küchenwässer..... | 11 |
| Tabelle 6: Verwendete personenspezifische Wasserverbrauchszahlen für Berechnung personenspezifischer Schmutzfrachten..... | 13 |
| Tabelle 7: Verwendete Abwasserzusammensetzungen für Berechnung personenspezifischer Schmutzfrachten | 13 |
| Tabelle 8: Variationsrechnungen zur Ermittlung personenspezifischer Schmutzfrachten | 14 |
| Tabelle 9: Ergebnisübersicht Berechnung personenspezifischer Schmutzfrachten..... | 15 |
| Tabelle 10: Angaben zu personenspezifischen Schmutzfrachten | 15 |
| Tabelle 11: CSB/BSB ₅ -Verhältnisse der berechneten personenspezifischen Schmutzfrachten | 17 |
| Tabelle 12: Anpassung der berechneten personenspezifischen Schmutzfrachten an CSB/BSB ₅ -Verhältnis 2,3 : 1 | 17 |

Kurzzeichen

| Kurzform | Dimension | Beschreibung |
|--------------------|-----------|---|
| AFS | mg/l | Abfiltrierbare Stoffe |
| BSB ₅ | mg/l | Biochemischer Sauerstoffbedarf |
| CSB | mg/l | Chemischer Sauerstoffbedarf |
| CSB _{nom} | 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 |
| d | | Tag |
| l | | Liter |
| MS | | Motorschiff |
| P | | Person |
| TC | | Twin Cruiser |

1 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. 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.

Hintergrund war, dass zurzeit 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 Kenntnisse zu Abwasservolumenströmen und Abwasserzusammensetzungen fehlten, wurden bei der Dimensionierung der Bordkläranlagen allgemein übliche Bemessungsansätze für kommunale Anlagen herangezogen.

Im Rahmen des Vorhabens konnten an Bord von insgesamt vier Flusskreuzfahrtschiffen Abwasserteilströme hinsichtlich ihrer Volumenströme und Zusammensetzungen untersucht werden. In der Wintersaison (Nebensaison) wurde die Abwasserbeschaffenheit auf den Flusskreuzfahrtschiffen MS Maxima und MS Viktoria erfasst, während die Schiffe für einen dreitägigen Zeitraum als Hotelschiffe für Messegäste in Düsseldorf eingesetzt wurden. Der Unterschied zur Einsatzzeit in der Sommersaison (Hauptsaison) lag darin, dass es sich bei diesem Einsatz nicht um einen eigentlichen Kreuzfahrtbetrieb sondern um einen „Hotel Garni Betrieb“ handelte und Küche bzw. Restaurant eine deutlich geringere Auslastung hatten. In der Hauptsaison konnten während regulärer Kreuzfahrtbetriebe Untersuchungen auf den Flusskreuzfahrtschiffen MS Artistry, MS Maxima und TC Tapestry durchgeführt werden.

2 Vorgehen

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 gespeichert bzw. zwischengespeichert bevor sie einer Bordkläranlage zugeleitet werden.

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. 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 [1].

Um den Abwasseranfall auf Flusskreuzfahrtschiffen zu erfassen, wurden an Bord der untersuchten Flusskreuzfahrtschiffe der Gesamtwasserverbrauch, der Wasserverbrauch der Wäscherei als ein Hauptverbraucher sowie exemplarisch das Toilettenspülwasser zweier Fahrgastkabinen erfasst. Der Wasserverbrauch der Küche als weiterer Hauptverbraucher konnte nicht ermittelt werden, da der Warmwasserverbrauch der Küche nicht erfasst wurde. Zur Bestimmung der Abwasserzusammensetzung des häuslichen Abwassers bzw. der häuslichen Abwasserteilströme konnten, je nach den örtlichen Gegebenheiten an Bord der Schiffe, Probenahmestellen eingerichtet werden, die es ermöglichten, bereits vermischte Grauwasserströme oder aber einzelne Teilströme zu beproben. Eine Übersicht zu den Untersuchungen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht zu den Untersuchungen auf den Flusskreuzfahrtschiffen

| Schiff | MS Maxima | MS Viktoria | MS Artistry | TC Tapestry |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Erfassung Wasserverbrauch | | | | |
| Gesamtwasserverbrauch | X ¹⁾ | X ¹⁾ | X ²⁾ | X ²⁾ |
| Wasserverbrauch Wäscherei | X ¹⁾ | X ¹⁾ | X ¹⁾ | X ¹⁾ |
| Wasserverbrauch Toiletten- spülung in einer Passagierkabine | - | - | X ¹⁾ | X ¹⁾ |
| Erfassung Abwasserzu- sammensetzung | | | | |
| Schwarzwasser | X | X | X | X ⁴⁾ |
| Grauwasser | X ⁵⁾ | X | X ³⁾ | X ⁵⁾ |
| Teilstrom Küchenwasser | - | - | X ³⁾ | X ⁵⁾ |
| Anmerkungen: ¹⁾ Erfassung Wasserverbrauch über Wasseruhren ²⁾ Wasserverbrauch abgeleitet aus Erfahrungswerten der Bordmaschinenisten ³⁾ Teilstrom Küchenwasser im Grauwasserstrom enthalten ⁴⁾ Nach Auswertung der Schwarzwasserströme zeigte sich, dass keine homogenen Abwasserproben genommen wurden. Die Analyseergebnisse waren daher nur bedingt auswertbar. ⁵⁾ Teilstrom Küchenwasser nicht im Grauwasserstrom enthalten | | | | |

3 Ergebnisse

3.1 Untersuchungen zu Abwasservolumenströmen

Die täglichen Gesamtwasserverbräuche an Bord der untersuchten Flusskreuzfahrtschiffe lagen gemäß den Erfahrungswerten der Bordmaschinenisten während des Kreuzfahrtbetriebs in der Hauptsaison zwischen 30 und 35 m³/d bei maximaler Auslastung der Schiffe (Personenkapazitäten zwischen 218 und 245 Personen). Während des Einsatzes als Hotelschiff für Messegäste betrug der Gesamtwasserverbrauch auf den Flusskreuzfahrtschiffen ca. 16 bis 18 m³/d. Die Personenkapazitäten lagen hier zwischen 99 und 112 Personen.

Die Untersuchungen zum Wasserverbrauch der Toilettenspülung ergaben einen mittleren personenspezifischen 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. Die ermittelten Werte können daher einer hohen Streubreite unterliegen. Für den Hauptverbraucher „Wäscherei“ wurde ein spezifischer Wasserverbrauch zwischen 23 l/(P*d) und 40 l/(P*d) ermittelt. Der Schwankungsbereich hier kann durch den

Einsatz unterschiedlicher Waschmaschinen bzw. den unterschiedlichen Betrieb hinsichtlich Wahl des Waschprogramms usw. erklärt werden.

Abschließend sind in Tabelle 2 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 2: Zusammenstellung mittlerer personenspezifischer Wasserverbrauchszahlen 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 Gesamtwasserverbrauch während eines Hotelbetriebs (Hotel Garni) liegt, obwohl die Küche während der Flusskreuzfahrt deutlich höher ausgelastet war. Die Gründe dafür liegen sehr wahrscheinlich in den unterschiedlichen technischen Ausstattungen der Schiffe.

3.2 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 an Bord der Flusskreuzfahrtschiffe wurden die schiffseigenen Küchen nur zur Zubereitung des Frühstücks genutzt. Ein Einfluss des Küchenabwassers auf

die Zusammensetzung des gesamten Grauwasservolumenstroms war hierbei nicht ermittelbar (vgl. Tabelle 1). 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. Die gemessenen Konzentrationen an lipophilen Stoffen und abfiltrierbaren Stoffen im Küchenwasser der MS Artistry lassen vermuten, dass der an Bord installierte, beheizbare Öl- und Fettabscheider nicht ordnungsgemäß arbeitete. Entsprechend hohe CSB-Konzentrationen wurden gemessen. Bei der Auswertung der Zusammensetzung der Grauwasserströme an Bord der MS Maxima während des Kreuzfahrtbetriebs in der Hauptsaison 2006 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 1). 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 waren 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 Küchenabwasser angegeben.

Tabelle 3: 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.

Tabelle 4: Zusammensetzung der untersuchten Grauwasservolumenströme

| Parameter | | MS Viktoria Hotelbetrieb | MS Maxima Hotelbetrieb | MS Maxima Kreuzfahrtb. | MS Tapestry Kreuzfahrtb. | MS Artistry Kreuzfahrtb. | | | | | |
|----------------------------------|--------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------|------------------------------------|-------|------------------------------------|-------|
| 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 | µS/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 | |

Tabelle 5: 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 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 Probenahmeart, 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 Probenahmen bzw. 24h-Stunden Mischprobenahmen durchzuführen.

Die Probenahmen wurden nach Einweisung durch die Bordmaschinisten durchgeführt, etwaige Abweichungen bei der Probenahmeart können nicht ausgeschlossen werden. Abwei-

chungen untereinander sind weiterhin auch auf unterschiedliche Bordgegebenheiten wie Fahrgastverhalten an Bord oder auf den Betriebszustand von Behandlungsstufen wie Öl- und Fettabscheider zurückzuführen (vgl. Untersuchungen zum Küchenwasser an Bord MS Artistry).

Abschließend kann festgehalten werden, dass die gemessenen Konzentrationsbereiche weitestgehend in sich plausibel sind und sich in Bezug auf Literaturangaben in bekannten Größenordnungen bewegen [2;3]. An dieser Stelle wird auf den Abschlussbericht (Langfassung) zum Forschungsvorhaben hingewiesen, in dem weitergehende Betrachtungen durchgeführt wurden.

3.3 Berechnungen personenspezifischer Schmutzfrachten

Die personenspezifischen Schmutzfrachten wurden gemäß folgender Formel berechnet:

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

Auf Basis der ermittelten personenspezifischen Wasserverbräuche auf den Flusskreuzfahrtschiffen MS Artistry und TC Tapestry während des Kreuzfahrtbetriebs wurde folgender personenspezifischer Wasserverbrauch festgelegt (Tabelle 6). 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.

Tabelle 6: Verwendete personenspezifische Wasserverbrauchszahlen für Berechnung personenspezifischer Schmutzfrachten

| Schiff | TC Tapestry Kreuzfahrtbetrieb | MS Artistry Kreuzfahrtbetrieb | Mittelwert | Gewählter Ansatz |
|--|----------------------------------|----------------------------------|------------|---------------------|
| Quelle | I/(P*d) | I/(P*d) | I/(P*d) | I/(P*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 zu berücksichtigen, wurde der Anteil Schwarzwasser trotz des kleineren Mittelwertes von 13,5 l auf 15 l erhöht und entsprechend das Grauwasser der Wäscherei, dessen Zusammensetzung nicht explizit untersucht werden konnte, reduziert. Auf Basis folgender untersuchter Abwasservolumenströme wurde die Abwasserzusammensetzung für die Schmutzfrachtermittlungen festgelegt. Bei der Wahl der Schmutzkonzentrationen wurden sowohl die mittlere Abwasserzusammensetzung als auch das 85%-Perzentil berücksichtigt.

Tabelle 7: 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 (Kreuz- fahrtbetrieb) |
| 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

Durch Variationsrechnungen wurden die ermittelten personenspezifischen Schmutzfrachten für die Abwasserteilströme Schwarz-, Grau- und Küchenwasser kombiniert und addiert. In Tabelle 8 ist eine Übersicht der durchgeführten Variationsrechnungen dargestellt.

Tabelle 8: 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 den Volumenströmen und Zusammensetzung der Abwasserteilströme des häuslichen Abwassers auf Flusskreuzfahrtschiffen sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: 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)

Im Rahmen der durchgeführten Berechnungen ergaben sich deutlich höhere personenspezifische Schmutzfrachten als sie vom Landbereich aus Deutschland her bekannt sind. Die hier 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 g/(P*d) bereits um den Faktor 4 höher.

Bei einem Vergleich mit den in Deutschland verwendeten personenspezifischen Frachten ist zu berücksichtigen, dass auf Flusskreuzfahrtschiffen ein internationales Publikum mit anderen Lebensgewohnheiten verkehren kann. Dies kann entscheidenden Einfluss auf die Abwasserzusammensetzung haben, wie ein Vergleich in Tabelle 10 zeigt.

Tabelle 10: 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 [5]; ²⁾ nach Metcalf & Eddy [6]

An Bord von Kreuzfahrtschiffen für den Seeverkehr werden heute personenspezifische Schmutzfrachten pro Passagier berücksichtigt, die um den Faktor 5 höher liegen als 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 [7]. Vor diesem Hintergrund liefern die Berechnungen zu den personenspezifischen Schmutzfrachten plausible Ergebnisse.

4 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 9 für die Ableitung der Bemessungsgrößen zu berücksichtigen. Ein Passagier entspricht damit, bezogen auf die Parameter CSB und BSB₅, zwischen 2 und 3 Einwohnerwerten. Da die Bordkläranlagen für Flusskreuzfahrtschiffe nur auf Kohlenstoffelimination auszulegen sind, 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 (BSB₅-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 [5] bekannten Verhältnis 2 : 1 bzw. auch von dem nach [4] publizierten Verhältnis von 2,3 : 1 ab. Teilweise liegen die Verhältnisse in Tabelle 9 bei knapp 3 : 1 wie in Tabelle 11 dargestellt ist.

Tabelle 11: 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 |

Anmerkungen:

Berechnungsansatz 1 entspricht Variante A 1 aus Tabelle 9

Berechnungsansatz 2 entspricht Variante A 2 aus Tabelle 9

Für die Variationsrechnungen der Varianten A aus Tabelle 9 wurden daher beispielhaft die personenspezifischen Schmutzfrachten einem CSB/BSB₅-Verhältnis von 2,3 : 1 angepasst. Wie die modifizierten personenspezifischen Schmutzfrachten aus Tabelle 12 zeigen, sollte bei der Bemessung von Bordkläranlagen eine Person an Bord eher mit 3 Einwohnerwerten anstatt mit 2 Einwohnerwerten berücksichtigt werden [7].

Tabelle 12: 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.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Kaiser, A.: Abwasserentsorgung in der Binnenschifffahrt; Beitrag zum 11-jährigen Firmenjubiläum der Firma Martin Systems AG – Sonneberg, 2007 (Vortrag)
- [2] 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>)
- [3] 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)
- [4] Wagner, W.: Abwassertechnik und Gewässerschutz, Band 1; C.F. Müller Verlag; Heidelberg 2002
- [5] Arbeitsblatt DWA- A 198: Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen; DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.; Hennef, 2003
- [6] Metcalf & Eddy: Wastewater Engineering – Treatment and Reuse, Fourth Edition
- [7] 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)