



INSTITUT FÜR
SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT



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



Kurzfassung Abschlussbericht

zum Forschungsvorhaben

Einbau und Betrieb großtechnischer Membrananlagen auf Fahrgastbinnenschiffen

Demonstrationsprojekt an Bord der RheinEnergie

AZ IV - 9 - 042 545 0010

für das



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

Aachen, im Dezember 2006


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.: 02 41 / 8 02 52 07 Fax: 02 41 / 8 02 22 85 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.: 02 41 / 7 50 82 - 0 Fax: 02 41 / 7 50 82 - 29 Email: info@pia.rwth-aachen.de www.pia.rwth-aachen.de</p> | <p>Dr.-Ing. Elmar Dorgeloh Dipl.-Ing. Arndt Kaiser</p> |
|  | <p>Martin Systems AG Köppelsdorfer Str. 94 96515 Sonneberg Tel.: 0 36 75 / 73 35 - 0 Fax: 0 36 75 / 73 35 - 15 Email: info@martin-systems.de www.martin-systems.de</p> | <p>Dipl.-Ing. Eberhard Harms Dipl.-Ing. Mark Grigo</p> |
|  | <p>Köln-Düsseldorfer Deutsche Rheinschiffahrt AG Frankenwerft 35 50667 Köln Tel: 02 21 / 20 88 - 3 18 Fax: 02 21 / 20 88 - 3 45 Email: info@k-d.com www.k-d.com</p> | <p>Hr. Hecker (Leiter Technik)</p> |

Inhaltsverzeichnis

Seite

| | |
|--|----|
| Abbildungsverzeichnis | II |
| Tabellenverzeichnis | II |
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Einbau und Betrieb der Schiffskläranlage | 3 |
| 3. Kurzdarstellung und Beurteilung des Anlagenbetriebs | 7 |
| 4. Empfehlungen für ein Betriebskonzept (Ausblick) | 10 |

Anhang

Technische Auslegungsdaten der siClaro-BMA[®] - Abwasserbehandlungsanlage

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Eventschiff RheinEnergie am Liegeplatz Köln | 1 |
| Abbildung 2: Abwasserentsorgungssystem an Bord der RheinEnergie nach Installation der Schiffskläranlage | 3 |
| Abbildung 3: Funktionsschema siClaro-BMA [®] - Abwasserbehandlungsanlage | 5 |
| Abbildung 4: Filtrationsleistungen der Filtrationsstraßen 1 + 2 im Untersuchungszeitraum 2005/2006 | 9 |
| Abbildung 5: Erforderliche Speichervolumen mit und ohne füllstandsabhängig gesteuerter Filtrationsleistung | 11 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|---|
| Tabelle 1: Übersicht der Entsorgungspfade der Abwasserteilströme vor und nach der Installation der Schiffskläranlage | 4 |
| Tabelle 2: Vergleich Wasserverbrauch und behandelte Abwasservolumen- ströme an Bord der RheinEnergie im Untersuchungszeitraum | 8 |

1. Einleitung

Von Januar 2005 bis Dezember 2006 wurde durch das Prüf- und Entwicklungsinstitut für Abwassertechnik an der RWTH Aachen e.V. (PIA) und das Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen (ISA) im Auftrag des Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW) der großtechnische Betrieb einer Belebungsanlage mit Membranfiltration an Bord eines Tagesausflugsschiffes untersucht. Als Projektpartner waren das Fahrgastunternehmen Köln-Düsseldorfer Deutsche Rheinschiffahrt AG und der Anlagenhersteller von Membranbelebungsanlagen Martin Systems AG beteiligt.

Veranlassung des Forschungsvorhabens war ein zukünftiges Einleitverbot von unbehandelten häuslichen Abwässern in die Bundeswasserstraßen für Fahrgastbinnenschiffe. Das Einleitverbot ist im „Übereinkommen über die Sammlung, Abgabe und Annahme von Abfällen in der Rhein- und Binnenschiffahrt“ der Zentralkommission für die Rheinschiffahrt (ZKR) geregelt, das zurzeit noch nicht in Kraft getreten ist.

Inhalte des Forschungsvorhabens waren Planung, Bau und Integration einer Schiffskläranlage mit Membrantechnik in das Tagesausflugsschiff RheinEnergie der Köln-Düsseldorfer Deutsche Rheinschiffahrt AG.



Abbildung 1: Eventschiff RheinEnergie am Liegeplatz Köln

Das vorliegende Forschungsvorhaben ist Teil eines Gesamtprojekts, das insgesamt drei Vorhaben umfasst. Im Vorfeld zu diesem Vorhaben fanden im Jahr 2004 Untersuchungen zur Beurteilung der Abwassersituation auf der RheinEnergie statt, die als Hilfe zur Dimensionierung der Schiffskläranlage herangezogen wurden. Zusätzlich zum vorliegenden Vorhaben wurde in den Jahren 2005 bis 2006 der Bordbetrieb der Schiffskläranlage in einem separaten Projekt wissenschaftlich begleitet.

Die RheinEnergie wird von insgesamt 40 Mitarbeitern aus dem nautischen und gastronomischen Bereich betreut. Das Personal ist während der Einsatzzeit des Schiffes in Personalkabinen im Unterdeck untergebracht. Dies gewährleistet einen sehr flexiblen Einsatz des Schiffes. Vorrangig wird die RheinEnergie im Eventbetrieb aber auch im Linienfahrtbetrieb eingesetzt. Insgesamt können bis zu 1.650 Fahrgäste befördert werden. Nach Angaben der KD liegt die optimale Fahrgastzahl zwischen 400 und 1.000 Fahrgästen.

Im Rahmen des vorliegenden Vorhabens sollten nach dem Einbau der Schiffskläranlage Betriebsstrategien entwickelt und die Leistungsfähigkeit der Anlage untersucht werden. Die Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit konzentrierten sich dabei hauptsächlich auf die Filtrationsleistung der Membrantrennstufe. Folgenden Fragestellungen wurde konkret nachgegangen:

1. Erarbeitung einer geeigneten Betriebsweise der Membrananlage

Es wurde untersucht, inwieweit die Membrananlage in das Abwasserentsorgungssystem der MS RheinEnergie integriert werden kann, um eine sichere Betriebsweise zu gewährleisten. Hierbei wurde untersucht, ob auf die vorhandenen Abwasserspeichertanks als Puffertanks zurückgegriffen werden muss und die vorab gewählte Betriebsstrategie (konstanter Durchsatz) den Anforderungen an Bord gerecht wurde.

2. Gestaltung eines sicheren Bordbetriebs

Zur Gewährleistung eines weitgehend störungsfreien Betriebs wurde ein Betriebskonzept entwickelt. Für den Störfall (Ausfall der Schiffskläranlage) wurden Handlungsanweisungen erarbeitet.

3. Untersuchungen zur Anlagenwartung und -kontrolle

Hierbei wurde untersucht, inwieweit sich schiffsbetriebsverträgliche Wartungsintervalle realisieren lassen, welche Kontrollarbeiten vom Bordpersonal zu übernehmen bzw. welche Wartungsarbeiten im Laufe einer Fahrtsaison durchzuführen sind und wie sie in den Bordbetrieb integriert werden können.

2. Einbau und Betrieb der Schiffskläranlage

Aufgrund der Katamaranbauweise und der Länge der RheinEnergie war eine Auslegung des Abwasserentsorgungssystems an Bord mit zentral gelegenen Sammel tanks nicht möglich. Das Entsorgungssystem musste für jeden Schiffsrumpf separat ausgeführt werden. Das im so genannten Zwillingdeck installierte Abwasserentsorgungssystem besteht aus insgesamt fünf Abwassersammelzellen (angeordnet im Bug-, Mittel- und Heckbereich des Schiffes) und zwei Abwasserspeichertanks. Die Schiffskläranlage wurde nachträglich integriert. Zuvor wurde das Abwasser gesammelt und nach außenbords in die Fahrstraße gepumpt.

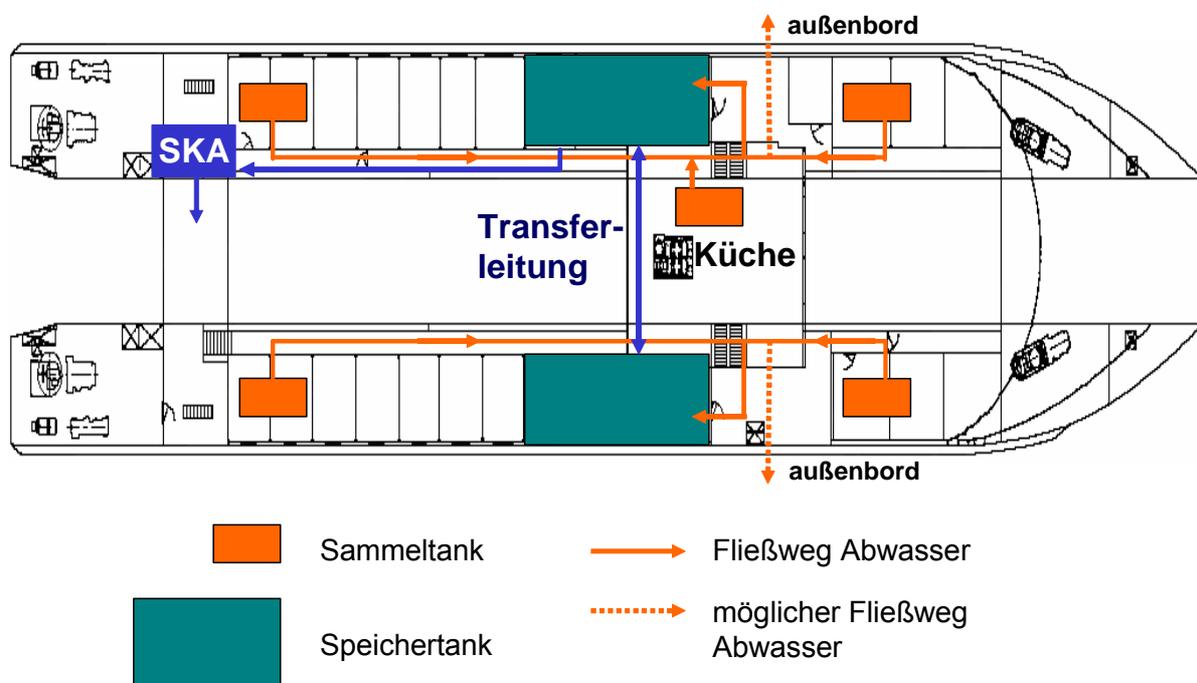


Abbildung 2: Abwasserentsorgungssystem an Bord der RheinEnergie nach Installation der Schiffskläranlage

Die Entsorgungspfade des an Bord anfallenden Abwassers vor und nach dem Einbau der Schiffskläranlage sind in Tabelle 1 beschrieben.

Tabelle 1: Übersicht der Entsorgungspfade der Abwasserteilströme vor und nach der Installation der Schiffskläranlage

| Abwasserteilstrom | Abwasserentsorgungspfad | |
|------------------------------|---|---|
| | Vor Einbau Schiffskläranlage | Nach Einbau Schiffskläranlage |
| Abwasser aus Küche | über Sammeltank Küche nach außenbords | über Sammeltank Küche, Speichertank backbord zur SKA |
| Abwasser aus Gästetoiletten | über Sammeltanks im Schiffsbug nach außenbords | direkte Einleitung in Speichertank steuerbord, über Speichertank backbord zur SKA |
| Abwasser aus Personalkabinen | über Sammeltanks im Schiffsbug und -heck nach außenbords | über Sammeltanks im Schiffsbug und -heck, Speichertank steuerbord und Speichertank backbord zur SKA |
| Abwasser aus Waschmaschinen | über backbordseitigen Sammeltank im Schiffsheck nach außenbords | über backbordseitigen Sammeltank im Schiffsheck, Speichertank steuerbord zur SKA |

Als Aufstellplatz wurde der hintere Storraum im backbordseitigen Schiffsheck der RheinEnergie vorgesehen. Vorrangig mussten die Raummaße des an Bord zur Verfügung stehenden Aufstellplatzes bei der Dimensionierung der Schiffskläranlage eingehalten werden.

Die Schiffskläranlage vom Typ siClaro-BMA[®] - Abwasserbehandlungsanlage der Firma Martin Systems AG aus Sonneberg/Soest basiert auf dem Membranbelebungsverfahren und dient zur Reinigung häuslicher Schiffsabwässer. Die Anlage besteht aus einer mechanischen Vorreinigung zur Grobstoffabscheidung durch Feinsiebung, dem BMA[®] - Biomembranreaktor zur biologischen Behandlung des vorgereinigten Abwassers und einer Membrantrennstufe bestehend aus getauchten Ultrafiltrationsmembranen. Zur Abtrennung des belebten Schlammes sind

vier Module mit Ultrafiltrationsmembranen (Trenngrenze 150 kD) in der Filterkammer installiert. Die Membranfilterfläche beträgt 200 m².

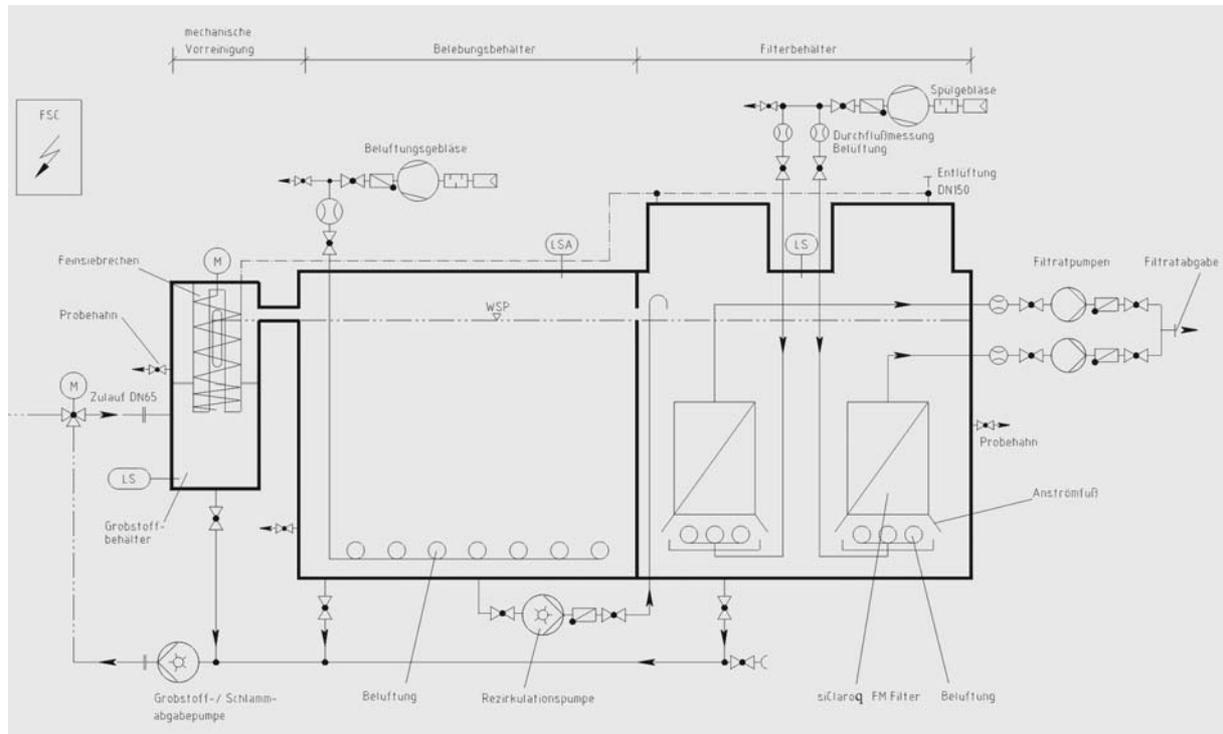


Abbildung 3: Funktionsschema siClaro-BMA[®] - Abwasserbehandlungsanlage

Die Beschickung der Anlage erfolgt über eine trocken aufgestellte, selbstansaugende Zuspaisepumpe mit Schneideinrichtung. Die Schneideinrichtung wurde gewählt, um ein häufiges Verblocken oder Verstopfen der Pumpe zu verhindern. Die ungelösten organischen und anorganischen Abwasserinhaltsstoffe werden in der mechanischen Behandlungsstufe durch Feinsiebung zurückgehalten. Die dabei anfallenden Grobstoffe werden in einem Sammelbehälter (Grobstoffsammelzelle) gespeichert und sind mit dem im Bioreaktor anfallenden Überschussschlamm an Land zu entsorgen. Die Reinigung des Feinsiebs erfolgt durch eine automatisierte Siebreinigung.

Das mechanisch gereinigte Abwasser fließt im freien Gefälle dem Membranbioreaktor zu. Der Reaktor ist in zwei Kammern, Belebungs-kammer und Filterkammer, aufgeteilt. Das Abwasser wird nach dem Belebungsverfahren biologisch durch Mikroorganismen gereinigt. Der Eintrag des erforderlichen Sauerstoffs zur Versorgung der aeroben Mikroorganismen erfolgt über ein Belüftungsgebläse, das über eine im Bioreaktor integrierte Sauerstoffmesssonde

gesteuert wird. Die eingetragene Luft wird über feinblasige Rohrmembranbelüfter im Bioreaktor flächendeckend verteilt. Die biologische Stufe ist auf Kohlenstoffelimination ausgelegt. Belebungs- und Filterkammer sind über eine Tauchwand voneinander getrennt, die Rezirkulation des belebten Schlammes erfolgt über eine trocken aufgestellte selbstansaugende Rezirkulationspumpe. Die Durchmischung des belebten Schlammes im Bioreaktor erfolgt durch beide installierte Belüftergebläse. Rührwerke wurden nicht installiert.

Die Abtrennung des gereinigten Abwassers vom belebten Schlamm erfolgt über getauchte Ultrafiltrationsmembranen, die in insgesamt vier Filtern in der Filterkammer aufgestellt wurden. Jeweils zwei Filter bilden dabei eine Einheit (Filterstraße), die zum Teil unabhängig voneinander betrieben werden können. Über ein Spülgebläse wird Luft zur Reinigung der Membranoberflächen eingetragen und über einen unter den Modulen angeordneten Anströmfuß verteilt. So wird einer Verstopfung der Membranen entgegengewirkt. Bei den eingesetzten Ultrafiltrationsmembranen handelt es sich um organische, polymere Flachmembranen, die beidseitig auf einen Membranträger in Sandwichbauweise aufgeschweißt sind. Die Filtration erfolgt von außen nach innen, wobei das Filtrat über ein Drainagesystem mittels Unterdruck abgesaugt und schließlich nach außenbords gepumpt wird. Der durch das Wachstum von Mikroorganismen entstehende Überschussschlamm wird durch Aufkonzentrierung im Bioreaktor gespeichert und ist periodisch an Land abzugeben.

Die siClaro-BMA[®]-Abwasserbehandlungsanlage wird füllstandsgesteuert betrieben. Erst bei Erreichen eines vorab definierten minimalen Füllstands im Bioreaktor wird frisches Abwasser der Anlage zugepumpt. Die Durchsatzleistung der Anlage wird über die Filtratpumpen durch Einstellung von Laufzeiten und Filtrationsleistungen vorgegeben. Die Einstellungen erfolgen manuell. Übersteigt der Abwasseranfall die eingestellte Filtrationsleistung wird das Abwasser in einem vorgeschalteten Sammelbehälter zwischengespeichert. Wenn im vorgeschalteten Sammelbehälter kein Abwasser mehr „zur Verfügung“ steht, geht die Anlage in einen so genannten Stand-By Betrieb über. Beim Stand-By Betrieb schalten die Filtratpumpen automatisch ab, so dass ein Leerfiltrieren der Anlage verhindert wird. Der im Bioreaktor vorhandene belebte Schlamm wird im Stand-By Betrieb intervallweise belüftet, um den Abbau der Abwasserinhaltsstoffe zu drosseln bzw. die

Durchmischung aufrecht zu erhalten. Die technischen Daten zur Anlage sind im Anhang beigelegt.

3. Kurzdarstellung und Beurteilung des Anlagenbetriebs

Der Einbau der Schiffskläranlage in das Fahrgastschiff RheinEnergie erfolgte während einer Werftliegezeit im Februar 2005. Mit Beginn der Hauptsaison Anfang Mai 2005 konnte die Schiffskläranlage in Betrieb genommen werden. Anfang Juli 2005 wurde die Einfahrphase abgeschlossen. Der Untersuchungszeitraum an Bord der RheinEnergie dauerte bis zum Ende der Hauptsaison 2006 und endete am 04.10.2006.

In beiden Betriebsjahren gab es auf dem Schiff Schwierigkeiten mit der Abwasserableitung. Aufgrund des Einsatzes von Pumpen ohne Schneidwerk, die leicht verstopften, und fehlerhaft verlegten Abwasserentsorgungsleitungen mit zu geringem Gefälle war es nicht möglich, das gesamte anfallende Abwasser auf der RheinEnergie während des Betriebs durchgängig den Abwasserspeichertanks zuzuleiten und mit der Schiffskläranlage zu behandeln. Immer wieder auftretende Rohrverstopfungen führten dazu, dass Notüberläufe geöffnet werden mussten, um das Abwasser ableiten zu können. Der Fahrgastbetrieb an Bord der RheinEnergie hatte oberste Priorität und durfte nicht gestört werden.

Bei der Beurteilung des Anlagenbetriebs während des Untersuchungsvorhabens muss daher differenziert werden zwischen dem Anlagenbetrieb der Schiffskläranlage und dem Betrieb des gesamten Abwasserentsorgungssystems an Bord der RheinEnergie. Über den Untersuchungszeitraum betrachtet, konnten bis zu 2/3 des Wasserverbrauchs in der Schiffskläranlage behandelt werden. Der Wasserverbrauch lag bei 7.720 m³, der behandelte Abwasservolumenstrom bei 5.044 m³.

Tabelle 2: Vergleich Wasserverbrauch und behandelte Abwasservolumenströme an Bord der RheinEnergie im Untersuchungszeitraum

| Saison | 1) Wasser- verbrauch | | 2) behandelte Abwasser- volumenströme | | Verhältnis 1 zu 2 |
|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|----------------------|
| | Gesamt [m ³] | Mittel [m ³ /d] | Gesamt [m ³] | Mittel [m ³ /d] | [%] |
| Hauptsaison 2005 | 2.937 | 18,7 | 1.945 | 12,4 | 66,3 |
| Nebensaison 2005/2006 | 1.836 | 8,9 | 1.532 | 7,4 | 83,1 |
| Hauptsaison 2006 | 2.947 | 18,5 | 1.567 | 9,9 | 53,5 |
| Gesamt | 7.720 | 14,8 | 5.044 | 9,6 | 65,3 |

Der Abwasseranfall an Bord der RheinEnergie wurde nicht explizit gemessen. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der Abwasseranteil bei ca. $100 \pm 10\%$ des Gesamtwasserverbrauchs liegt. Zusätzliche Wasserverbrauchsquellen liegen im Bereich der Gästebewirtung (Getränkeverzehr bis zu 3.000 Liter pro Veranstaltung). Senken liegen im Bereich der Küche und der Fensterreinigung.

Insgesamt musste festgestellt werden, dass die installierte Membranfilterfläche von 200 m² nicht ausreichte, um mit den erreichten Filtrationsleistungen das gesamte Abwasser an Bord der RheinEnergie behandeln zu können. Es hatte sich im Untersuchungszeitraum gezeigt, dass Filtrationsleistungen von 5 bis 6 l/(m²*h) (Brutto-Permeatflux) über einen längeren Zeitraum nicht erreicht werden konnten. Diese wären notwendig gewesen, um Abwasservolumenströme von bis zu 30 m³/d zu filtrieren. Eine Behandlung des in der Hauptsaison 2006 verbrauchten Wassers wäre damit rechnerisch unter Einbeziehung des nutzbaren Volumens der Abwasserspeichertanks von 50 m³ möglich gewesen.

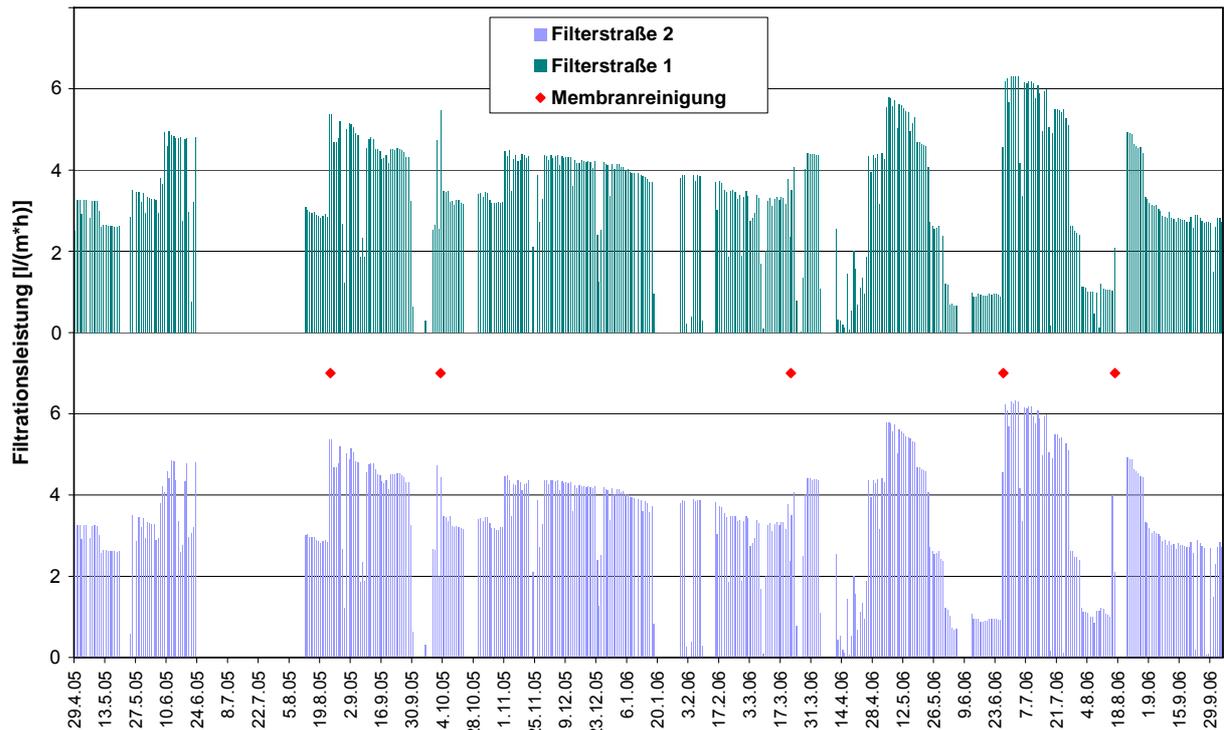


Abbildung 4: Filtrationsleistungen der Filtrationsstraßen 1 + 2 im Untersuchungszeitraum 2005/2006

Es konnten Filtrationsleistungen von bis zu 4,5 l/(m²*h) (Brutto-Permeatflux) mit einem Verhältnis Filtrations- zu Pausenzeit von 3 zu 1 bis 7 zu 1 über längere Zeiträume erreicht werden. Mit einer Membranfläche von 200 m² ergab sich damit eine tägliche potentielle Netto-Filtrationsleistung von bis zu 19,0 m³/d Abwasser. Dieser Abwasservolumenstrom entsprach in etwa dem mittleren täglichen Wasserverbrauch, der in der Hauptsaison 2006 ermittelt wurde. Diese Leistung ist in Kombination mit dem verfügbaren Speichervolumen jedoch nicht ausreichend, um Tagesspitzen von bis zu 57 m³/d zu filtrieren bzw. das gesamte anfallende Abwasser an Bord der RheinEnergie zu behandeln.

Um die Schiffskläranlage an Bord der RheinEnergie weiterhin zu betreiben, sind Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich, die in Kapitel 4 vorgestellt und diskutiert werden.

4. Empfehlungen für ein Betriebskonzept (Ausblick)

Zur Verbesserung des Schiffskläranlagenbetriebs werden neben der Installation eines Fettabscheiders zur Vorbehandlung der an Bord anfallenden Küchenabwässer folgende bauliche Maßnahmen als notwendig erachtet:

- Installation eines weiteren Membranmoduls und Erhöhung der Membranfilterfläche auf 250 m².
- Installation eines Moduls zur füllstandsabhängigen Filtrationssteuerung.

Untersuchungen zu lipophilen Stoffen, die im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung durchgeführt wurden, führen zu dem Ergebnis, dass die Installation eines Fettabscheiders notwendig ist. Auf Einzelheiten wird dazu im Abschlussbericht zum Vorhaben der wissenschaftlichen Begleitung (April 2007) eingegangen.

Nach Aussage des Anlagenherstellers Martin Systems steht in der Filterkammer noch ausreichend Platz zur Verfügung, um ein weiteres Membranmodul mit einer Filterfläche von 50 m² zu installieren. Neben einer Erweiterung der Membranfilterfläche ist als zusätzliche bauliche Maßnahme eine automatische füllstandsgesteuerte Filtrationsleistung denkbar. Zurzeit wird die Filtrationsleistung der Filtratpumpen manuell eingestellt. Nach Angaben des Anlagenherstellers Martin Systems ist es möglich, in die Betriebssteuerung ein Steuermodul zu integrieren, das es ermöglicht, die Filtrationsleistung durch Zuschaltung eines Bypasses zu erhöhen, wenn ein bestimmter Füllstand im Abwasserspeichertank erreicht wird. Rechnerisch konnte nachgewiesen werden, dass es so möglich gewesen wäre, das in der Hauptsaison 2006 angefallene Abwasser vollständig zu behandeln. Vorzusehen ist dabei eine konstante tägliche Netto-Filtrationsleistung von 19 m³/d. Erreicht der Füllstand in den Abwasserspeichertanks 1/3 des maximalen Speichervolumens wird ein Bypass mit einer Filtrationsleistung von 16 m³/d solange zugeschaltet, bis der Füllstand in den Tanks wieder abnimmt. Die maximale tägliche Netto-Filtrationsleistung ergibt sich damit zu 35 m³/d und entspricht dem Auslegungswert, der ursprünglich angesetzt wurde. Bei einer Membranfilterfläche von 250 m², einem Verhältnis Filtrations- zu Pausenzeit von 6 zu 1 ergibt sich ein erforderlicher Brutto-Permeatflux von 7 l/(m²*h) in der Spitze und ein Brutto-Permeatflux von 4 l/(m²*h) als Grundlast. Beide Filtrationsleistungen liegen deutlich unter dem Maximalwert von 12 l/(m²*h), der vom Anlagenhersteller Martin Systems angegeben wurde. In

Abbildung 5 ist das notwendige Speichervolumen über den Zeitraum der Hauptsaison 2006 für eine Filtrationsleistung von 19 m³/d mit und ohne Bypass dargestellt.

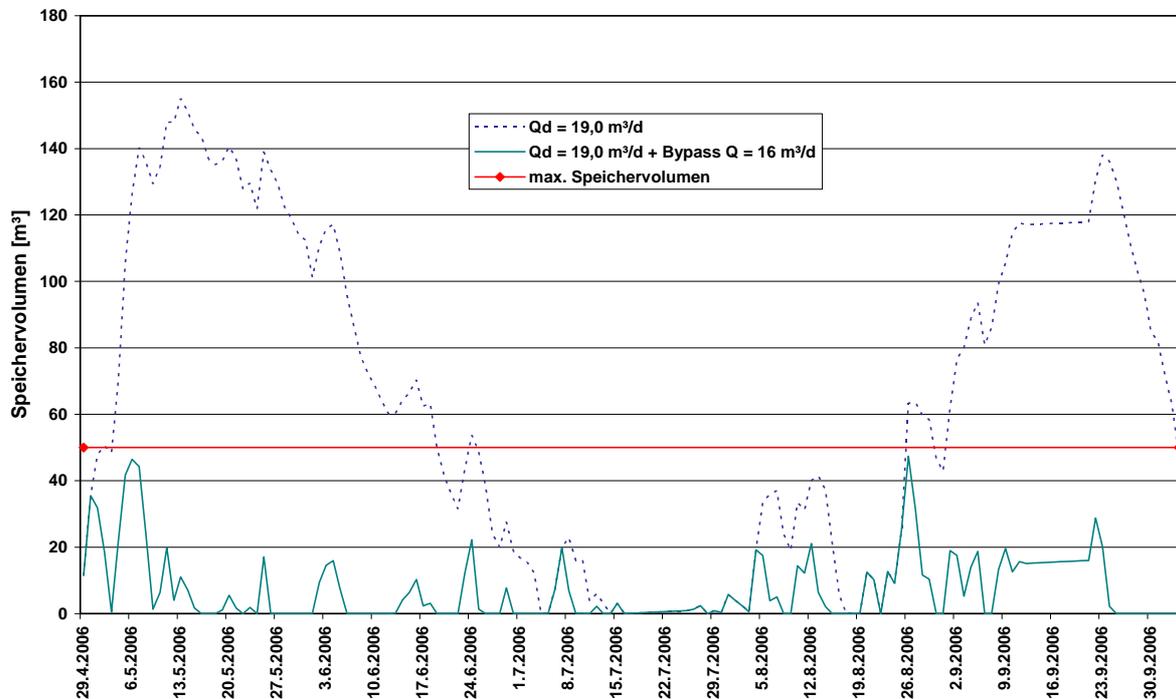


Abbildung 5: Erforderliche Speichervolumen mit und ohne füllstandsabhängig gesteuerter Filtrationsleistung

Bei Ausfall der Schiffskläranlage steht ein maximales Speichervolumen von 50 m³ zur Verfügung. In den meisten Fällen ist dieses Volumen ausreichend, um zumindest das Abwasser für einen Tag während der Fahrt zwischen zu speichern und anschließend an Land abzugeben. In der Hauptsaison 2006 wurden nur an zwei Tagen Wasserverbräuche ermittelt, die über den 50 m³ Speichervolumen lagen. Bis zur Wiederinbetriebnahme der Schiffskläranlage ist es also möglich, als Notfallkonzept die Zwischenspeicherung an Bord mit anschließender Abgabe an Land vorzusehen.

Vom Bordpersonal sollte ein Betriebstagebuch geführt werden, in dem die wesentlichsten Betriebsparameter wie Filtrationsleistung, Transmembrandruck, Sauerstoffgehalt im Bioreaktor erfasst werden. Über grüne und rote Signallichter wird der ordnungsgemäße Zustand der Anlagenaggregate wie Gebläse, Pumpen usw. am

Schaltschrank der Anlage angezeigt, die auch in das Betriebstagebuch übernommen werden sollten. Die Kontrolle der Schiffskläranlage kann in den allgemeinen Kontrollgang auf dem Schiff aufgenommen werden, so dass der tägliche Arbeitsmehraufwand etwa 10 Minuten betragen würde. Darüber hinaus läuft die Anlage vollautomatisch, so dass nur der anfallende Überschussschlamm regelmäßig vom Bordpersonal an Land abgegeben werden muss. Reparatur- und Wartungsarbeiten sollten vom Anlagenhersteller Martin Systems übernommen werden.

Handelt es sich bei den Arbeiten vor Ort nicht um einen Notfall, können Wartungstermine mit dem Einsatzplan der RheinEnergie abgestimmt werden. In der Hauptsaison 2006 hatte die RheinEnergie insgesamt 26 Liegetage, an denen notwendige Wartungsarbeiten hätten durchgeführt werden können. Ähnliches galt auch für die Hauptsaison 2005 und die Nebensaison 2005/2006. Zu Beginn oder am Ende der Nebensaison steht zudem ausreichend Zeit für mehrtägige Reparatur- oder Wartungsarbeiten zur Verfügung, wenn die RheinEnergie im KD - eigenen Hafen liegt und auf ihre Einsätze vorbereitet wird bzw. Antriebs- und Betriebsmaschinen des Schiffes gewartet werden. Ein Angebot für einen entsprechenden Wartungsvertrag wurde der KD bereits vom Anlagenhersteller Martin Systems überreicht.

Unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Ertüchtigungsmaßnahmen und erläuterten Empfehlungen zu den Betriebsstrategien kann davon ausgegangen werden, dass die Schiffskläranlage erfolgreich an Bord der RheinEnergie betrieben werden kann. Voraussetzungen sind, dass der Anlagenbetrieb vom Bordpersonal der KD ordnungsgemäß überwacht wird und die Schiffskläranlage im Rahmen eines Wartungsvertrages vom Anlagenhersteller in regelmäßigen Abständen kontrolliert wird.

Im Rahmen des Vorhabens der wissenschaftlichen Begleitung des Demonstrationsbetriebs der Schiffskläranlage (AZ IV-9-042 545 0020) erfolgten Untersuchungen zu erreichbaren Reinigungsleistungen (Eliminationsraten), Untersuchungen zur Einhaltung der geforderten Grenzwerte sowie Untersuchungen zur Überschussschlammproduktion und Speicherung. Der Abschlussbericht zu diesem Vorhaben wird im April 2007 vorgelegt.

Anhang : Technische Daten siClaro-BMA®-Abwasserbehandlungsanlage

| Abmessungen | | |
|---|--|---------------------------------|
| Länge | 3.450 | mm |
| Breite | 2.800 | mm |
| Höhe | 2.320 | mm |
| Raummaße | 22,4 | m ³ |
| Gewicht leer | 3.300 | kg |
| Gewicht Anlage gefüllt | ca. 14.000 | kg |
| Anlagenaufbau /Behandlungsstufen | | |
| Vorklärung | Feinsiebreechen zur Grobstoffabscheidung | |
| Spaltweite Feinsiebreechen | 1 | mm |
| Speichervolumen Grobstoffbehälter | 0,5 | m ³ |
| Biologische Behandlungsstufe | Membranbioreaktor bestehend aus Belebungs- und Filterkammer | |
| Volumen Membranbioreaktor | 10 | m ³ |
| Volumen Belebungskammer | 5 | m ³ |
| Volumen Filterkammer | 5 | m ³ |
| Belüftungsgebläse zweistufiger Seitenkanalverdichter | 100 | Nm ³ /h Volumenstrom |
| Spülgebläse zweistufiger Seitenkanalverdichter | 144 | Nm ³ /h Volumenstrom |
| Rohrmembranbelüfter | 11 | Stück |
| Membrantrennstufe | Filter siClaro Typ FM 642 | |
| Anzahl Filter | 4 | Stück |
| Filterfläche/Filter | 50 | m ² |
| Filterfläche gesamt | 200 | m ² |
| Filtratpumpen | 2 | Stück |
| Förderstrom Filtratpumpe | 3,6 | m ³ /h |

| Daten Filter | | |
|----------------------------|---|--------------------------------------|
| Membranmodule | 8 | Stück Flachmembrane |
| Filterfläche je Modul | 6 | m ² |
| Trenngrenze (MWCO) | 150 | kDa |
| Flux | 12 | l/(m ² /h) |
| TMP | ≤ 200 | mbar |
| Werkstoff/Fabrikat | org. Polymer/MartinSystems | |
| Bemessungsdaten | | |
| Bemessungsparameter | Anlage ist auf Kohlenstoffelimination ausgelegt (BSB ₅) | |
| mittlere Betriebslast | 16,8 | kg BSB ₅ /d |
| Spitzenlast | 23,0 | kg BSB ₅ /d |
| mittlerer Volumenstrom | 35,0 | m ³ /d |
| maximaler Volumenstrom | 55,0 | m ³ /d (auf 48h begrenzt) |
| maximaler Volumenstrom | 2,3 | m ³ /d (auf 48h begrenzt) |
| Ablaufanforderungen | | |
| BSB ₅ | 40 | mg/l |
| CSB | 180 | mg/l |