

Umweltfreundliche Waschanlage für Sportboote mit Biozid- freien Beschichtungen

Abschlussbericht

30.9.2013

gefördert durch



Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Az 29437-31

Prof. Dr.-Ing. D. Lompe, C. Schubert
Hochschule Bremerhaven

Kooperationspartner:

International Port Technology (UG), 27568 Bremerhaven
Wohlert Lackfabrik, 27241 Ritterhude

Fachbereich 1
An der Karlstadt 8
27568 Bremerhaven

Projektkennblatt

der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	29437	Referat	31	Fördersumme	178.847,00 €
----	--------------	---------	-----------	-------------	---------------------

Antragstitel **Umweltfreundliche Waschanlage für Sportboote mit Biozid-freien Beschichtungen**

Stichworte Umweltchemikalien, Verfahren, Wasser, Schiff

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
17 Monate	16.04.2012	30.9.2013	

Zwischenberichte 1, Fälligkeit: 15.11.2012

Bewilligungsempfänger	Hochschule Bremerhaven Fachbereich 1 – Technologie	Tel 0471/ 48 23-169 Fax 0471/ 48 23-145
	An der Karlstadt 8 27568 Bremerhaven	Projektleitung Prof. D. Lompe Bearbeiter: C. Schubert

Kooperationspartner IPT, International Port Technology
27572 Bremerhaven

Wohlert Lackfabrik GmbH
27241 Ritterhude

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Biofouling auf Bootsrümpfen (Biofilme und Aufwuchs von Pflanzen und Tieren mit festsitzenden Verbreitungsstadien) ist ein lang bekanntes Problem und von Revier zu Revier meist höchst unterschiedlich.

Grundsätzlich bewächst jede Fläche, welche ständig sich im Wasser befindet. Art und Geschwindigkeit des Aufwuchses hängen hauptsächlich von den Wasserrevieren und von den Umwelteinflüssen ab.

Der Aufwuchs an Sportbooten kann folgende Nachteile bringen:

- etwaige Öffnungen für Kühlung an Motorbooten werden verstopft,
- Geschwindigkeitsmesser und Tiefenmesser funktionieren nicht mehr,
- die Geschwindigkeit wird stark reduziert,
- die Manövrierfähigkeit wird eingeschränkt,
- der Treibstoffverbrauch bei Motorbooten steigt.

Das Vermeiden bzw. Entfernen von Bewuchs ist daher u.a. erforderlich sowohl aus Sicherheitsgründen (Manövrierfähigkeit) als auch aus Umweltschutzgründen (Verringerung des Kraftstoffverbrauches). Vermeiden oder Entfernen von Bewuchs darf dabei nicht zu einer Beeinträchtigung der Umwelt führen, z.B. durch Schadstoffeintrag in das Gewässer.

Bisher verwendete Methoden gegen Biofouling

Abrasiv wirkende Biozid-freie Beschichtungen sind aus der Berufsschifffahrt bekannt, werden aber im Sportbootbereich kaum verwendet, da die Boote in der Regel nicht dafür ausreichend bewegt werden.

Die mechanische Bewuchsentfernung an Land ist mit hohem Zeit- und Kostenaufwand verbunden und wird daher selten eingesetzt.

Überwiegend werden daher Biozid-haltige Beschichtungen zur Bewuchsvermeidung eingesetzt.

Durch ständige Abgabe von Bioziden wird der Aufwuchs gehemmt, es erfolgt aber auch eine Kontamination des Wassers mit diesen Schadstoffen. Nach dem Auskranken im Herbst wird mit Wasserhochdruck der trotzdem anhaftende Aufwuchs entfernt. Dabei wird auch ein Teil der Biozidhaltigen Beschichtung entfernt, gelangt in das Abwasser und verbleibt vermutlich hauptsächlich im Klärschlamm.

Neuer Ansatz durch Biozid-freie Beschichtung und Bootswaschanlagen

Dieser Konflikt kann aufgelöst werden, wenn abriebfeste Biozid- und Schwermetall-freie Beschichtungen zur Anwendung kommen. Hier erfolgt allerdings der Aufwuchs in der Regel schneller. Im Sportbootbereich weisen diese Beschichtungen bisher keinen großen Marktanteil auf, weil zur ihrer Pflege verlässliche mechanische Reinigungsverfahren wie z.B. Bootswaschanlagen auf dem Markt fehlen. Tests mit einer Versuchs-Waschanlage bestätigten die grundsätzliche Eignung des Verfahrens. Dabei muss vermieden werden, dass der vom Boot abgetrennte Bewuchs zu einer Gewässerunreinigung führt, indem er abgetrennt und dann an Land verwertet oder entsorgt wird.

Die Ziele dieses Projektes bestehen daher in der Entwicklung von Methoden, mit denen Art und Menge von Aufwuchs auf Biozid-frei beschichteten Oberflächen an verschiedenen Orten erfasst, die Reinigung in einer neu entwickelten Sportboot-Waschanlage bewertet und die Abtrennung des entfernten Bewuchses untersucht werden können, um die Eignung des Verfahrens für den Einsatz in Sportboot-Häfen beurteilen und die Anlage ggf. verbessern zu können. Ein weiteres Ziel ist die Ermittlung passender Reinigungsintervalle unter verschiedenen Bewuchsbedingungen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Ein auf sowohl auf die Verringerung von Bewuchs als auch auf die Beanspruchung beim Abbürsten ausgelegter Beschichtungslack wurde entwickelt und getestet. Die Bootswaschanlage wurde umgebaut, insbesondere um die Positionierung der Bürsten zu verbessern und um die Anlage am Boden und der Ein- bzw. Ausfahrtseite so weit wie möglich gegen Wasseraustausch mit der Umgebung zu schließen. Sowohl Testboote mit Biozid-freier Beschichtung als auch Testplatten wurden erstellt. Die Testplatten wurden anschließend unter verschiedenen Bedingungen bewachsen und danach in einer mobilen Bürstenanlage gereinigt. Bei ausgewählten Platten erfolgte eine manuelle Reinigung im Labor zur Bestimmung des Biomasseaufkommens und des darin enthaltenen organischen Anteils, absetzbare Stoffe und Gesamtphosphor.

Ergebnisse und Diskussion

Lackentwicklung, Bewuchs und Reinigungserfolg:

Auf Basis der Waschergebnisse hauptsächlich an den Testplatten wurde eine Beschichtung entwickelt, die sowohl den Bewuchs erschwert als auch durch Bürsten gut zu reinigen ist und dabei selbst keinen Schaden nimmt. Voraussetzung für eine gute Reinigung der Oberflächen ist dabei ein ausreichend kurzer Abstand zwischen zwei Wäschen, der je nach Standort und Wetter im Süßwasser bei einigen Monaten liegen kann, im Salzwasser aber ggf. nur wenige Wochen beträgt.

Das System aus einer Bürstenwäsche und darauf abgestimmten Biozid-freien Beschichtungen ermöglicht daher die Reinigung von Sportbooten, wobei die Beschichtung voraussichtlich mehrere Jahre Standzeit aufweist. Lediglich für die Bürsten nicht zugängliche Bereiche z.B. im Bereich des Antriebs werden nicht erfasst. Ein kompletter Verzicht von Bioziden zumindest im Süßwasser ist damit in der Praxis umsetzbar.

Die Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede bezüglich Auslagerungsort und Sonnenseite oder Schattenseite der Platten. In Salzwasser-der Nordsee (z.B. Norddeich) und Brackwasser (Bremerhaven) ist der Bewuchs eher schlammartig fein mit vereinzelt Pocken und wenigen Algen. Im Salzwasser-der Ostsee wiesen die Platten nach mehreren Wochen festsitzende große Pocken auf, deren Haftflächen per Hand nicht entfernt werden konnten. Am Standort Neustadt kamen im unteren Drittel der Platten

auf den Sonnenseiten vermehrt Muscheln hinzu. Es wurden bis zu 75 g/m² Trockenmasse und bis zu 20 g/m² organische Trockenmasse als Bewuchs ermittelt.

Weiterentwicklung der Bootswaschanlage und Umweltauswirkungen:

Die Waschanlage wurde am Boden und an den Längsseiten gegen die Umgebung geschlossen. An der Ein- und Ausfahrtsseite wurden bewegliche Schürzen angebracht, um den Wasseraustausch mit der Umgebung möglichst gering zu halten. Bürstenpositionen, Bürstenbetrieb sowie Wasserabsaugung, -reinigung und -rückführung wurden verbessert.

Das Rückhaltevermögen der Vliesfiltration betrug im Mittel etwa 80% bei Spitzenwerten bis zu 95%.

Durch die Rückführung des so filtrierten Wassers wurde aus dem Messwerten auf ein Boot mit 30 m² Unterwasserfläche hochgerechnet ein Eintrag in das Wasser von

- 75 bis 341 g Feststoffe mit einem organischen Anteil von 20 bis 80%
- 0,8 bis 5,9 g Phosphor.

Strömungsmessungen an der Waschanlage verbunden mit einer Abschätzung des mit der Umgebung ausgetauschten Wasservolumens ergaben, dass je Wäsche der komplette Inhalt der Waschanlage einmal ausgetauscht wird, was bei der weiteren Optimierung der Anlage verringert werden sollte.

Es wurden drei Testboote mit Biozid-freier Beschichtung in der Anlage gewaschen. Die gemessenen Konzentrationen bezüglich suspendierter Feststoffe, Phosphor, Gesamtstickstoff und TOC lassen keine Auswirkung auf das umgebende Gewässer durch die durchgeführten Bootswäsche erkennen. Es wurde jedoch nur jeweils ein Boot pro Tag gewaschen, die wegen der Bewuchsdauer und des Standortes einen eher geringen Bewuchs aufwiesen. Daher war auch keine deutliche Auswirkung auf das Hafengewässer vor Ort zu erwarten.

Messungen dieser Art sollten daher beim Betrieb einer Anlage mit hoher Zahl an Booten pro Tag und an Standorten mit sehr niedrigen Hintergrundwerten des Umgebungswassers wiederholt werden, um die Auswirkungen eines intensiven Betriebes solcher Anlagen besser bewerten zu können. Dass eine Auswirkung der Waschanlage auf das Gewässer besteht, konnte mit fluoreszenzspektroskopischen Messungen gezeigt werden.

Insgesamt zeigen die durchgeführten Untersuchungen, dass eine Bewertung von Waschanlagen für Sportboote mit den verwendeten Methoden unter Praxisbedingungen möglich ist.

Veränderungen der Wasserparameter, die negative Umweltauswirkungen befürchten lassen, konnten bei den durchgeführten Untersuchungen nicht festgestellt werden. Weitere Untersuchungen dazu bei höherem Durchsatz an Booten im realen Betrieb sind jedoch sinnvoll.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Das Projekt wurde in mehreren Zeitungs- und Zeitschriftenartikeln, auf Vorträgen sowie dem Bremerhavener Hafenfest (24.-28.7.2013) der Öffentlichkeit und Fachpublikum vorgestellt. Eine Präsentation auf der Bootsmesse in Düsseldorf erfolgte vom 18. bis 26.1. 2014.

Fazit

Es existiert damit ein System aus Biozid-freien Bootsanstrichen und dem Prototyp einer Bürsten-Waschanlage, das geeignet ist, Sportboote im Wasser zu reinigen und den Bewuchs weitgehend aus dem Wasser abzutrennen. Die für eine gute Reinigung erforderlichen Reinigungsintervalle sind in Salzwasser kürzer als in Süß- oder Brackwasser. Nicht ermittelt werden konnte, ob auch beim Dauerbetrieb der Waschanlage die getestete Filteranlage ausreicht, um unerwünschte Auswirkungen auf das Gewässer am Standort der Anlage zu vermeiden. Neben klassischen Methoden der Wasseruntersuchungen sind auch Fluoreszenzspektroskopische Messungen zur Bewertung des Anlagenbetriebes geeignet.

Inhaltsverzeichnis

1	FORMALE ANGABEN ZUM GEFÖRDERTEN PROJEKT	1
2	HINTERGRUND UND ZIEL DES VORHABENS.....	1
3	DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN UND VERWENDETE METHODEN.....	3
3.1	Hochschule Bremerhaven.....	3
3.1.1	Biomasseaufkommen und Abwaschbarkeit der Testplatten	5
3.1.2	Strömungsmessungen und Filtervolumenstrom	6
3.1.3	Bootswäschen	7
3.2	IPT und Wohler Lackfabrik.....	9
4	DARSTELLUNG UND DISKUSSION DER ERGEBNISSE	14
4.1	Mechanische Eignung und Handhabung der Beschichtungen.....	14
4.2	Reinigung der Testplatten vor Ort.....	14
4.3	Bewuchsart und Reinigen der Testplatten unter Laborbedingungen	16
4.3.2	Menge und Art des abgewaschenen Materials.....	18
4.3.3	Abschätzung von Biomasseaufkommen und -eintrag je Boot	24
4.4	Untersuchungen an der Bootswaschanlage.....	26
4.4.1	Strömungsmessungen	26
4.4.2	Berechnung des ausgetauschten Wasservolumens	36
4.4.3	Strömungen durch Filterrücklauf	37
4.4.4	Bootswäschen	40
4.4.5	Fluoreszenz-spektroskopische Untersuchungen	47
4.4.6	Betrieb der Waschanlage.....	47
5	FAZIT UND AUSBLICK	47
6	ZUSAMMENFASSUNG	49
	ANHANG.....	51
A1	Abbildungsverzeichnis	51
A2	Tabellenverzeichnis.....	53
A3	Abkürzungen und Symbole	54
A4	Literaturverzeichnis	55
A5	Gefährdungsbeurteilung der verwendeten Beschichtungen	56
A6	Dokumentation der Waschversuche mit mobiler Plattenwaschanlage	57
A7	Fotodokumentation Plattenwaschungen im Labor.....	78

A8: Datenblatt Filtervlies	87
A9 Bericht über „3-D-Fluoreszenzspektroskopie von Wasserproben“	88

1 Formale Angaben zum geförderten Projekt

Titel:	Umweltfreundliche Waschanlage für Sportboote mit Biozid freien Beschichtungen
Stichworte:	Umweltchemikalien, Verfahren, Wasser, Schiff
Bewilligungsempfänger:	Hochschule Bremerhaven
Projektleitung:	Prof. D. Lompe, Hochschule Bremerhaven
Kooperationspartner:	IPT, International Port Technology UG, Bremerhaven Wohlert Lackfabrik GmbH, Ritterhude
Laufzeit:	Beginn 16.04.2012, Ende 30.09.2013
Fördersumme:	178.847 €

2 Hintergrund und Ziel des Vorhabens

Anhaftender Bewuchs am Unterwasserschiff stellt ein bekanntes Problem dar. Dieser Bewuchs erhöht den Treibstoffverbrauch, reduziert die Geschwindigkeit oder verstopft Öffnungen. Daraus resultiert die Erfordernis, den Bewuchs zu entfernen bzw. zu reduzieren.

In Abhängigkeit von Wassertemperatur, Sonneneinstrahlung, Gewässer etc. ergeben sich unterschiedliche Bewuchsarten und -dichten. Um diesem Bewuchs entgegenzuwirken, wurden bisher an Sportbooten Biozid-haltige Antifouling-Beschichtungen verwendet. Nachteil ist die stetige Freisetzung von Bioziden ins Gewässer. Zusätzlich gelangen Biozide durch die Reinigung des Unterwasserschiffes nach der Saison ins Abwasser.

Das Projekt behandelt eine Kombination von Biozid-freien abriebfesten Beschichtungen des Unterwasserschiffes und einer Bootswaschanlage. Dabei muss vermieden werden, dass der vom Boot abgetrennte Bewuchs sich nachteilig auf das Gewässer auswirkt, da ein zusätzlicher Nährstoffeintrag zu erhöhtem Wachstum von Algen führen kann. Daraus kann sich ein Sauerstoffmangel und ein „Umkippen“ des umliegenden Gewässers ergeben.

Strömungsmessungen in und um die Bootswaschanlage dienen als Grundlage der weiteren Messungen und zur Abschätzung des Biomasseaustrages aus der Anlage.

Anhand von Testplatten konnte der Bewuchs in unterschiedlichen Wasserrevieren beurteilt werden sowie ein zu erwartendes Biomasseaufkommen abgeschätzt werden.

Die Ziele des Projektes sind

- die Anpassung und Bewertung einer für die Bürstenwäsche geeigneten Bootsbeschichtung und die Ermittlung dazu passender Reinigungsintervalle,
- die Weiterentwicklung des bestehenden Prototyps der Bootswaschanlage im Hinblick auf die Bürstenpositionierung, die Wasserabsaugung, -filtration und -rückführung sowie auf eine möglichst weit gehend geschlossene Anlage gegenüber dem Umgebungswasser und
- die Entwicklung und Anwendung von Methoden zur Bewertbarkeit solcher Waschanlagen anhand von Wasseranalysen und Schadstoffbilanzen. Die

Bewertbarkeit bezieht sich sowohl auf die Bewertung der Reinigungsleistung als auch auf die Abtrennung bzw. das Einbringen von Schadstoffen.

Die Bewertung der Umweltauswirkungen durch Einleiten von Schadstoffen aus der Waschanlage in das Gewässer kann in Anlehnung an den Entwurf des Anhangs 30 der Abwasserverordnung (Janson 2011) erfolgen.

In diesem Entwurf („Abwasser aus Reinigungs-, Konservierungs- und Instandhaltungs-/setzungsarbeiten sowie Neubau und Verwertung von Wasserfahrzeugen“) sind für verschiedene Herkunftsbereiche Grenzwerte für die Einleitung im Hinblick u.a. auf die organische Belastung (z.B. 150 mg/L CSB, 50 mg/L TOC) und auf abfiltrierbare Stoffe (10 mg/L) genannt.

Obwohl in dem Entwurf des Anhang 30 der Eintrag von Stickstoff und Phosphor nicht betrachtet wird, wird er in diesem Projekt mit betrachtet, um Risiken der Gewässereutrophierung zu erkennen.

3 Durchgeführte Arbeiten und verwendete Methoden

3.1 Hochschule Bremerhaven

Die Arbeiten gliedern sich in folgende Teilbereiche:

- Ermittlung des Biomasseaufkommens anhand von Testplatten
- Ermittlung des Reinigungserfolges anhand von Testplatten
- Hydraulische Untersuchungen an der Bootswaschanlage
- Untersuchungen zur Wasserqualität und zur Schadstoffbilanzierung an der Bootswaschanlage

Zunächst wurde das Biomasseaufkommen anhand ausgelagerter Testplatten (siehe Kap. 3.2) bestimmt. Dabei wurde der Einfluss des Standortes (Süßwasser, Brackwasser, Salzwasser), der Beschichtung, der Sonneneinstrahlung (Sonnenseite und Schattenseite) sowie der Bewuchsdauer untersucht.

Es konnten Platten von folgenden Auslagerungsorten im Labor gereinigt und hinsichtlich ihrer Aufwuchsmasse untersucht werden:

- Bremerhaven – Brackwasser,
- Norddeich – Salzwasser, Nordsee,
- Lübeck – Salzwasser, Ostsee,
- Neustadt – Salzwasser, Ostsee.

Bei den untersuchten Beschichtungen (genannt „weiße“ und „blaue“ Testplatte) waren folgende Beschichtungen auf die jeweiligen Platten aufgetragen:

„weiß“ – 2 K-Epoxyd Standard, Referenzplatte,

„blau“ – 2 K-Epoxyd easy clean 64007.

Die Beschichtungen sind in Kap. 3.2 genauer beschrieben. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Kapitel 4 dargestellt.

Der Reinigungserfolg wurde durch Inaugenscheinnahme und Fotodokumentation der Testplatten sowie der Testboote ermittelt und beschrieben. Durch Reinigen nur eines Teils einer Testplatte und durch anschließend weiteren Bewuchs konnte der Einfluss der Reinigungsintervalle ermittelt werden.

Die hydraulischen Untersuchungen an der Waschanlage dienten dazu, den Wasseraustausch zwischen Bootswaschanlage und dem umgebenden Gewässer beurteilen zu können. Dazu wurde ein Flügelrad-Messgerät eingesetzt, mit dem innerhalb und außerhalb der Waschanlage Wassergeschwindigkeiten ermittelt wurden. Diese Ergebnisse dienten dazu, die Messpunkte für die Messungen der Wasserqualität bei den Wäschen festzulegen. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 4.

Für die Untersuchung der Wasserqualität und Schadstoffbilanzierung bei Bootswäschen standen drei Boote zur Verfügung mit folgender Beschichtung:

Boot 1 Stahlboot mit gelbem Biozid-freiem Anstrich

Boot 2 Motorboot mit grauem Biozid-freiem Anstrich – Einkranung 17.06.2013,

Boot 3 Segelboot mit rotem Biozid-freiem Anstrich – Einkranung 21.06.2013.

Weitere Bootsdaten sind in Kap. 4.3.3 beschrieben.

Während der Wäsche wurden Wasserproben beidseitig des Bootes im Inneren der Anlage entnommen, sowie vor und nach der Wäsche Proben des Umgebungswassers.

Anhand der genommenen Proben wurden die abfiltrierbaren Stoffe durch das in der Waschanlage verwendete Vlies bestimmt (s. Anhang A8) sowie die Parameter Gesamter Organischer Kohlenstoff TOC, Gesamtphosphor und Gesamtstickstoff an der vliesfiltrierten Probe. Zusätzlich wurde der Gelöste Organische Kohlenstoff DOC an der membranfiltrierten Probe bestimmt.

3.1.1 Biomasseaufkommen und Abwaschbarkeit der Testplatten

Zu Beginn wurden Voruntersuchungen durchgeführt, um Größenordnungen, Arbeitsabläufe und Methoden für die späteren Hauptuntersuchungen zu ermitteln. Zu den Voruntersuchungen zählten Filtrationsversuche und Untersuchungen zur Bestimmung des Biomasseaufkommens. Anhand der Ergebnisse wurde die nachfolgend beschriebene Methode ausgewählt.

Ein Test mit Probenahme an der „mobilen Bürste“ ergab, dass die Ermittlung des Biomasseaufkommens auf einer Demoplatte durch diese Art der Reinigung nicht möglich ist.

Einerseits gestaltete sich die Probenahme sehr schwierig auf Grund der Funktionsweise der Bürste, andererseits wurde die Probe durch oberhalb ständig nachströmendes Umgebungswasser so stark verdünnt, dass eine Analyse nicht zweckmäßig bzw. nicht aussagekräftig war. Auf Grund dessen wurden die Untersuchungen auf die manuell gereinigten Platten im Labor beschränkt. Die Reinigung der einzelnen Platten im Labor erfolgte wie nachstehend beschrieben.

Es wurden jeweils die Sonnenseite und die Schattenseite der Platte separat gewaschen, da sich der Aufwuchs auf Grund der Lichtverhältnisse im Gewässer unterscheidet. Für jede Plattenseite wurde ein Abwaschwasservolumen von 10 Liter verwendet. Mittels Bürste und Gummilippe konnte der Aufwuchs entfernt werden. Das Waschwasser wurde anschließend in einen Rührbehälter überführt, der die gesamte Probe durchmischte. Von der gesamten Probemenge von je 10 Liter wurde je ein Liter für die Untersuchungen hinsichtlich der absetzbaren Stoffe nach DIN 38409-H9 bestehend aus vier Teilproben à 250 ml entnommen. Die Probe wurde dafür in einen Imhoff-Trichter überführt und dort für zwei Stunden belassen. Während dieser Zeit wurde das Absetzgefäß nach 50 und nach 110 min ruckartig um die Längsachse gedreht, so dass auch die sich an der Glaswand befindenden Teile erfasst werden konnten. Die Menge der absetzbaren Stoffe konnte nach einer Standzeit von 2 Stunden abgelesen werden. Des Weiteren wurden je zwei Liter Probe bestehend aus 8 Teilproben à 250 ml als Rückstellprobe entnommen und anschließend bis zur Weiterverwendung im Kühlschrank gelagert.

Zur Ermittlung der Aufwuchsmenge wurden die 2L-Proben nochmals durchmischt und anschließend vier mal 250 ml abgenommen und in Zentrifugenflaschen gefüllt. Das Zentrifugieren erfolgte bei 4000 U/min, das entspricht 3345xg, 30 min lang. Anschließend wurde der Überstand, der als Rückstellprobe für die Analytik aufbewahrt wurde, abgegossen. Vom abgesetzten Teil der Probe wurde eine Trockensubstanzbestimmung nach DIN 38409-H1 durchgeführt.

Im Anschluss daran erfolgte die Bestimmung des organischen Anteils der Probe in Form von Glühverlustbestimmung DIN 38409-H1. Dabei wurde der getrocknete Feststoff aus den Zentrifugenflaschen in die Glühtiegel überführt und 2h bei 550°C geblüht.

Um einen Vergleich zu erhalten, was das für die vorgesehene Filteranlage verwendete Vlies (Eurofelt EF 100 K1, siehe auch Kap. 3.2 und Anhang A8) von IPT bei der Filtration zurückhält, wurde der zweite Liter der Probe über das Vlies gegeben. Hierbei erfolgte ebenfalls eine Bestimmung der Trockensubstanz des Vlieses mit Feststoff nach DIN. Voruntersuchungen zum Verhalten des Vlieses ergaben keine Veränderungen bezüglich des Gewichtes bei 105°C.

Nach der Bestimmung von Trockensubstanz und Glühverlust erfolgte die Vorbereitung der Rückstellproben zur Analytik. Vom Zentrat der einzelnen Proben wurden jeweils 50 ml membranfiltriert (0,45µm).

Im Anschluss daran wurde der Parameter Gesamtposphor anhand des Kuvettentests LCK 348 der Firma Hach Lange bestimmt. Der Kohlenstoffgehalt wurde in Form von NPOC (Non-Purgable Organic Carbon, nicht ausstripbarer organischer Kohlenstoff) an den membranfiltrierten Proben der blauen Platten gemessen.

3.1.2 Strömungsmessungen und Filtervolumenstrom

Um den Wasseraustausch zwischen Bootswaschanlage und dem umgebenden Gewässer beurteilen zu können, wurden Strömungsmessungen durchgeführt. Diese dienten als Grundlage für die Probenahmestellen beim Waschvorgang. Die Messung der Wassergeschwindigkeiten erfolgte mit dem Strömungsmesser CP-2 der Firma WTW mit einem Messbereich von 0,1 bis 6,1 m/s.

Es wurde an unterschiedlichen Stellen in und um der Anlage die Wassergeschwindigkeiten gemessen. Außerdem wurden unterschiedliche Tiefen bemessen. Des Weiteren wurden verschiedene Betriebszustände untersucht.

Zum Ersten erfolgten Messungen um die Anlage ohne Durchfahrt eines Bootes und ohne Rotation der Bürsten. Hierdurch konnte die Ausgangslage bestimmt werden. Ein weiterer Durchlauf erfolgte wiederum ohne Boot jedoch mit Betrieb der Bürsten. Dabei wurden außerdem die Bedingungen in der Anlage aufgenommen. Dieser Messdurchlauf sollte Aussagen zur „Dichtheit“ der Anlage machen bzw. die Frage beantworten, ob die Anlage weitestgehend geschlossen ist. Beide Zustände wurden an einem zweiten Tag wiederholt, um Änderungen der Wetterbedingungen mit einfließen zu lassen. Weiterhin erfolgten Messungen während eines simulierten Waschganges mit Boot in und um der Anlage.

Neben den Strömungsmessungen wurde der Volumenstrom der einzelnen Absaugpumpen durch Auslitern ermittelt.

3.1.3 Bootswäschen

Abb. 3.1.3-1 zeigt die Bootswaschanlage in der Serviceposition von der Ausfahrtseite aus aufgenommen.



Abb. 3.1.3-1: Waschanlage in Serviceposition

In Abb. 3.1.3-2 ist die Waschanlage in Betriebsposition dargestellt, hier von der Einfahrtseite her aufgenommen. Die Folienabschottung an der Einfahrtseite wurde inzwischen durch eine feste Ausführung ersetzt, wie sie auch in Abb. 3.1.3-1 an der Einfahrtseite zu sehen ist.

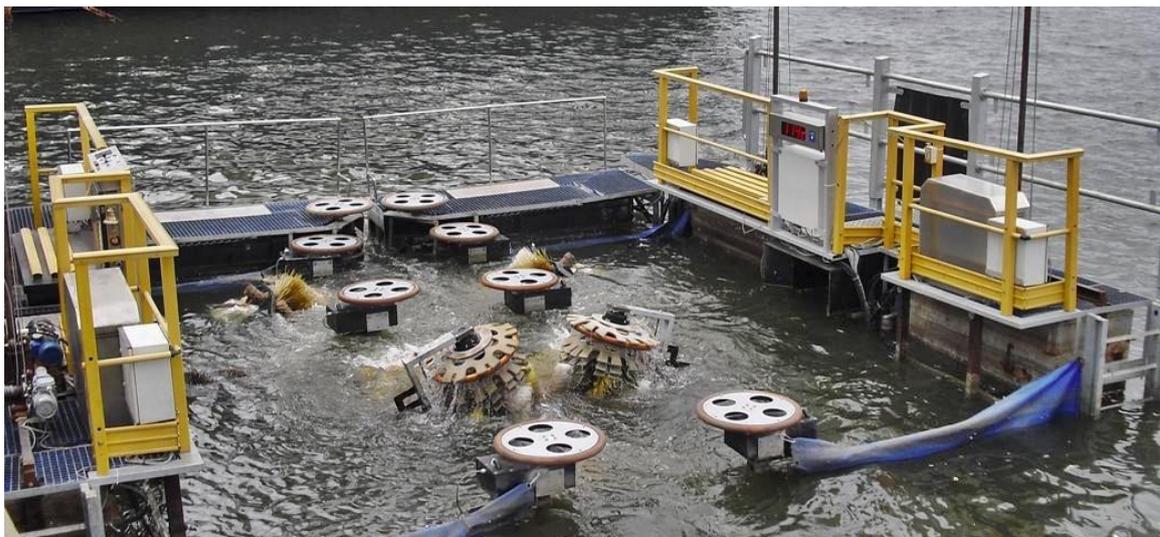


Abb. 3.1.3-2: Waschanlage in Betriebsposition

Rumpfbürsten in Betrieb sind in Abb. 3.1.3-3 rechts, ein Führungsrad ist links zu erkennen.



Abb. 3.1.3-3: Waschbürsten in Betrieb

Während der Wäschen wurden Wasserproben zu beiden Seiten des Bootes im Inneren der Anlage entnommen, sowie vor und nach der Wäsche aus dem Umgebungswasser. Die Abbildung 3.1.3-4 verdeutlicht die Probenahmestellen in einer schematischen Draufsicht.

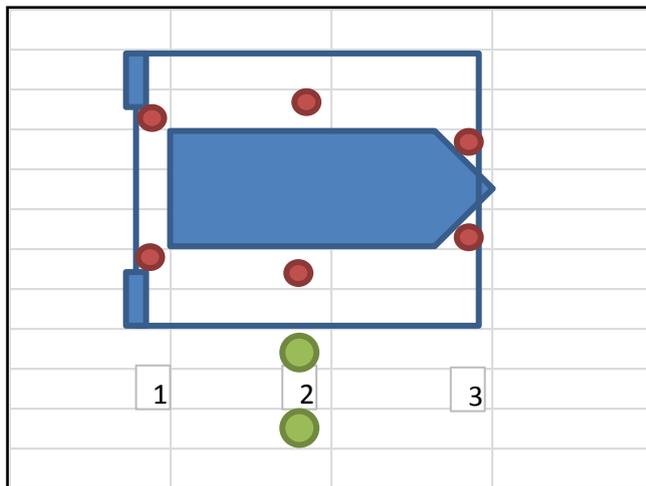


Abb. 3.1.3-4: Probenahmestellen während der Bootswäschen

Die roten Punkte in der Abbildung verdeutlichen die Probenahmestellen innerhalb der Anlage, die grünen außerhalb.

Die Proben wurden steuerbord und backbord gleichzeitig mit einer 2. Person nacheinander gezogen. An Punkt 1 wurde erneut begonnen, wenn das Boot in der Anlage einen bestimmten Punkt erreicht hatte. Die Startpunkte für diese rotierenden Entnahmen zeigt Abbildung 3.1.3-5.

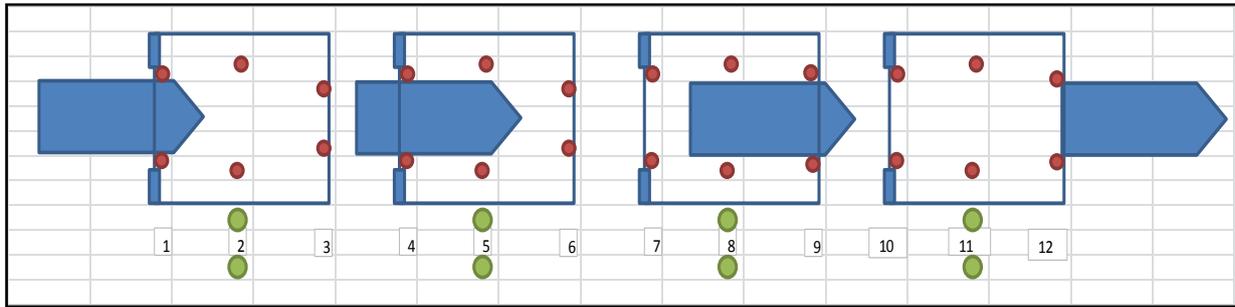


Abb.3.1.3-5: Probenahmestellen während des Waschbetriebes

Insgesamt wurden so 12 Proben von je 1 Liter jeweils Steuerbord und Backbord entnommen, sowie 2 Proben vor der Wäsche und 2 Proben nach der Wäsche außerhalb der Anlage.

Anhand der genommenen Proben wurden die durch Vlies abfiltrierbaren Stoffe bestimmt. Dazu wurden 2 mal 500 ml Probe über je ein vorbereitetes Vlies gegeben und mittels Wasserstrahlpumpe filtriert. Anschließend erfolgte die Trockensubstanzbestimmung nach DIN 38409-H1.

An der vliesfiltrierten Probe wurden die Parameter TOC Gesamtphosphor und Gesamtstickstoff bestimmt. Die Analyse von Gesamtphosphor und Gesamtstickstoff erfolgte durch Küvetten-Tests der Firma Hach Lange.

Ein Teil der vliesfiltrierten Probe wurde mittels Druckfiltration membranfiltriert (Porenweite 0,45 µm). Anhand dieser Proben wurde der DOC bestimmt.

Neben den entnommenen Wasserproben wurden die abfiltrierten Stoffe am Außenfilter der Waschanlage bestimmt. Dazu wurden die Filtervliesmatten bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz vorkonditioniert und am Washtag vor Beginn der Wäsche in den Filterbecken ausgelegt. Nach Beendigung des Waschens erfolgte die Trockensubstanz-Bestimmung der kompletten Filtervliesmatten nach DIN 38409-H1, um die Menge des Aufwuchses, der während der Wäsche durch die Absaugung über die Filterbecken abgetrennt wird, zu ermitteln.

3.2 IPT und Wohler Lackfabrik

Es wurden von Fa. Wohler drei unterschiedliche 2K-Epoxi-ULTRA-High Solid Produkte (VOC<80 g/l; Festkörper > 85% und Kontaktwinkel um 100) mit unterschiedlicher Elastizität entwickelt, in Vorversuchen hinsichtlich der Anwendbarkeit durch Rollen oder Streichen getestet und für Testplatten und Testboote zur Verfügung gestellt.

Eine Gefährdungsbeurteilung hinsichtlich der Inhaltsstoffe ist im Anhang A5 enthalten.

Aus ersten Ergebnissen im Jahr 2012 überarbeitete die Fa. Wohler bis zum Frühjahr 2013 den Biozid-freien und bürstentauglichen Decklack auf einen Randwinkel über 100° und einer verbesserten Hydrophobie.

Bei der Entwicklung wurde besonders Wert auf die Gegebenheiten der Applikation durch den Do-it-yourself-User gelegt, einfache Verarbeitung, einfache Ausbesserungsmöglichkeit und leichte Überarbeitbarkeit sowie hohe mechanische Widerstandsfähigkeit.

Dieser Lackaufbau ist geeignet für alle gängigen Grundmaterialien wie Stahl, Aluminium, GFK und Sperrholz. Bei GFK-Booten dient der 2K-Hybrid als zusätzlicher Osmoseschutz, bei Stahlbooten als hervorragender Korrosionsschutz.

Für jeden Auslagerungsort (16 Orte) wurden jeweils vier Platten (ca. 0,5*0,7m, Gesamtfläche je Plattenseite ca. 0,35 m²) mit Grundlack und Decklack beschichtet. Jede einzeln aufgetragene Schicht wurde manuell glatt geschliffen. Die Applikationen erfolgten durch Rollen und/ oder Pinseln. Die Testplatten mit Epoxid-Beschichtung ohne Decklack (graue Platte), bzw. mit drei unterschiedlichen Decklacken (farbige Platten) wurden an einem Geräteträger an den genannten Standorten schwimmend im Wasser am Steg oder an der Pier angebracht (siehe Abb. 3.2-1). Die Ausrichtung erfolgte jeweils nach Süden.

Zusätzlich wurde zum Vergleich mit auf dem Markt erhältlichen Lacken je eine Testplatte mit Haifischhaut der Fa. Voss Chemie und eine Testplatte mit 2K-Epoxi von der Fa. Ceram-Kote beschichtet .



Abb. 3.2-1: Geräteträger mit Testplatten

Eine mobile „im-Wasser“-Versuchs-Plattenwaschanlage mit Bürsten (siehe Abb. 3.2-2 und 3.2-3, in Anlehnung an die stationäre Bootswaschanlage) konnte eingesetzt werden, in der die beschriebenen Decklacke auf mechanische Widerstandsfähigkeit und Reinigungsqualität anhand von Testplatten untersucht wurden.



Abb. 3.2-2: Mobile Plattenwaschanlage



Abb. 3.2-3: Plattenwaschanlage in Betrieb

Die mobile Versuchsbürste wurde so hergestellt, dass diese im Wasser schwimmt, und die gesamte Bürstenwalze sich unter der Wasserlinie befindet. Die Größe der Vorrichtung wurde so gewählt, dass diese auf einem PKW-Anhänger transportiert werden kann. Die Bürstenwalze besitzt ein Becken, in welchem sich der Absauganschluss für die abgereinigten Partikel befindet. Ein durch Zahnriemen angetriebener Führungstisch bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit über die Bürstenwalze. Der gesamte Antrieb erfolgt hydraulisch.

Die bewachsenen Platten wurden in einen Führungstisch gespannt. Dieser enthält eine abnehmbare Abdeckblende, um jeweils 1/3 der Platte zu reinigen. Dadurch konnten drei zeitunabhängige Reinigungen pro Plattenseite durchgeführt werden.

Durch die Erkenntnisse der Reinigungen von verschiedenen Aufwuchsarten konnte die Bürstenwalze, Drehzahl und Vorschubgeschwindigkeit dementsprechend verbessert werden. Auslagerungen erfolgten an folgenden Standorten:

Salzwasser – Ostsee: Kiel, Neustadt i.H., Lübeck, Rostock

Salzwasser – Nordsee: Norddeich

Salzwasser: Bruinisse-NL, Mallorca-SP

Brackwasser: Cuxhaven, Bremerhaven

Süßwasser: Rünthe, Almere – NL, Bernried, Berlin, Kressbronn, Romanshorn-CH, Bregenz-A.

Bewachsene Testplatten aus Bremerhaven, Norddeich, Neustadt i.H. und Lübeck wurden zusätzlich durch die Hochschule Bremerhaven im Labor untersucht.

Bei den Standorten wurden gezielt Marinas ausgewählt, in denen der Wasser-Tourismus sehr ausgeprägt ist.

Des Weiteren erfolgte die Beschichtung von 4 Testbooten mit 2 K-Epoxyd als Stammlack und 2 K-Epoxyd als Decklack. Nach jeweils vollständigem Entfernen der vorhandenen Antifouling und Ausbessern der Stammlacke wurden an den Unterwasserschiffen im do it your self – Verfahren durch Rollen und Pinseln die Lacke aufgetragen. Nach dem Aushärten (ca. 7 Tage) wurden die Boote eingekrant und an Liegeplätzen in der Marina Nordsee-Yachting – Bremerhaven befestigt, welche uneingeschränkten Zugang zur Sonneneinstrahlung haben. Am Stahlboot wurden zusätzlich die Bordwände und der Deckaufbau mit modifizierten 2K-Epoxyd Farben beschichtet.

Zu folgenden Zeiten wurden die beschichteten Testboote ins Wasser verholt:

Boot 1: Info-Boot – Stahl: Einkranung 21. Sept. 2012. – seit 15.Mai 2013 nicht mehr gewaschen (diente zur Untersuchung hinsichtlich der Strömungsgeschwindigkeiten bis 15.05.),

Boot 2: Motorboot – GFK: Einkranung 10. Aug. 2012 und 17.Juni 2013

Boot 3: Segelboot – Holz: Einkranung 6. Aug. 2012 und 21.Juni 2013

Alle Boote wurden nicht bewegt.

Es wurde darauf Wert gelegt, verschiedene Boote in Form und Material zu beschichten. Das Antifouling wurde durch Abschleifen entfernt und die 2K-Epoxyd-Grundierung bei Notwendigkeit erneuert. Die letzte 2K-Epoxyd-Grundierungsschicht wurde in unterschiedlichen Farben aufgebracht und anschließend mit dem farblosen Decklack überzogen.

Am 1. November 2012 erfolgte die Einkranung der überarbeiteten stationären Bootswaschanlage, um die Schwimmfähigkeit zu belegen, damit die notwendige Versicherung und die behördliche Freigabe für die anstehenden Tests erfolgen kann.

Die vorhandene Bootswaschanlage musste vollständig entkernt werden, da die zusätzliche Masse der Wanne die Maschine in Service-Position nicht mehr begehbar gemacht hätte.

Um annähernd den gleichen Schwerpunkt zu erhalten, wurden Stahlträger entfernt und die Wanne als Teil der tragenden Konstruktion integriert. Größere, leichtere und geschäumte Stabilisierungstanks erhöhen die Schwimmfähigkeit um weitere 25%. Hydraulikantriebe anstatt Elektroantriebe erhöhen die Betriebssicherheit an den Vorschubrädern. Alle Absaugpumpen wurden zentral an der Bedienerseite integriert. Das Ende der Druckleitungen ist jeweils mit einer Kupplung versehen, so dass Schläuche zum Filter einfach angeschlossen werden können. Die Saugleitungen werden an die Bürstenbecken angebracht. Voruntersuchungen wurden an der mobilen Bürste vorgenommen. Die Bürstenanordnung wurde verbessert. Abb. 3.2-4 zeigt ein Filterbecken nach einem Testlauf mit zwei Zulaufleitungen. Ein Datenblatt zum verwendeten Filtervlies ist im Anhang A8 enthalten.



Abb. 3.2-4: Filterbecken mit Zulaufleitungen nach Testlauf

Das Volumen des in der Waschanlage vorhandenen Wassers beträgt etwa 75 m³.

4 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

4.1 Mechanische Eignung und Handhabung der Beschichtungen

Die neu entwickelten Anstrichsysteme von Fa. Wohlerl lassen sich mit Standardmethoden (Rollen, Streichen) durch Laien aufbringen.

Die mit Haifischhaut der Fa. Voss Chemie beschichtete Testplatte wurde innerhalb von zwei simulierten Reinigungszyklen „aufgerissen“. Somit ist diese Beschichtung für eine mechanische Bürstenreinigung nicht geeignet. Die Testplatte beschichtet mit 2K-Epoxi von der Fa. Ceram Kote hielt bedenkenlos 40 Reinigungszyklen aus und wäre dadurch für eine mechanische Bürstenreinigung geeignet. Die Testplatten beschichtet mit Standard 2K-Epoxi und 3 unterschiedlichen „2K-Epoxi easy to clean“ Produkten der Fa. Wohlerl. hielten ebenso bedenkenlos 40 Reinigungszyklen aus und sind dadurch ebenfalls für eine mechanische Bürstenreinigung geeignet.

40 Reinigungen entsprechen etwa einer mechanischen Beanspruchung durch die Bürstenmaschine in 5 Jahren, wenn man von einer ca. 8-monatige Wasserliegezeit im Jahr und einem Reinigungsintervall von vier Wochen ausgeht. Für die untersuchten Beschichtungen der Fa. Wohlerl wird daher hier eine Nutzungszeit von mindestens 5 Jahren angenommen.

4.2 Reinigung der Testplatten vor Ort

Die ausgelagerten Platten im Süßwasser waren problemlos zu reinigen. Ein bis zwei Reinigungen in Süßwasser, zwei bis drei Reinigungen in Brackwasser und mehr als drei Reinigungen in Salzwasser pro Saison sind voraussichtlich notwendig, um kein dauerhaftes Anhaften des Aufwuchses zu ermöglichen. Die Reinigungsintervalle sind zusätzlich noch vom Wetter und individuellen Bedingungen am Liegeplatz abhängig. Die Reinigung durch die konventionelle Art mit Wasserhochdruck und Bürste ergab folgende Ergebnisse:

- Die Reinigung im Süßwasser erfolgte problemlos, solange die Liegezeit 4 Monate nicht überschreitet,
- Die Reinigung im Brackwasser erfolgte problemlos, solange die Liegezeit 2 Monate nicht überschreitet,
- Die Reinigung im Salzwasser erfolgte problemlos, solange die Liegezeit 1 Monat nicht überschreitet.
- Regelmäßiges Bewegen des Fahrzeugs im Wasser verlängert den Reinigungszyklus. Hierbei würde ein Aufwuchsmonitoring Hilfestellung bieten.
- Bei zu langem Aufwuchs bis zur Reinigung kommt es insbesondere im Salzwasser zum Aufwuchs von Muscheln und Pocken, die sich dann nicht mehr allein durch Bürsten entfernen lassen.

Abb. 4.2-1 zeigt eine Platte mit Bewuchs (Bremerhaven, Sonnenseite, 7 Wochen bewachsen), die zu einem Drittel mit der mobilen Plattenwaschanlage gereinigt wurde.



Abb. 4.2-1: Ergebnisse eines Plattenwaschversuches

Weitere detaillierte Ergebnisse der Testplatten-Waschungen mit der mobilen Plattenwaschanlage befinden sich im Anhang A6.

4.3 Bewuchsart und Reinigen der Testplatten unter Laborbedingungen

4.3.1 Bewuchsarten und Abwaschbarkeit

In den Abbildungen Abb. 1 bis 16 im Anhang A7 sind die Testplatten, jeweils Sonnenseite und Schattenseite bewachsen und gereinigt der untersuchten Standorte bildlich dargestellt.

Generell weisen Sonnen- und Schattenseite deutlich unterschiedliche Stärke und z.T. Art von Bewuchs auf.

Während im Süßwasser überwiegend weiche Beläge entstanden – teilweise auch mit Ausbildung etwas härterer Krusten-, sind im Salzwasser auch Muscheln und andere hartschalige Organismen auf den Platten zu finden.

Im Einzelnen konnte festgehalten werden:

Sonnen- und Schattenseiten der Platten vom Standort Norddeich wiesen vereinzelt feste Pocken auf, die gut und fast vollständig entfernt werden konnten. Der braune „Aufwuchs“ war schlammartig und lies sich sehr leicht abwischen. Das Reinigungsergebnis der weißen Platte war nicht zufriedenstellend. Auf Grund des dort fehlenden Decklackes saß der Schmutz an einigen Stellen sehr tief und fest und war per Hand nur sehr schwierig zu entfernen.

Abb. 4.3.1.1 zeigt die Reinigung einer Testplatte unter Laborbedingungen nach mehrwöchigem Bewuchs in Norddeich (Sonnenseite).

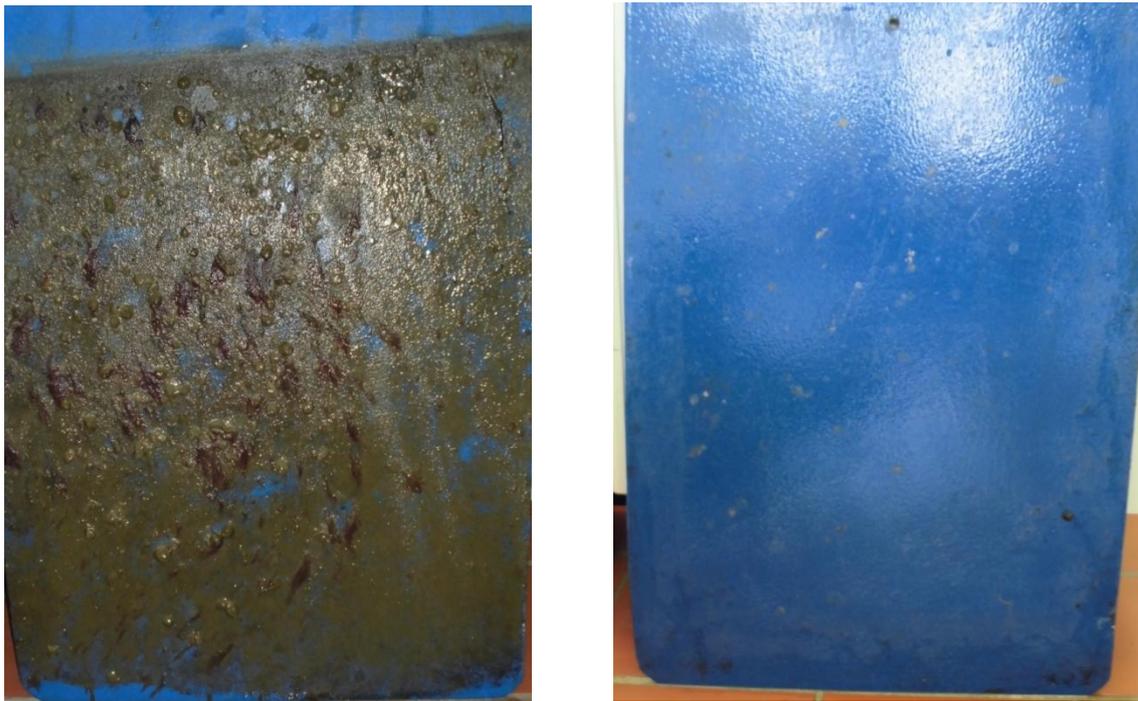


Abb. 4.3.1.1: Reinigung einer Platte aus Norddeich (Sonnenseite) im Labor durch Abbürsten.

Die Platten aus Bremerhaven hatten vereinzelt feste Pocken, die sich allerdings überall gut entfernen ließen. Die weiße Platte zeigte einen stärkeren Algenbewuchs auf der Sonnenseite als die blaue Platte. Auf der Schattenseite im unteren Drittel der weißen Platte hafteten vereinzelte gummiartige Eier (ca. 1cm) mit Larven, die sich jedoch ohne Probleme entfernen ließen. Auf der blauen Platte waren diese Eier sonnenseitig nur mäßig angelagert, auf der Schattenseite mit wesentlich höheren Aufkommen und größer. Der schlammartige „Bewuchs“

ließ sich auch hier sehr leicht abwaschen. Die Reinigung der blauen Plattenseiten gestaltete sich wiederum einfacher bzw. leichter als bei den weißen Plattenseiten.

Am Standort Lübeck befanden sich auf der Sonnenseite der weißen Platte fest sitzende grüne dünne Algen unter dem schlammartigen Aufwuchs, die auf der noch nicht geputzten Fläche sehr schwer abzureinigen waren. Die Schattenseite wies große Pocken auf, die gut entfernbar waren, jedoch die Außenränder bzw. Haftflächen der Pocken konnten per Hand nicht entfernt werden. Der Bewuchs der blauen Platte ähnelte optisch dem der weißen Platte. Die blauen Plattenseiten waren wesentlich leichter zu reinigen aufgrund der glatteren Oberfläche.

Am Standort Neustadt waren kaum Pocken auf der Sonnenseite der weißen Platte zu finden, dafür viele Muscheln im Bereich des unteren Drittels der Platte. Die Schattenseite zeigte vereinzelte große Pocken und ebenfalls Muscheln im unteren Drittel nur wesentlich weniger und nicht so flächendeckend wie auf der Sonnenseite. Die blaue Platte zeigte einen ähnlich strukturierten Bewuchs. Auf der Schattenseite befanden sich weniger Muscheln als auf der Schattenseite der weißen Platte. Die Plattenseiten ließen sich wiederum leichter und gründlicher reinigen als die weißen Plattenseiten. Zu erwähnen ist noch, dass oberhalb der Platten grüne Algen aufgewachsen waren und unterhalb rötlich braune.

Insgesamt lässt sich die Abwaschbarkeit der untersuchten blauen Testplatten als gut bis sehr gut zu beurteilen. Es gibt deutliche Unterschiede hinsichtlich der Abwaschbarkeit zwischen den weißen Platten (2 K-Epoxyd Standard, Referenzplatten) und den blauen Testplatten (2 K-Epoxyd easy clean 64007). Die blauen Platten ließen sich aufgrund der glatteren Oberfläche wesentlich leichter reinigen, was auf den fehlenden Decklack der weißen Platten zurückzuführen ist. Ebenso gab es deutliche Unterschiede zwischen Sonnenseite und Schattenseite der Platten. Durch fehlenden bzw. geringeren Lichteinfluss ist der Bewuchs auf der Schattenseite geringer und weniger mit Algen behaftet. Sonnenseite und Schattenseite vom gleichen Standort zeigten unabhängig vom verwendeten Lack einen ähnlichen Aufwuchs. Jedoch treten Unterschiede in Art und Menge des Aufwuchses in Bezug auf den Standorte auf. In Norddeich, Salzwasser-Nordsee, ist der Bewuchs eher schlammartig fein mit vereinzelten Pocken und wenigen Algen. Im Brackwasser, Bremerhaven, waren die Testplatten ähnlich bewachsen. Dazu kamen noch die Larveneier siehe zum Beispiel Anhang-Abb.4.8, die sonst auf keiner der Platten vorzufinden waren. Im Salzwasser-der Ostsee wiesen die Platten auf den Schattenseiten feststehende große Pocken auf, deren Haftflächen per Hand nicht entfernt werden konnten. Am Standort Neustadt kamen im unteren Drittel der Platten auf den Sonnseiten vermehrt Muscheln hinzu, siehe Anhang A7,-Abb.13.

Demnach besteht ein Einfluss auf Art und Menge des Bewuchses hinsichtlich des verwendeten Lackes, des Standortes, sowie der Sonneneinstrahlung.

4.3.2 Menge und Art des abgewaschenen Materials

Nach der Reinigung der Testplatten im Labor erfolgte die Untersuchung bezüglich der absetzbaren Stoffe. Die nachfolgende Abbildung 4.3.2-1 zeigt beispielhaft für den Standort Norddeich die Ergebnisse anhand eines Fotos des Versuchsstandes.

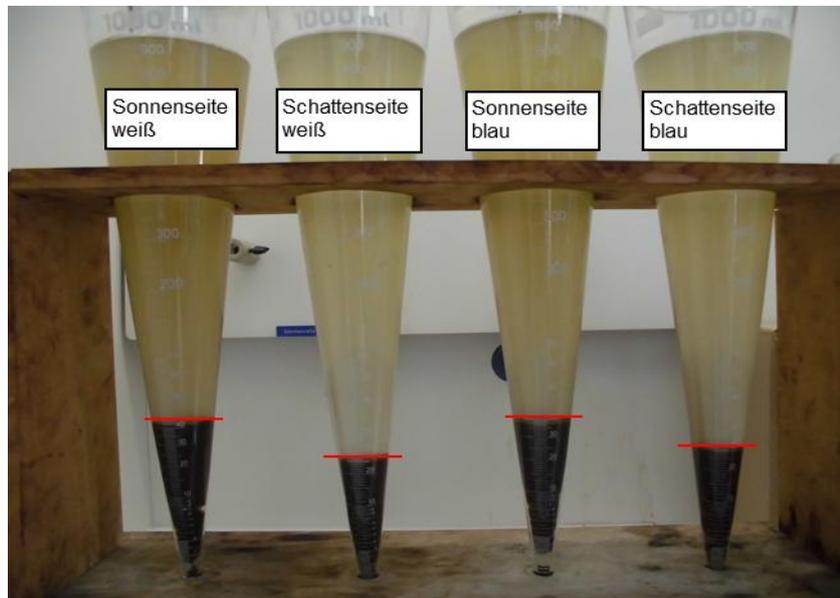


Abb.4.3.2-1 Messeinrichtung für absetzbare Stoffe, Platte aus Norddeich

Zu erkennen sind jeweils vier Imhoff-Trichter eines Standortes, wobei die ersten beiden Trichter die Ergebnisse der „weißen“ Platten zeigen und die letzten beiden die Ergebnisse der „blauen“ Platten.

Alle Versuche zeigten ein ähnliches Ergebnis. So ist die Menge an absetzbaren Stoffen auf den Sonnenseiten immer höher als auf den Schattenseiten.

Genauere Angaben über die Mengen der einzelnen Standorte und Plattenseiten sind in der nachfolgenden Tabelle 4.3.2-1 dargestellt.

Abbildung 4.3.2-2 zeigt die Mengen der absetzbaren Stoffe V_{AS} der jeweiligen Standorte und Plattenseiten. Es ist deutlich zu erkennen, dass im Waschwasser der Sonnenseiten der Anteil an absetzbaren Stoffen über dem der Schattenseiten liegt. Deutliche Differenzen sind zwischen Sonnen- und Schattenseite der Standorte Lübeck und Neustadt zu verzeichnen.

Tabelle 4.3.2-1 Absetzbare Stoffe abgewaschen von Testplatten in 10 L Waschwasser

Standort	Plattenseite	Absetzb. Stoffe V_{AS} [ml/l]
Norddeich	Sonnenseite-weiß	42
	Schattenseite-weiß	25
	Sonnenseite-blau	36
	Schattenseite-blau	28
Bremerhaven	Sonnenseite-weiß	38
	Schattenseite-weiß	30
	Sonnenseite-blau	40
	Schattenseite-blau	16
Lübeck	Sonnenseite-weiß	37
	Schattenseite-weiß	12
	Sonnenseite-blau	31
	Schattenseite-blau	7
Neustadt	Sonnenseite-weiß	50
	Schattenseite-weiß	10
	Sonnenseite-blau	52
	Schattenseite-blau	7,5

Die folgende Abbildung 4.3.2-2 zeigt die ermittelten Werte bezogen auf eine Fläche von 1 m².

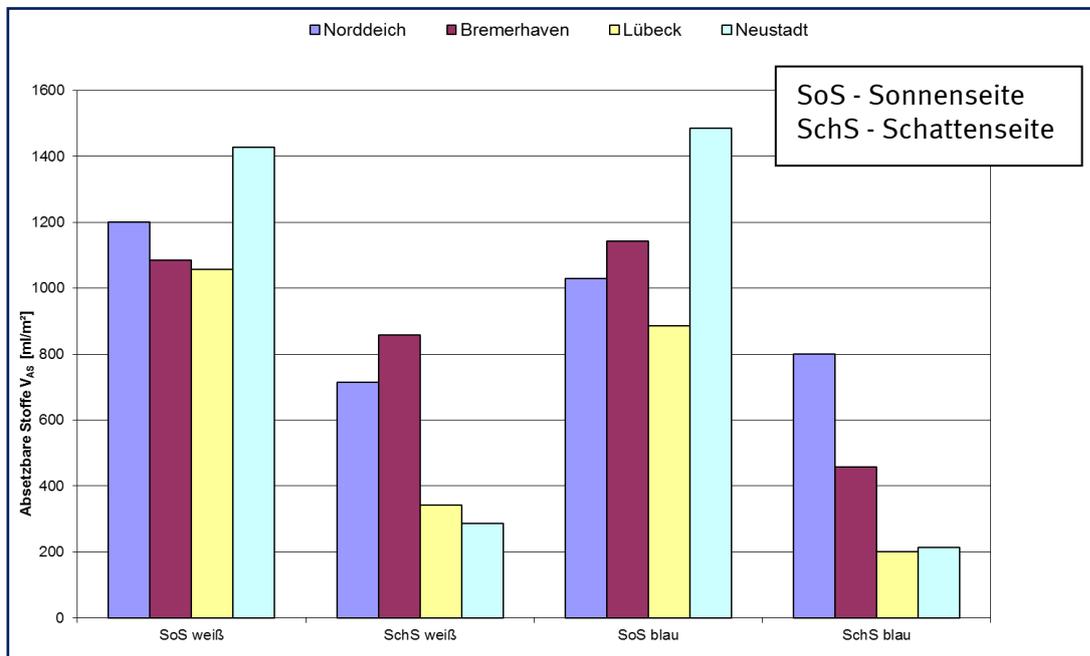


Abb.4.3.2-2 Absetzbare Stoffe V_{AS} , je m² Plattenfläche an verschiedenen Standorten

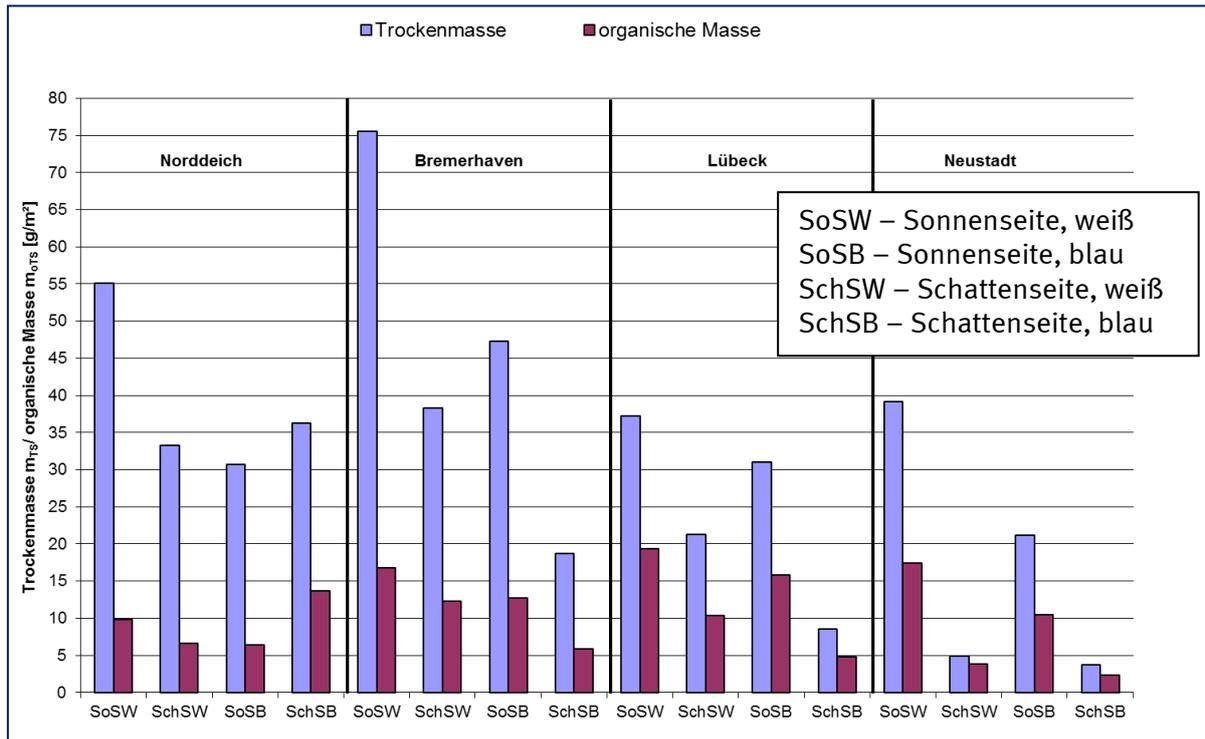


Abb.4.3.2-3: Spezifische Trockenmasse m_{TS} und organische Masse m_{OTs} je m^2

Hier handelt es sich jeweils um Salzwasser, Ostsee. Den größten Anteil an absetzbaren Stoffen weisen die ausgelagerten Platten in Neustadt auf. Auf diesen befand sich im unteren Teil der Platte ein ausgeprägter Muschelbewuchs (siehe Anhang A7,-Abb.13, 14)

Abbildung 4.3.2-3 zeigt die nach Zentrifugieren und Trocknung ermittelten Werte für die Trockenmasse m_{TS} sowie die daraus bestimmte organische Masse m_{OTs} der suspendierten Feststoffe im Waschwasser, jeweils bezogen auf einen m^2 Plattenfläche.

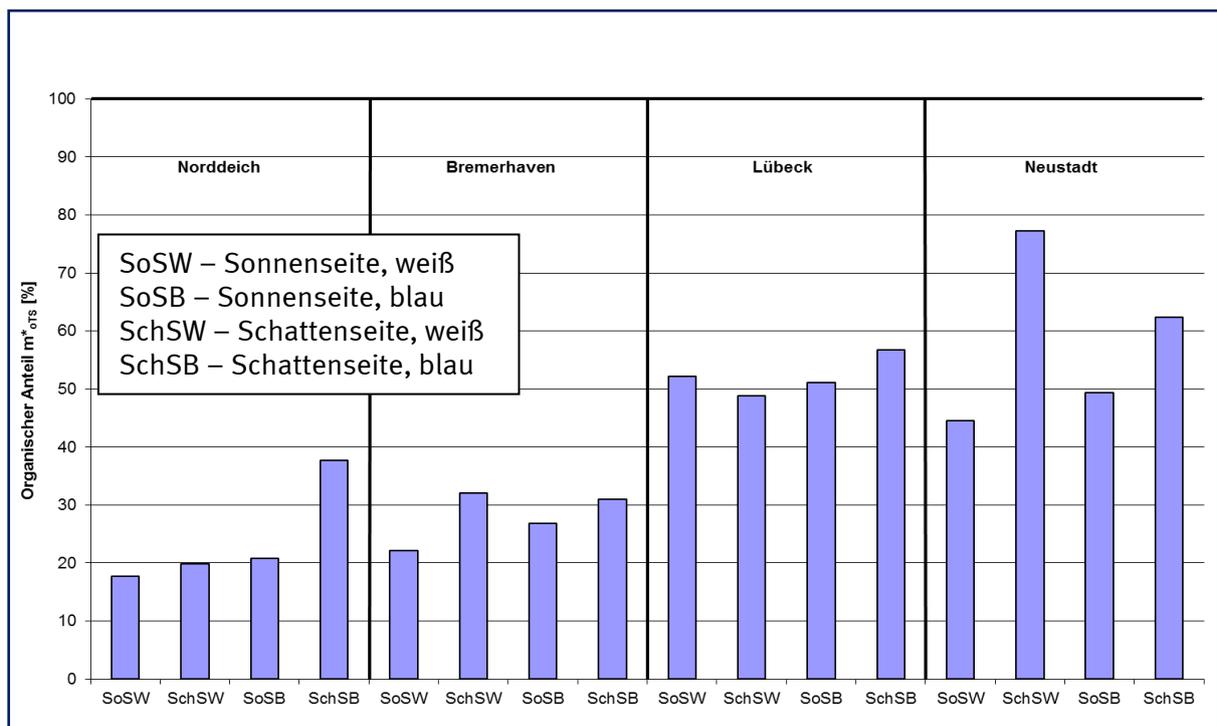


Abb.4.3.2-4 Organischer Anteil m_{OTs}^* der Trockenmasse

In Abbildung 4.3.2-3 ist erkennbar, dass jeweils die Sonnenseiten der Platten einen höheren Feststoffbewuchs aufweisen, was mit den Ergebnissen aus den Versuchen hinsichtlich Absetzbarer Stoffe übereinkommt. Der organische Anteil ist bei den Proben der Standorte Norddeich und Bremerhaven im Vergleich zur Trockenmasse deutlich geringer, als bei den Proben der Standorte Lübeck und Neustadt. Diese Platten wiesen im Vergleich zu Norddeich und Bremerhaven einen wesentlich stärkeren Bewuchs mit Algen auf.

Die Abbildung 4.3.2-4 zeigt zur besseren Verdeutlichung den organischen Anteil m_{OTS}^* der Trockenmasse in %. Es ist erkennbar, dass die im Salzwasser-der Ostsee ausgelagerten Platten einen deutlich höheren Anteil an Organik aufweisen, als die in Brackwasser und Salzwasser-Nordsee ausgelagerten Platten.

Um den abfiltrierbaren Anteil der Gesamttrockenmasse durch das verwendete Vlies zu verdeutlichen, zeigt Abbildung 4.3.2-5 diese auf einen m^2 Plattenfläche bezogenen Werte.

In dieser Abbildung sind die Gesamttrockenmasse m_{TS} und die durch das Vlies zurückgehaltene Trockenmasse $m_{TS,V}$ aufgetragen. Erkennbar ist, dass durch das Vlies bei den Proben Bremerhaven, Lübeck und Neustadt fast der gesamte Feststoffanteil durch das Vlies zurückgehalten werden kann.

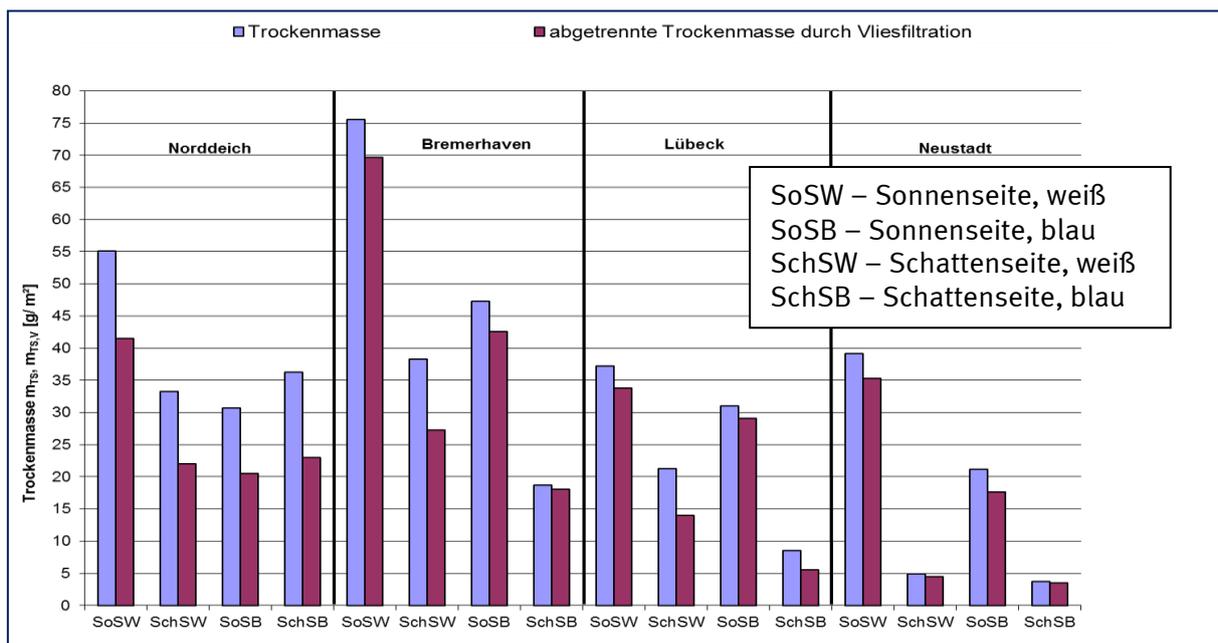


Abb.4.3.2-5 Spezifische Gesamttrockenmasse m_{TS} und durch das Vlies zurückgehaltene Trockenmasse $m_{TS,V}$ jeweils je m^2 Plattenfläche.

Im Falle der Platten aus Norddeich beläuft sich das Rückhaltevermögen auf ca. zwei Drittel. Dies wird auf die Art des Aufwuchses zurückgeführt. Die Platten zeigten eine schlammartige Schicht. Dieser Schmutz war abgereinigt sehr fein, so dass das verwendete Vlies mit einer diesen durchlässt.

Das Rückhaltevermögen der Vliesfiltration R_V lässt sich nach Gl. (1) aus den in Abb. 4.3.2-5 dargestellten spezifischen Massen ermitteln und ist in Abb. 4.2.3-6 dargestellt.

$$R_V = m_{TS,V} / m_{TS} \quad (1)$$

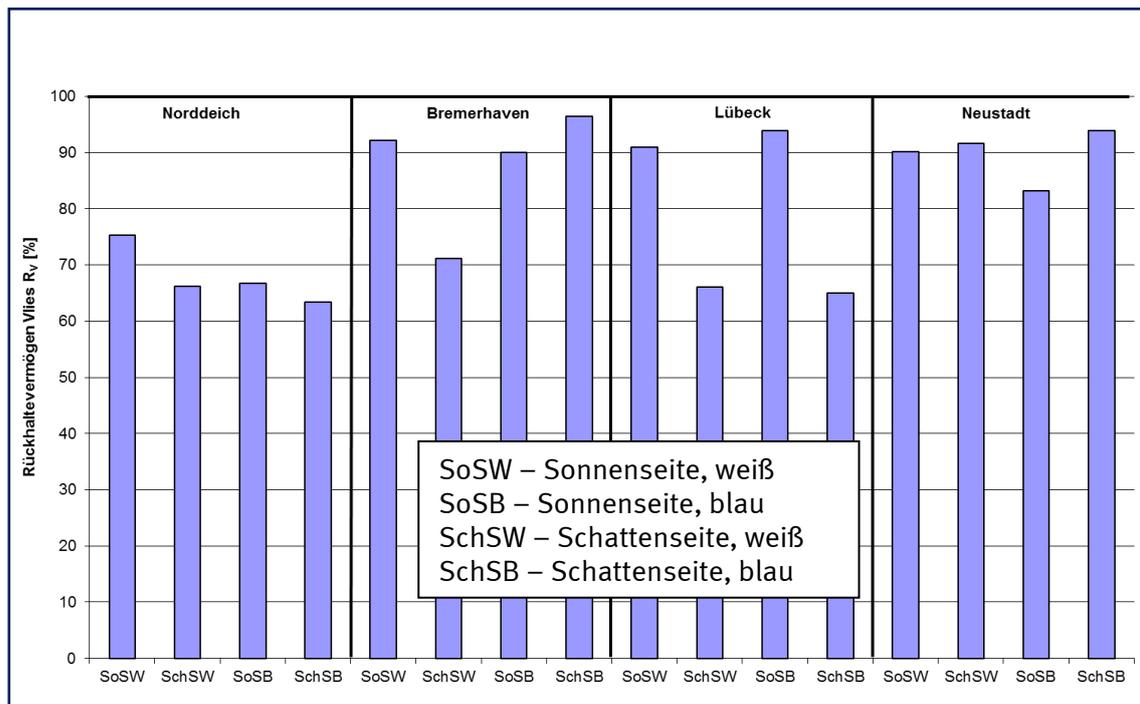


Abb.4.2.3-6 Rückhaltevermögen R_v des Filtervlieses

Das verwendete Vlies hält bei allen bisher untersuchten Standorten mind. 60% des Feststoffes zurück. Bei der Hälfte der Proben sogar mehr als 90%.

Zur Beurteilung des Phosphoreintrages zeigt Abb. 4.2.3-7 die spezifische Phosphormasse je m^2 m_p der membranfiltrierten und vliesfiltrierten Proben. Es sind deutliche Unterschiede der Größenordnungen zu erkennen.

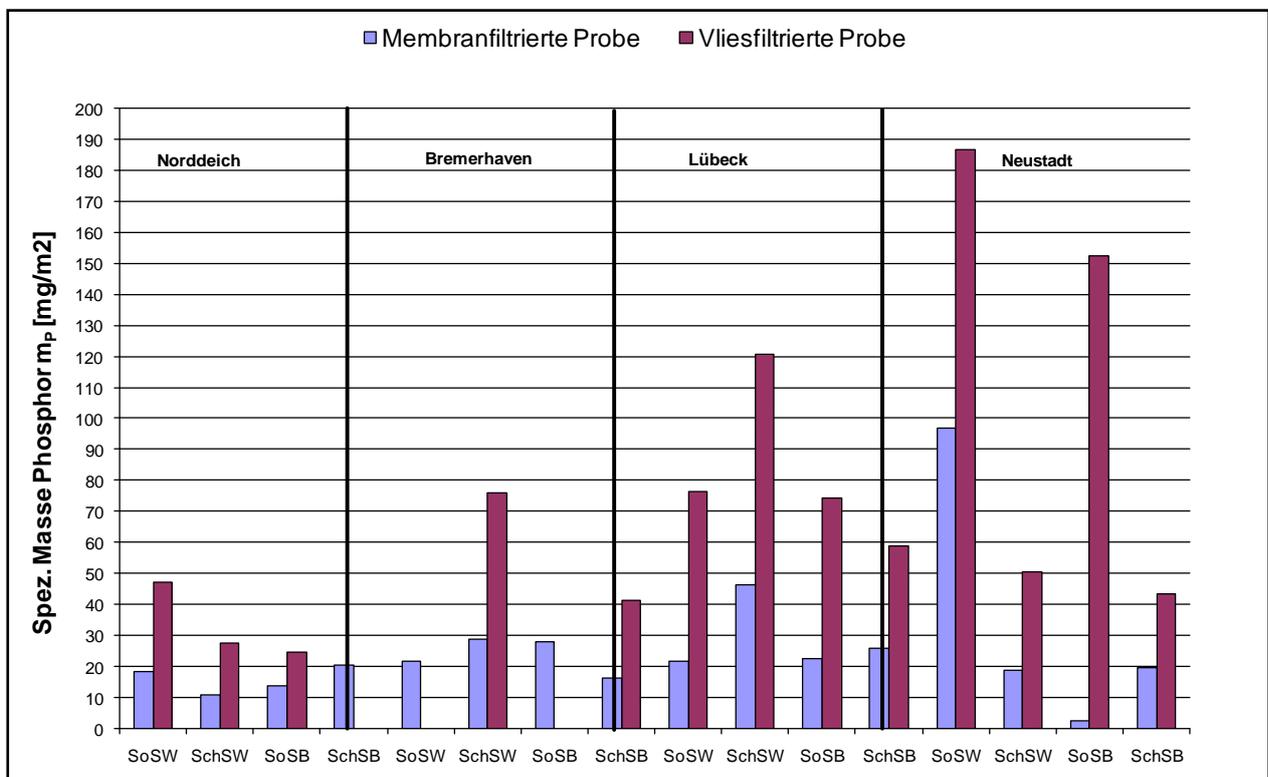


Abb.4.2.3-7 Spezifische Phosphormasse je m^2 der membranfiltrierten und vliesfiltrierten Proben

Daraus lässt sich erkennen, dass der größte Anteil an Phosphaten an Partikel gebunden vorliegt und durch eine verbesserte Filtration die Phosphorbelastung des Waschwassers noch deutlich verringert werden kann. Die Größenordnungen von im Mittel ca. 66 mg/m^2 bei Vliesfiltration zeigt deutlich, dass ein nennenswerter Eintrag von Phosphor vorhanden ist (Mittelwert der membranfiltrierten Proben ca. 26 mg/m^2).

Die nachstehende Tabelle führt den gemessenen Kohlenstoff als NPOC im Waschwasser auf. Es wurden hierbei die membranfiltrierten Proben der blauen Platten untersucht und somit die bei der Wäsche freigesetzten gelösten organischen Stoffe.

Neben der Phosphatfreisetzung beim Waschen wurde auch der Eintrag organischer Verbindungen in das Waschwasser ermittelt. Neben den bereits dargestellten suspendierten Feststoffen wurden auch die gelösten organischen Verbindungen in der membranfiltrierten Probe gemessen und auf die Freisetzung je m^2 Plattenfläche umgerechnet. Abb. 4.2.3-8 zeigt diese Werte, die meist die schon von den anderen Parametern bekannten höheren Werte auf der Sonnenseite widerspiegelt. Im Mittel aller Messungen wurden 18 mg/m^2 freigesetzt.

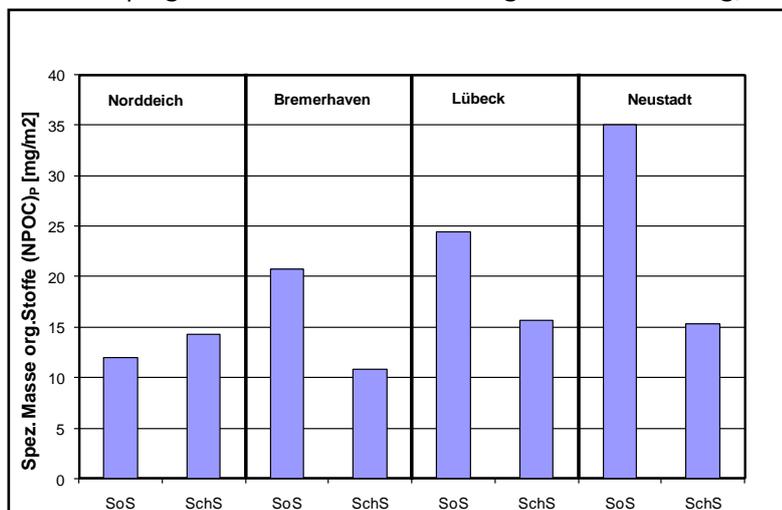


Abb. 4.2.3-8: Freigesetzte gelöste organische Stoffe bei der Plattenwäsche

4.3.3 Abschätzung von Biomasseaufkommen und -eintrag je Boot

Um die Menge der abzureinigenden Biomasse abschätzen zu können, wurden die Ergebnisse aus den Plattenwaschungen herangezogen.

Die dafür erforderliche Unterwasserfläche F_U von Sportbooten kann wie folgt abgeschätzt werden:

$$F_U = L_{WL} (B + T) \quad (2)$$

mit:

LWL : Länge der Wasserlinie

B : Breite des Bootes

T : Tiefgang des Bootes

Bei kurzkieligen Segeljachten wird der so berechnete Wert noch mit dem Faktor 0,75 multipliziert. Die rechnerische Abschätzung der Unterwasserfläche beruht auf Erfahrungswerten bei der Bootsbeschichtung (Wohlert 2013).

Somit ergaben sich für die verwendeten Testboote die folgenden Bewuchsflächen:

Boot 1 – Stahlboot mit gelbem Biozid-freiem Anstrich (L_{WL} 8,5m, B 2,6 m, T 1,5 m): F_U 34,8 m²,

Boot 2 – Motorboot mit grauem Biozid-freiem Anstrich (L_{WL} 8m, B 2,5 m, T 0,7 m): F_U 25,6 : m²,

Boot 3 – Segelboot mit rotem Biozid-freiem Anstrich (L_{WL} 8m, B 2,3 m, T 1,6 m): F_U 23,4 : m².

In der nachfolgenden Tabelle 4.3.3-1 wird rechnerisch abgeschätzt, welcher Eintrag je Bootswäsche in das Gewässer zu erwarten ist. Dazu wurde aus den vorigen Kapiteln dargestellten Messdaten jeweils ein hoher und ein niedriger Wert für die im Bewuchs enthaltene Trockenmasse je m² (s. Abb. 4.2.3-2) als Mittelwert von Sonnenseite und Schattenseite verwendet. Für die Masse je Boot wurde eine Unterwasserfläche von 30 m² angenommen. Die abfiltrierte Masse wurde mit einem mittleren Rückhaltevermögen von 80% ermittelt und der nicht abfiltrierte Anteil als Eintrag in das Gewässer angegeben. Unter der Annahme, dass kein Wasser zwischen Waschanlage und Umgebung ausgetauscht würde, kann dann die maximal mögliche Erhöhung der Konzentration in der Waschanlage durch eine Bootswäsche abgeschätzt werden, wobei ein Wasservolumen von 75 m³ in der Anlage verwendet wurde.

Die so ermittelten Daten sind nur grobe Abschätzungen, da der tatsächliche Bewuchs sehr von den Waschintervallen, dem Standort, den Wetterbedingungen und dem Nutzerverhalten abhängt.

Zu beachten ist hierbei auch, dass zwar einerseits durch die nicht abfiltrierten Bestandteile des Bewuchses am Standort der Waschanlage ein Stoffeintrag in das Gewässer erfolgt, durch die Abtrennung der abfiltrierbaren Stoffe aber auch ein Austrag aus dem Wasserkörper erreicht wird.

Tab.4.3.3-1 Berechnungen für das mögliche Biomasseaufkommen der untersuchten Boote

	Masse je m2	Masse je Boot	davon abfiltriert	Eintrag in Gewässer	Konzentrat.- Erhöhung
	g/m2	g/Boot	g/Boot	g/Boot	mg/L je Boot
Bewuchs als Trockensubstanz					
hoher Wert	56,9	1707	1366	341	4,6
niedriger Wert	12,5	375	300	75	1,0
Phosphor im Bewuchs nach Filtration					
hoher Wert	0,195			5,85	0,078
niedriger Wert	0,027			0,81	0,011
gelöste organische Stoffe					
hoher Wert	0,011			0,33	0,004
niedriger Wert	0,035			1,05	0,014

4.4 Untersuchungen an der Bootwaschanlage

4.4.1 Strömungsmessungen

Die Strömungsmessungen dienen dazu, das hydraulische Verhalten der Anlage zu kennen sowie insbesondere den Wasseraustausch mit der Umgebung abzuschätzen.

Bei den Strömungsmessungen wurden folgende Zustände betrachtet:

- Anlage außer Betrieb, Messungen außerhalb um die Anlage – ohne Boot,
- Anlage in Betrieb, Messungen außerhalb um die Anlage – ohne Boot,
- Anlage in Betrieb, Messung innerhalb der Anlage – ohne Boot,
- Anlage in Betrieb, Messungen an Ein- und Ausfahrt – ohne Boot,
- Anlage in Betrieb – mit Boot.

Die Messpunkte außerhalb um die Anlage zeigt Abbildung 4.4.1-1

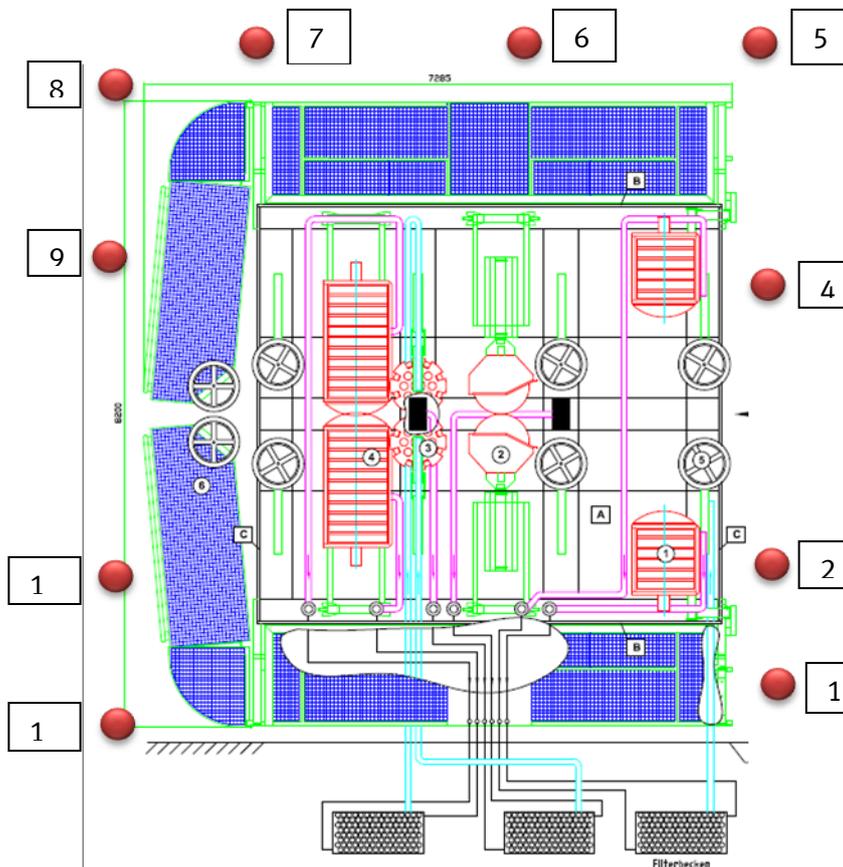


Abb.4.4.1-1 Strömungsmesspunkte außerhalb der Anlage (Ansicht von oben, Fahrtrichtung der Boote von rechts nach links)

Gemessen wurde jeweils ca. 30cm entfernt von der Anlage, wenn möglich oder notwendig durch offensichtliche weiterführende Strömung auch weiter entfernt von der Anlage. Ebenso erfolgten Messungen in unterschiedlichen Tiefen, wobei nur knapp unter der

Wasseroberfläche, ca. 10 cm, Strömung zu ermitteln war. In tieferen Regionen war keine Strömung oberhalb der Messgrenze des Sensors von 0,1 m/s messbar.

Nachfolgend sind die einzelnen Messzustände bildlich dargestellt und die Ergebnisse aufgeführt.

Messungen ohne Boot, jeweils außerhalb der Anlage

Die Messungen bei „Anlage außer Betrieb“ ergaben einen Mittelwert der 5-fach Messungen von < 0,1 m/s an allen Messstellen bei ruhigem Wetter (s. Tab 4.4.1-1)

Tabelle 4.4.1-1 Messwerte der Strömungsmessungen um die Anlage, Anlage außer Betrieb

Messpunkt	Tiefe T [m]	Geschwindigkeit v _{str} [m/s]					MW
A.1	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
A.2	0,10	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
A.4	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02
A.5	0,10	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
A.6	0,10	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
A.7	0,10	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,02
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
A.8	0,10	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,02
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
A.9	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
A.11	0,10	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
A.12	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00

Es ist zu erkennen, dass vereinzelt auch Werte von 0,1 m/s in 50 oder 100 cm Tiefe gemessen wurden (grün unterlegt). Die gelb hinterlegten Werte sind ermittelte Strömungen in 10 cm Tiefe.

Auch bei Messungen mit Betrieb der Anlage konnte an allen Messstellen Mittelwerte von < 0,1 m/s verzeichnet werden. Alle Messwerte zeigt Tabelle 4.4.1-2, wobei die grün unterlegten Werte wiederum Geschwindigkeiten in 50 oder 100 cm Tiefe zeigen.

Tabelle 4.4.1-2 Messwerte der Strömungsmessungen um die Anlage, wenn Anlage in Betrieb

Messpunkt	Tiefe T [m]	Geschwindigkeit v_{Str} [m/s]					MW
B.1	0,10	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,02
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
B.2	0,10	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
B.4	0,10	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
B.5	0,10	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
B.6	0,10	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,02
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
B.7	0,10	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,02
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
B.8	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,02
	0,50	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,02
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
B.9	0,10	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
B.11	0,10	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
B.12	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00

Es ist erkennbar, dass beim Betrieb der Anlage etwas öfter Geschwindigkeiten in tieferen Regionen als knapp unter der Wasseroberfläche ermittelt werden konnten. Jedoch nicht in so großem Maße, dass man beim Betrieb der Anlage von stärkeren Strömungen in tieferen Regionen ausgehen muss.

Beide Zustände wurden an einem weiteren Tag wiederholt, da beim ersten Durchgang eine sehr ruhige Wetterlage mit viel Sonne und wenig Wind und Wellengang vorherrschte. Am Wiederholungstag war es stärker bewölkt und windiger. Somit lag ein leichter Wellengang vor. Die ermittelten Werte zeigen die beiden nachstehenden Tabellen 4.4.1-3 und 4.4.1-4.

Beide Tabellen verdeutlichen, dass aufgrund der veränderten Wetterlage Änderungen in den Strömungsverhältnissen vorherrschen, was zu erwarten war. An einzelnen Messpunkten ist ein Mittelwert der Wassergeschwindigkeit von 0,04 m/s ermittelt worden, wobei sich die Zustände „in Betrieb“ und „außer Betrieb“ wiederum nicht wesentlich voneinander unterscheiden, was die Strömung um die Anlage betrifft.

Tabelle 4.4.1-3 Strömungswerte um die Anlage, Anlage außer Betrieb, andere Wetterlage

Messpunkt	Tiefe T [m]	Geschwindigkeit v_{str} [m/s]						MW
A.1	0,10	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
A.2	0,10	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
A.4	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
A.5	0,10	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,04
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,02
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
A.6	0,10	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,04
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
A.7	0,10	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,02
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
A.8	0,10	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,04
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
A.9	0,10	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,04
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
A.10	0,10	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,04
	0,50	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
A.11	0,10	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
A.12	0,10	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00

Tabelle 4.4.1-4 Strömungswerte um die Anlage, Anlage in Betrieb, andere Wetterlage

Messpunkt	Tiefe T [m]	Geschwindigkeit v_{str} [m/s]						MW
B.1	0,10	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
B.2	0,10	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,04
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
B.4	0,10	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,04
	0,50	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,04
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
B.5	0,10	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,04
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
B.6	0,10	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,04
	0,50	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
B.7	0,10	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,02
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
B.8	0,10	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,04
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
B.9	0,10	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
B.10	0,10	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
B.11	0,10	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,04
	0,50	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
B.12	0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	0,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00

Anlage in Betrieb, Messung innerhalb der Anlage – ohne Boot

Die nachfolgende Abbildung 4.4.1-2 zeigt die Messstellen innerhalb der Anlage, sowie die ermittelten Werte. Die neben der Tabelle befindlichen Pfeile zeigen in allen Abbildungen die Strömungsrichtung an.

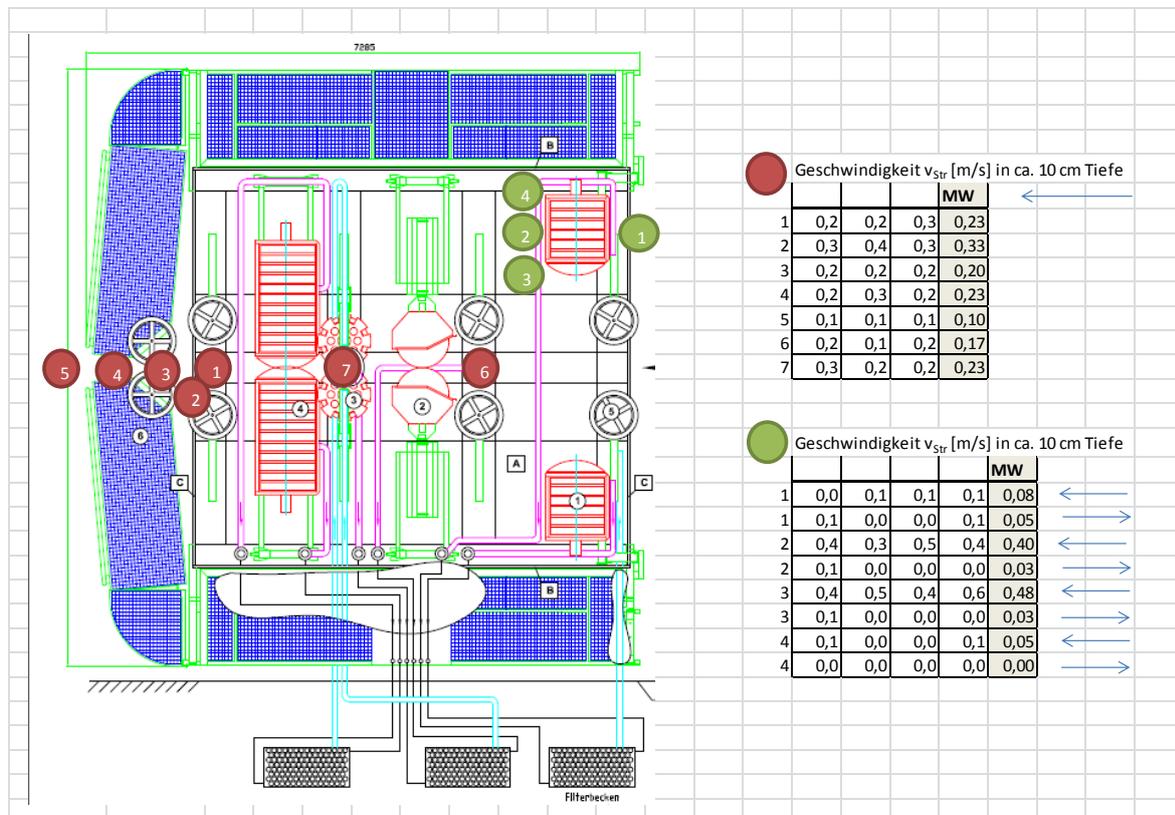


Abb.4.4.1-2 Messstellen innerhalb der Anlage, Anlage in Betrieb – ohne Boot

Es ist erkennbar, dass im Bereich der Ausfahrt (links in Abb. 4.4.1-2) aufgrund der Bürstenrotation eine Strömung Richtung Außenbereich vorliegt. Jedoch zeigen die Werte, dass die Geschwindigkeit Richtung Ausfahrt von 0,3 auf 0,1 m/s abnimmt. Die Messungen im Bereich der Einfahrt Nähe der ersten Rumpfbürste ergaben ein deutliches Strömungsprofil in die Anlage hinter der Bürste. Dort konnten Werte von $< 0,1$ bis 0,48 m/s festgestellt werden.

Weitere Messpunkte innerhalb der Waschanlage zeigt die nachstehende Abbildung 4.4.1-3

Die Tabelle stellt wiederum die gemessenen Geschwindigkeiten und deren Richtung dar. Es ist abzulesen, dass im Bereich der Ausfahrt im Messpunkt 3 eine Geschwindigkeit von 0,2 m/s und im Punkt 4 eine Geschwindigkeit von 0,3 m/s im Mittel nach außen erreicht wird. Wie bereits aufgezeigt, nimmt diese Strömung nach außen hin ab, so dass im Bereich des Messpunktes 1 „nur“ noch eine Geschwindigkeit von 0,15 m/s nach außen gemessen wurde. Die Geschwindigkeit nach innen betrug hier 0,1 m/s.

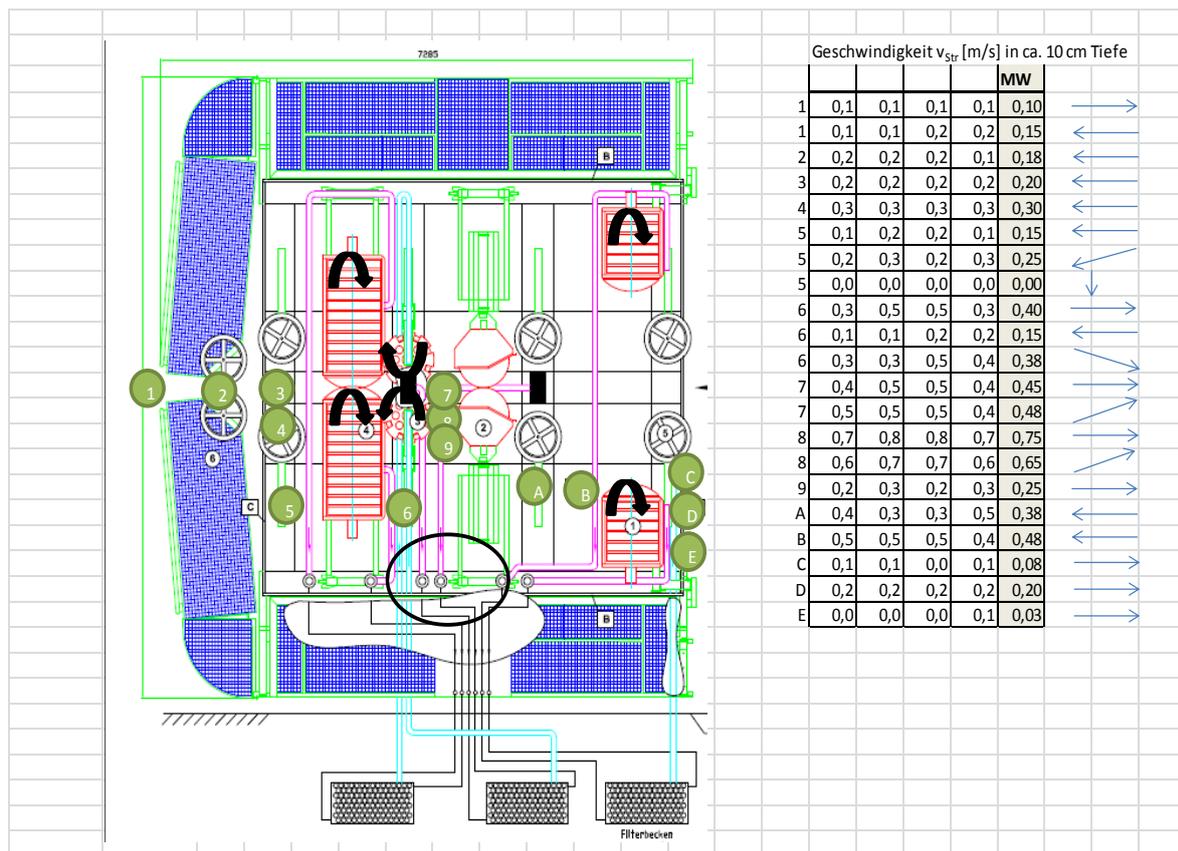


Abb.4.4.1-3 Messstellen innerhalb der Anlage, Anlage in Betrieb – ohne Boot, Kennzeichnung der Drehrichtung der Bürsten

Ebenso ist erkennbar, dass innerhalb der Anlage in der Nähe der rotierenden Bürsten eine Geschwindigkeit von bis zu 0,78 m/s entstehen kann. Diese Strömungen tragen jedoch nicht zu Strömungen in den Außenbereich bei, da diese sich innerhalb der Anlage reduzieren und verlieren.

Anlage in Betrieb, genauere Betrachtung der Ein- und Ausfahrt – ohne Boot

Da die bisherigen Messungen Strömungen nach außen nur im Bereich der Ein- und Ausfahrt aufzeigten, wurden diese beiden Stellen in weiteren Durchgängen genauer betrachtet. Abbildung 4.4.1-4 verdeutlicht nochmal die kritische Stelle der Ausfahrt.

In Abbildung 4.4.1-4 sind nicht nur die Messpunkte zu erkennen, sondern auch die Möglichkeit des Wechsels der Rotationsrichtung der Bordwandbürsten. Die Auswirkung der Rotationsrichtung auf die Strömungsgeschwindigkeiten macht Tabelle 4.4.1-5 deutlich.

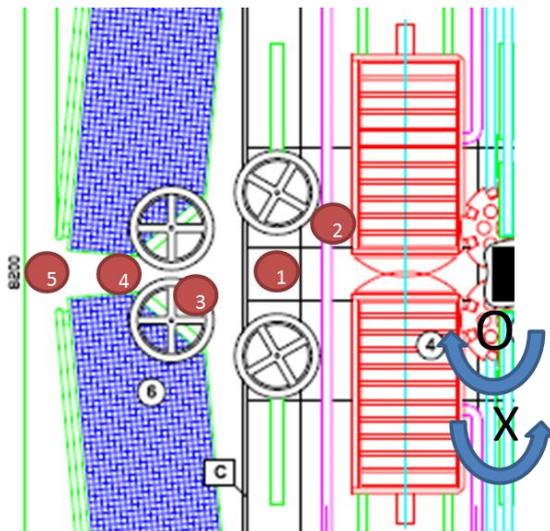


Abb.4.4.1-4 Schwerpunkt Ausfahrt

Tabelle 4.4.1-5 Strömungsgeschwindigkeiten an Ausfahrt in Abhängigkeit von der Drehrichtung der Bordwandbürsten

		Geschwindigkeit v_{Str} [m/s]								Geschwindigkeit v_{Str} [m/s]							
		bei Drehrichtung der Bordwandbürste im Uhrzeigersinn O								bei Drehrichtung der Bordwandbürste entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn X							
	Tiefe T[m]					MW				Tiefe T[m]					MW		
1	0,10	0,2	0,2	0,3	0,2	0,23	←		1	0,10	0,2	0,2	0,3	0,2	0,23	←	
1	0,20	0,2	0,1	0,1	0,1	0,13			1	0,20	0,1	0,1	0,1	0,1	0,10		
1	0,30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00			1	0,30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00		
2	0,10	0,2	0,2	0,3	0,2	0,23	←		2	0,10	0,1	0,0	0,0	0,1	0,05	←	
2	0,20	0,2	0,1	0,1	0,1	0,13			2	0,20	0,1	0,1	0,1	0,0	0,08		
2	0,30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00			3	0,10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,10	←	
3	0,10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,10	←		3	0,20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00		
3	0,20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00			3	0,30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00		
3	0,30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00			4	0,10	0,0	0,1	0,1	0,0	0,05	→	
4	0,10	0,0	0,1	0,1	0,0	0,05	←		4	0,10	0,1	0,0	0,1	0,0	0,05	←	
4	0,20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00			5	0,10	0,1	0,1	0,0	0,1	0,08	→	
4	0,30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00			5	0,10	0,0	0,0	0,1	0,0	0,03	←	
5	0,10	0,0	0,0	0,1	0,1	0,05	←										
5	0,10	0,1	0,0	0,0	0,1	0,05	→										

Die Tabelle 4.4.1-5 verdeutlicht, dass bei der Drehrichtung im Uhrzeigersinn im Messpunkt 2 höhere Geschwindigkeiten knapp unter der Wasseroberfläche erzeugt werden als bei der Drehrichtung der Bürste entgegengesetzt des Uhrzeigersinnes. Die anderen Messpunkte weisen ähnliche Werte in Bezug zur Drehrichtung auf, so dass es in diesen Bereichen keine Rolle spielt, wie herum sich die Bürste dreht. Jedoch an Punkt 5 ist zu erkennen, dass der Mittelwert der gemessenen Geschwindigkeiten bei Drehrichtung entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn etwas höher liegt bei Werten von 0,08 m/s. Die Drehrichtung der Bürsten in der Nähe der Ausfahrt beeinflusst die Ausströmgeschwindigkeit an der Oberfläche.

Die folgende Abbildung 4.4.1-5 zeigt einen Schnitt der Ausfahrtsöffnung in Messpunkt 4 (s. Abb.4.4.1-3) von vorn gesehen. Dies dient im nachfolgenden dazu, mit Hilfe der ermittelten Geschwindigkeit und der durchströmten Fläche einen Austausch-Volumenstrom zu berechnen.



Abb.4.4.1-5 Schnitt der Ausfahrtsöffnung

Hier ist die Öffnung der Ausfahrt in Messpunkt 4 im „Ruhezustand der Anlage“ (s. Abb.4.4.1-3) dargestellt. Die Öffnung beträgt 16-18 cm. Die blauen Flächen stellen die Auftriebskörper dar, die 20 cm im Wasser liegen.

Nachfolgend wird die Stelle der Einfahrt genauer betrachtet. Abbildung 4.4.1-6 verdeutlicht die Messstellen und die ermittelten Werte für die Geschwindigkeiten.

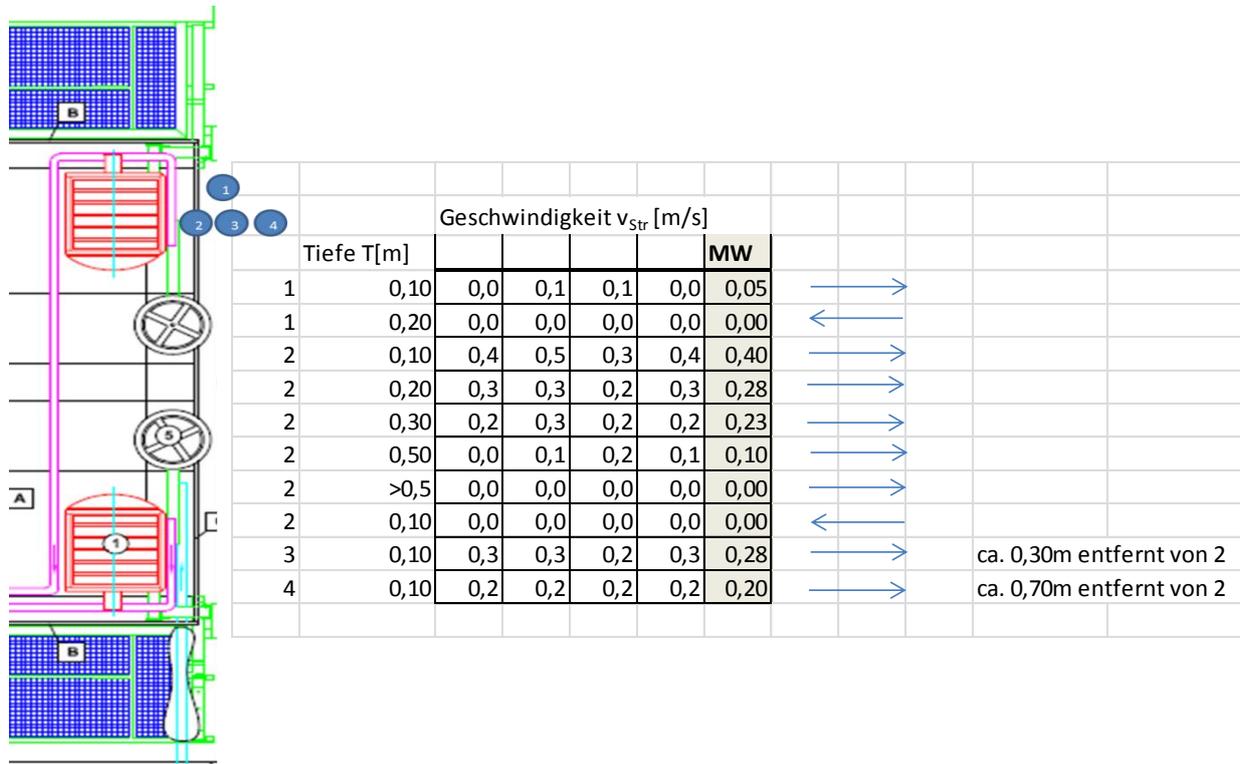


Abb.4.4.1-6 Messstellen an der Einfahrt und ermittelte Geschwindigkeiten

Zum Zeitpunkt der Messungen lag die Anlage insgesamt etwas höher als bei den vorangegangenen Messtagen im Wasser. Der Bürstenkamm an der Einfahrt ragte einige Zentimeter aus dem Wasser heraus, so dass die ermittelten Werte an der Einfahrt sich von den bisher dargestellten Ergebnissen unterscheiden.

Die gemessene Geschwindigkeit liegt an Punkt 2 bei 0,4 m/s knapp unter der Wasseroberfläche. Im Gegensatz dazu konnte bei vorangegangenen Messungen an dieser Stelle ein Wert von 0,2 m/s ermittelt werden, siehe Abb.4.9. Des Weiteren zeigen die Messwerte eine Strömung bis 50 cm Tiefe. Eine Strömung in die Anlage konnte an diesem

Messpunkt nicht verzeichnet werden. Weiterhin konnte eine Strömung bis zu einem Abstand von ca. 0,70 m vom Messpunkt 2 gemessen werden. Diese betrug unterhalb der Wasseroberfläche noch 0,2 m/s.

Anlage in Betrieb – mit Boot

Zur Beurteilung des Strömungsverhaltens bei einer Bootswäsche wurde das Biozid-frei beschichtete Stahlboot verwendet. Da sich die Ausfahrt während des Waschvorganges öffnet, wurden bei unterschiedlichen Öffnungszuständen der Ausfahrt Messungen vorgenommen. Diese sind in den nachfolgenden Abbildungen 4.4.1-7 dargestellt.

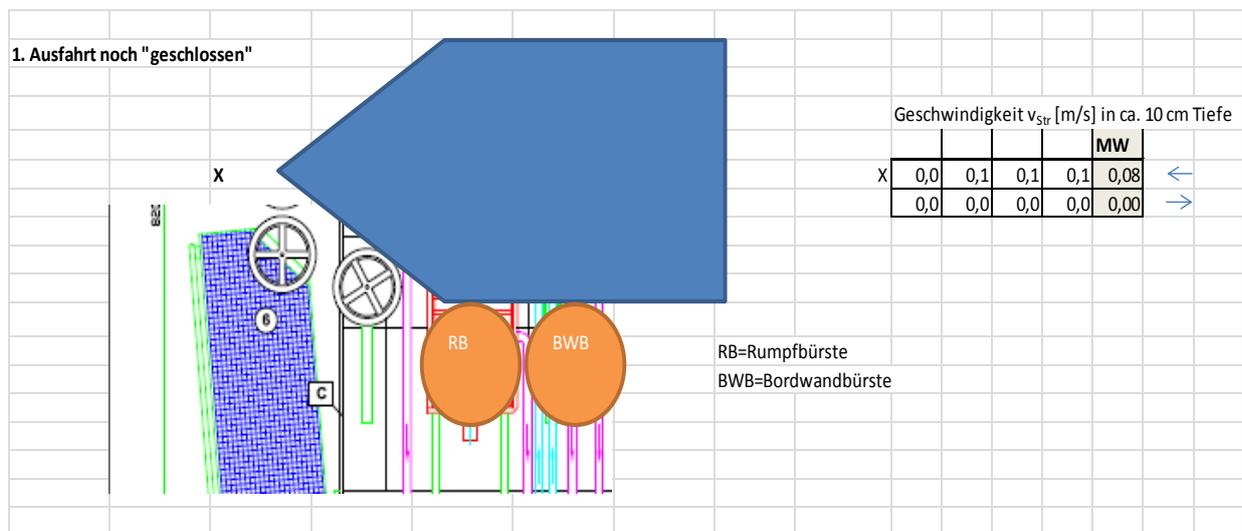


Abb.4.4.1-7 Testbootswäsche – Ausfahrt noch geschlossen

Die Abbildung 4.4.1-7 stellt die Situation an der Ausfahrt während einer Bootswäsche dar. Die nebenstehende Tabelle beschreibt die Strömung im Punkt X anhand der ermittelten Werte. Es wird deutlich, dass eine Strömung in die Anlage nicht vorherrscht und die Geschwindigkeit des Wassers aus der Anlage heraus 0,08 m/s im Messpunkt X beträgt, gemessen ca. 10 cm unter der Wasseroberfläche. Darunter, in tieferen Regionen, konnte keine Strömung festgehalten werden. Abbildung 4.4.1-8 zeigt die verschiedenen Öffnungszustände der Ausfahrt und die dazugehörigen ermittelten Geschwindigkeiten. Die blauen Flächen verdeutlichen die Geometrie der Ausfahrtsöffnung mit Blick von oben.

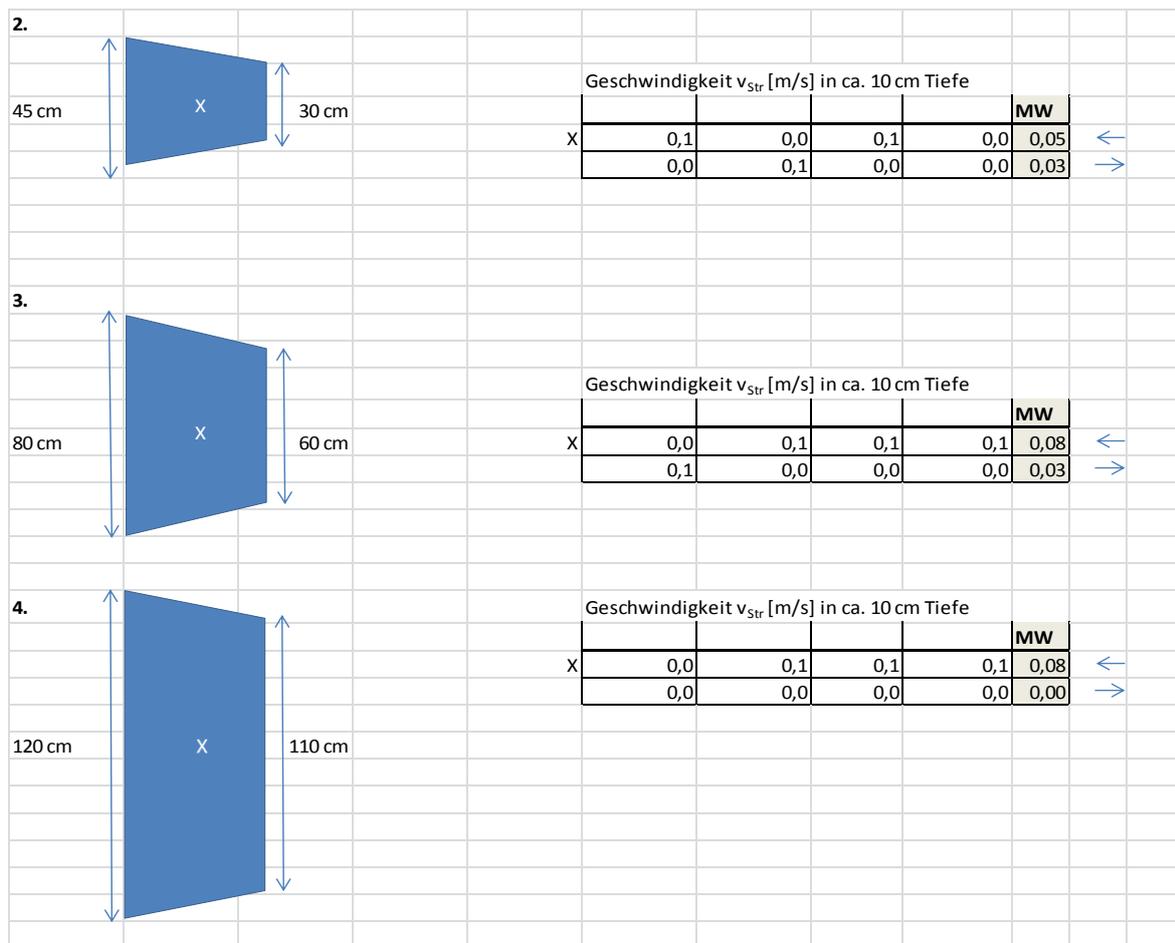
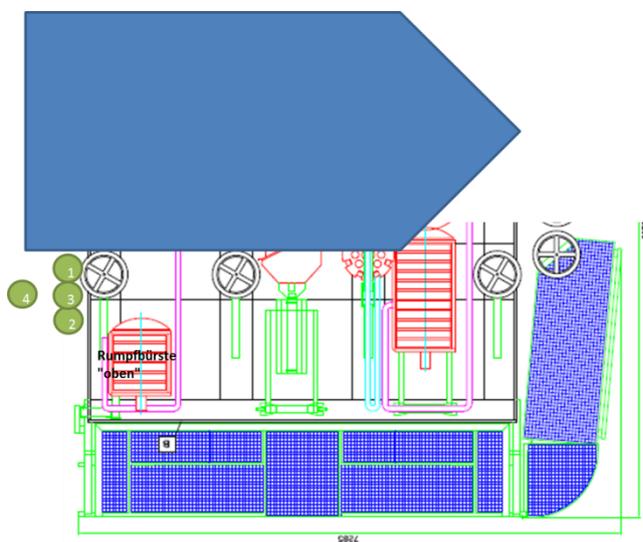


Abb.4.4.1-8 verschiedene Öffnungszustände der Ausfahrt und die dazugehörigen ermittelten Geschwindigkeiten

Die unterschiedlichen Öffnungszustände der Ausfahrt sind in Abb.4.4.1-8 als blaue Flächen dargestellt. Die Werte zeigen, dass die Strömung in die Anlage und aus der Anlage $< 0,1$ m/s beträgt. Die Strömung wurde jeweils in Punkt X gemessen.



1. Rumpfbürste "oben" AUS						
Geschwindigkeit v_{str} [m/s] in ca. 10 cm Tiefe						
						MW
1	0,1	0,2	0,2		0,1	0,15
2	0,1	0,1	0,0		0,1	0,08

2. Rumpfbürste "oben" AN						
Geschwindigkeit v_{str} [m/s] in ca. 10 cm Tiefe						
						MW
1	0,2	0,1	0,2		0,1	0,15
2	0,3	0,4	0,4		0,3	0,35
3	0,5	0,4	0,4		0,3	0,40
4	0,2	0,3	0,2		0,2	0,23

Abb.4.4.1-9 Testbootswäsche – Messpunkte an Einfahrt

Die Abbildung 4.4.1-9 zeigt die Messstellen an der Einfahrt bei einer „simulierten Wäsche“. Dabei ist zu beachten, dass ein Durchgang ohne Rumpfbürste „oben“ stattgefunden hat und ein zweiter Durchgang mit Rumpfbürste „oben“. Diese kann je nach Breite der zu waschenden Boote zugeschaltet oder abgeschaltet werden. Ist die Bürste aus, so ist ersichtlich, dass am Bootsrumf die Strömung stärker ist, als weiter entfernt davon. Am Bootsrumf beträgt die Geschwindigkeit 0,15 m/s und weiter Steuerbord 0,08 m/s. Ist die Bürste zugeschaltet, so erkennt man, dass sich die Strömung am Rumpf nicht geändert hat, dazu aber eine wesentliche Strömung im Bereich der rotierenden Bürste vorliegt. Die Geschwindigkeit beträgt in den Punkten 2 und 3 0,35 und 0,4 m/s. In etwa 1 m Entfernung von Punkt 3 konnte noch eine Geschwindigkeit von 0,23 m/s festgestellt werden.

4.4.2 Berechnung des ausgetauschten Wasservolumens

Volumenstromberechnungen erfolgten für Ein- und Ausfahrt anhand der ermittelten Geschwindigkeiten und durchströmten Flächen lt. Abb. 4.4.1-8 und Abb. 4.4.1-9. In der nachfolgenden Tabelle 4.4.2-1 sind die Volumenströme vom Inneren der Anlage nach außen für die einzelnen Ausfahrtszustände sowie für die Einfahrt angegeben.

Tab. 4.4.2-1 Volumenstromberechnung an Ein- und Ausfahrt (siehe auch Abb. 4.4.1-8)

Ein-Ausfahrt	Breite B [m]	Höhe H [m]	Fläche A [m ²]	Geschwindigk. v _{str} [m/s]	Volumenstrom V [m ³ /s]	Volumenstrom V [m ³ /min]	Dauer t [min]	Volumenstrom je Wäsche [m ³]
Ausfahrt								
geschlossen	0,16	0,10	0,016	0,08	0,001	0,077	14	1,1
Öffnung 30 cm	0,30	0,20	0,060	0,05	0,003	0,180	2	0,4
Öffnung 60 cm	0,60	0,20	0,120	0,08	0,010	0,576	2	1,2
Öffnung 110 cm	1,10	0,10	0,110	0,08	0,009	0,528	2	1,1
Ausfahrt insgesamt								3,6
Einfahrt je Seite	1,00	0,10	0,100	0,30	0,03	1,800		
Einfahrt insgesamt						3,600	20	72,0

Für die Einfahrt wurde zur Berechnung eine mittlere Geschwindigkeit v von 0,3 m/s aus den Messpunkten 1,2,3 (siehe Abb.4.4.1-9, laufende Rumpfbürste) ermittelt. Die Breite der Strömung B betrug ca. 1,0 m auf jeder Seite des Bootes. Für die durchströmte Höhe H werden 0,1 m abgeschätzt. Damit kann ein Volumenstrom Q_E an der Einfahrt gemäß Gl. (3) ermittelt werden:

$$Q_E = v B H \quad (3)$$

Daraus folgt ein Gesamtvolumenstrom aus der Anlage an der Einfahrt von 3,6 m³/min. Für einen „Waschgang“ mit der Dauer von ca. 20 min resultiert daraus ein Wert von 72 m³/Wäsche.

Bei der Ausfahrt wurde eine Zeit von 14 min für eine geschlossene Ausfahrt während einer Bootswäsche angenommen und weitere 6 min insgesamt für die Öffnungszustände 2. bis 4 aus Abb. 4.4.1-8. Daraus resultiert ein Volumenstrom aus der Anlage während einer Bootswäsche an der Ausfahrt von ca. 3,6 m³.

Insgesamt gelangen somit während einer 20 minütigen Wäsche ca. 75 m³ Wasser aus der Anlage ins Umgebungswasser. Da die Waschanlage ein Wasservolumen von ca. 75 m³ umschließt, wird bei jeder Bootswäsche das komplette Wasservolumen mit der Umgebung ausgetauscht.

Ein Teil dieses Austausches ist wegen der Wasserverdrängung des einfahrenden Bootes unvermeidlich. Eine Verringerung des Wasseraustausches insbesondere an der Einfahrt durch verbesserte Strömungsführung erscheint jedoch möglich und sinnvoll.

4.4.3 Strömungen durch Filtrerrücklauf

Neben den Strömungsverhältnissen in um der Anlage wird an der Stelle des Filtratrücklaufes eine Strömung innerhalb der Anlage erzeugt. Die folgende Abbildung 4.4.3-1 kennzeichnet den Bereich des Rücklaufes während der Messungen. Abweichend von den in Abb. 4.4.3-1 hellblau eingezeichneten Filtrat-Rücklaufleitungen waren der Rücklauf eines Filters in der Versuchsanlage in den schwarz umkreisten Bereich geleitet worden, wo einfach gemessen werden konnte.

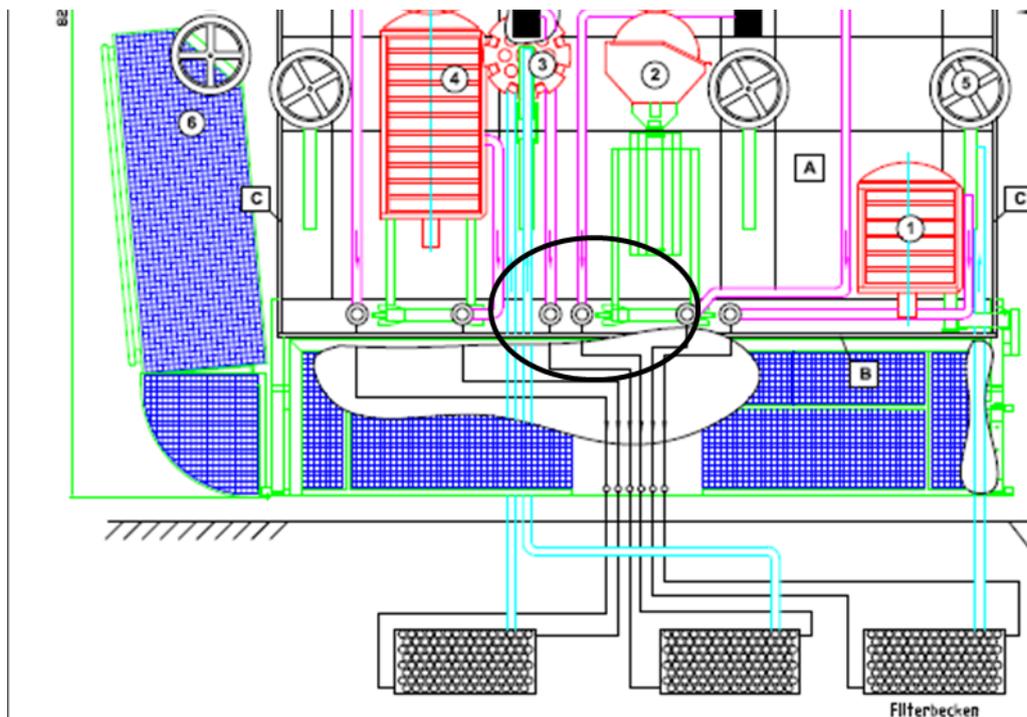


Abb.4.4.3-1 Einleitstelle des Filtratrücklaufes

In Tab. 4.4.3-1 sind die ermittelten Strömungsgeschwindigkeiten und die Strömungsrichtung dargestellt.

Tabelle 4.4.3-1 Strömungsgeschwindigkeiten und die Strömungsrichtung am Filtrerrücklauf

		Geschwindigkeit v_{Str} [m/s] in ca. 10 cm Tiefe						Geschwindigkeit v_{Str} [m/s] in ca. 50 cm Tiefe					
							MW						MW
	↑	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2	0,25	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,05
	←	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,15	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,05
	→	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,03	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,05
	↙	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,18	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,05

Es ist zu erkennen, dass im Bereich des Filtratrücklaufes unmittelbar unter der Wasseroberfläche Strömungen von $< 0,1$ m/s bis $0,25$ m/s vorherrschen. In Tiefen von $0,50$ m treten keine Geschwindigkeiten $> 0,1$ m/s auf. Auf Strömungen nach außen haben diese Geschwindigkeiten keinen Einfluss.

Neben diesen Messungen erfolgte das Auslitern der einzelnen Pumpen. Die nachfolgende Abbildung 4.4.3-2 zeigt die Positionen der einzelnen Pumpen innerhalb der Anlage.

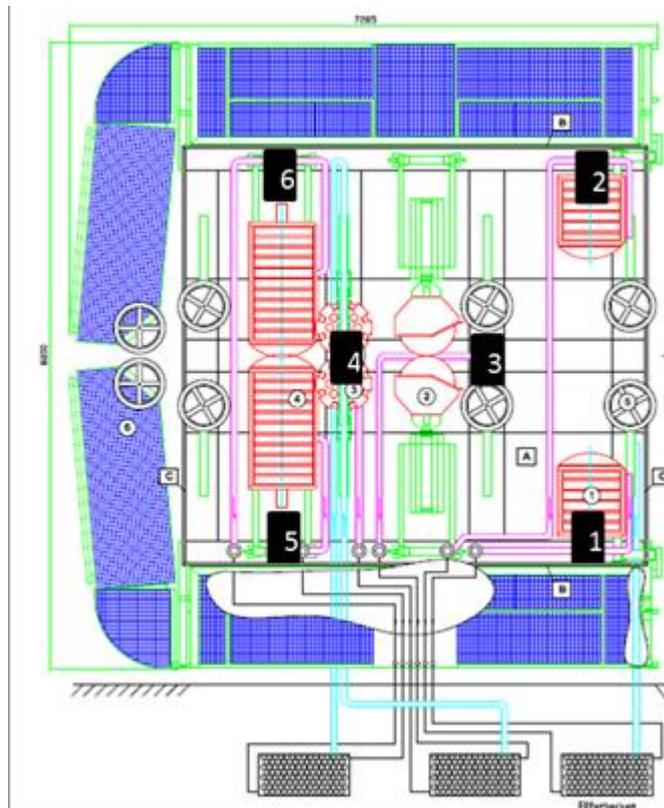


Abb.4.4.3-2 Position der Absaugpumpen innerhalb der Bootswaschanlage

Tabelle 4.4.3-2 Absaugort und Volumenstrom der Pumpen

Pumpe	Absaugort	Zeit t [s]	Volumen V [L]	V [L/min]	MWV [L/min]
1	Backbord	10	34	204	204
	Rumpfbürste "oben", Nähe Beruhigungsbecken, ca.1,50m tief an der Wand	10	34	204	
2	Steuerbord	10	30	180	180
	Rumpfbürste "oben", Nähe Beruhigungsbecken, ca.1,50m tief an der Wand	20	60	180	
3	Beckenboden	10	36	216	216
	Absaugung am Beckenboden	10	36	216	
4	Beckenboden	10	30	180	190
	Absaugung am Beckenboden	15	50	200	
5	Backbord	10	33	198	204
	Rumpfbürste, Nähe Beruhigungsbecken, ca.1,50m tief an der Wand	10	35	210	
6	Steuerbord	10	35	210	213
	Rumpfbürste, Nähe Beruhigungsbecken, ca.1,50m tief an der Wand	10	36	216	

Insgesamt fördern alle 6 Pumpen zusammen ca. 1207 L/min (Tab. 4.4.3-2). Bei einer bereits oben angenommenen Washdauer von 20 min je Boot werden daher etwa 25 m³ Wasser je Waschgang filtriert und zurückgeleitet, was etwa einem Drittel des Wasserinhaltes der Waschanlage entspricht.

Durch die Positionierung der Absaugung an den Bürsten sollen die abgewaschenen Stoffe möglichst vollständig erfasst werden.

4.4.4 Bootswäschen

Es wurden die drei bereits beschriebenen Testboote gewaschen, wobei alle drei Boote eine Bewuchsphase von ca. 5 Wochen im Frühsommer 2013 und teilweise auch bereits aus dem Jahr 2012 aufwiesen.

Abb. 4.4.4-1 zeigt die durch Vliesfiltration abfiltrierbaren Stoffe als Mittelwert von 12 Probenahmestellen in der Waschanlage (rote Messstellen in Abb. 3.1.3-5) jeweils an der Steuerbord- und Backbordseite, sowie die Werte vor und nach den Bootswäschen außerhalb der Anlage (grüne Messstellen in Abb. 3.1.3-5).

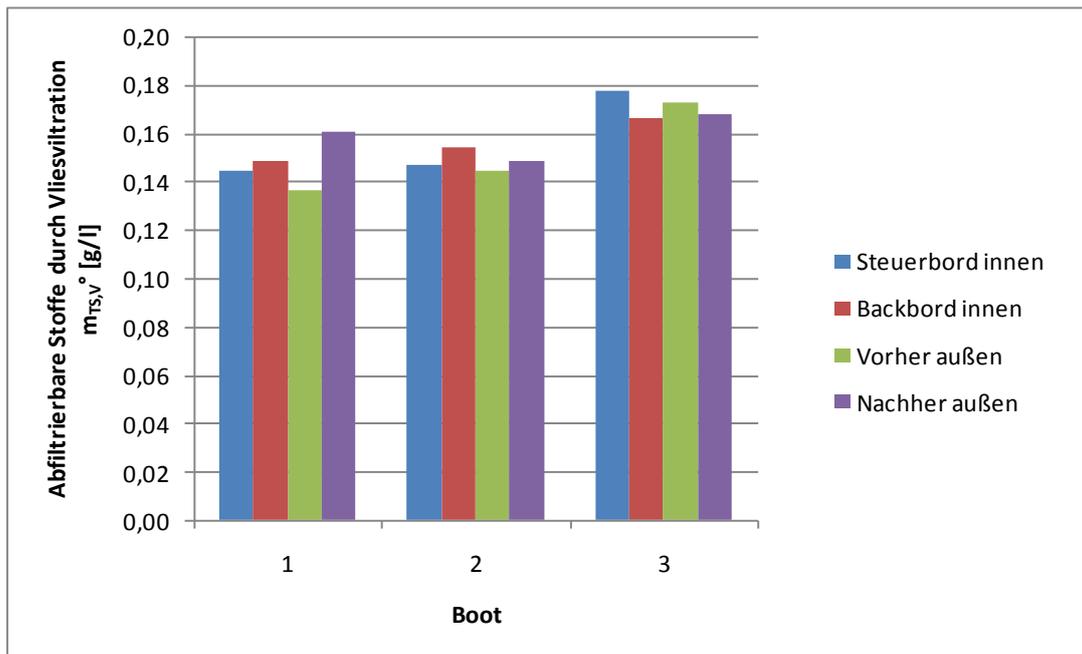


Abb.4.4.4-1 Durch Vliesfiltration abfiltrierbare Stoffe

Es ist zu erkennen, dass sich die Werte der einzelnen Wäschen nur gering voneinander unterscheiden. Auch bestehen zwischen den Proben innerhalb und außerhalb der Waschanlage keine signifikanten Unterschiede. Das gleiche gilt für den Vergleich der Proben außerhalb der Anlage vor und nach einer Wäsche. Der abgetrennte Feststoffanteil liegt jeweils zwischen 0,14 und 0,18 g/l.

Eine Auswirkung der Bootswäsche auf das Wasser außerhalb der Waschanlage ist aus diesen Ergebnissen nicht zu erkennen, was einerseits daran liegt, dass bei einer einzigen Bootswäsche eines nicht besonders stark bewachsenen Bootes nicht viel Biomasse anfällt, und andererseits an der Partikelseparation durch Filtration des Waschwassers.

Die insgesamt durch Filtration an der vor Ort installierten Filteranlage abgetrennte Trockenmasse während jeweils einer Bootswäsche zeigt Tab. 4.4.4-1:.

Tabelle 4.4.4-1 Abgetrennte Trockenmasse durch Anlagenfiltration vor Ort

Wäsche	$m_{TS,A}^*$
	[g]
Boot1	91,74
Boot2	44,73
Boot3	57,94

Es wird deutlich, dass fast das Doppelte an Feststoff bei der ersten Wäsche abgetrennt werden konnte im Vergleich zu den beiden anderen Wäschen. Das liegt vermutlich an unterschiedlicher Bewuchsmenge je Boot. Andererseits ist zu erwähnen, dass bei den Wäschen zwei und drei nur noch 2 Filterbecken zur Verfügung standen, da ein Becken gestohlen wurde. Zwar wurden die Absaugleitungen des fehlenden Beckens mit auf die vorhandenen Becken gelegt, jedoch waren diese für solche Wassermengen nicht ausgelegt und liefen etwas über. Dadurch konnte ein augenscheinlich eher kleiner Teil des abgesaugten Wassers nicht über die Filtermatten laufen, so dass auch darin diese Unterschiede ihre Ursache haben können.

Im Vergleich zu den Testplatten-Untersuchungen (s. Tab. 4.3.3-1) sind auch bei Boot 1 deutlich weniger Feststoffe abgetrennt worden als die Plattenwäschen ergaben. Das wird auf geringeren Bewuchs der Boote im Vergleich zu den Testplatten und auf den Wasseraustausch mit der Umgebung bei der Waschanlage zurückgeführt.

Die Bestimmung von Gesamtphosphor in den gleichen am Anfang dieses Unterkapitels beschriebenen Proben ergab generell Konzentrationen $< 0,05$ mg/l außerhalb und innerhalb der Anlage.

Die Ergebnisse zum Gesamtstickstoff (Abb. 4.4.4-2 bis 4.4.4-4) sind jeweils für eine Bootswäsche dargestellt, wobei die Werte innerhalb der Anlage als Balken und die Werte außerhalb der Anlage als waagerechte Linien eingetragen sind. Es sind jeweils die Werte für die Proben der Steuerbordseite und der Backbordseite aufgeführt, sowie die vorher/ nachher-Konzentrationen.

Es ist erkennbar, dass sich die erste Bootswäsche in der Höhe der Konzentrationen von den beiden weiteren Wäschen stark unterscheidet. So liegen die Konzentrationen für den Gesamtstickstoff bei der ersten Wäsche zwischen 1,5 und 2,7 mg/l, bei der zweiten Wäsche zwischen 0,7 und 1,5 mg/l und bei der dritten Wäsche zwischen 0,6 und 1,2 mg/l, was auf unterschiedlichen Bewuchs hinweist, wie bereits die Daten zu den abfiltrierbaren Stoffen andeuteten.

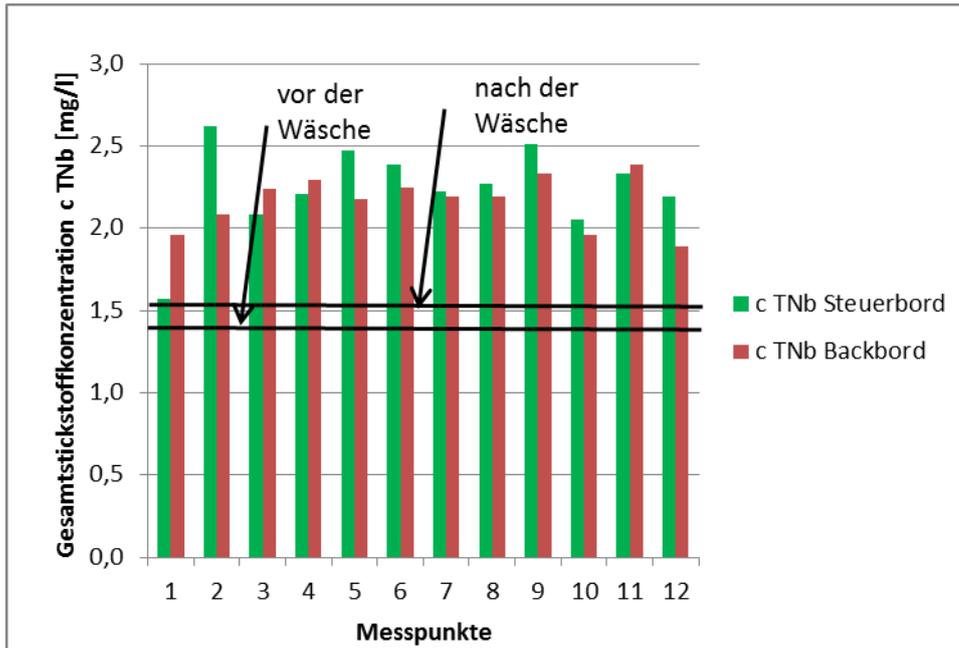


Abb.4.4.4-2 Gesamtstickstoffkonzentration der einzelnen Proben bei der 1. Bootswäsche

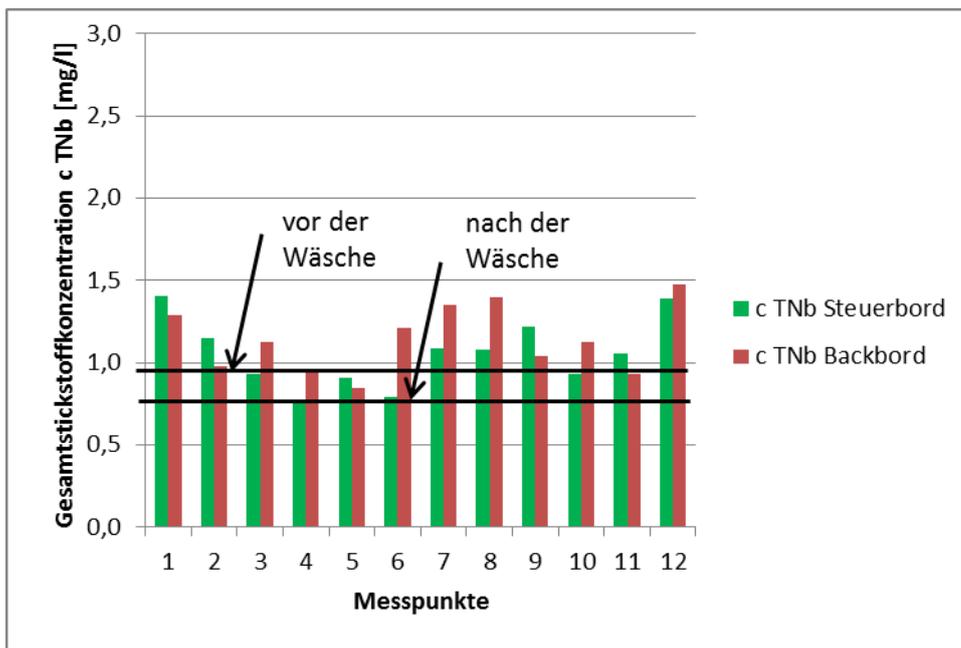


Abb.4.4.4-3 Gesamtstickstoffkonzentration der einzelnen Proben bei der 2. Bootswäsche

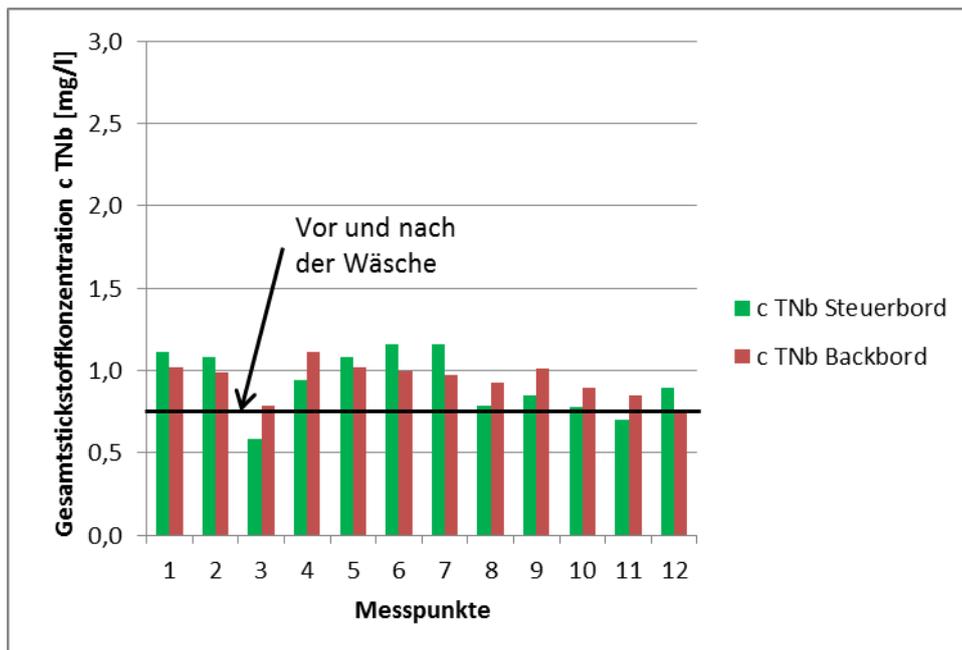


Abb.4.4.4-4 Gesamtstickstoffkonzentration der einzelnen Proben bei der 3.Bootswäsche

Insgesamt zeigen die Messwerte für Boot zwei und drei keine signifikanten Unterschiede zwischen Proben innerhalb und außerhalb der Anlage sowie zwischen den Werten vor und nach der Wäsche außerhalb der Anlage. Lediglich bei Boot 1 liegt innerhalb der Anlage eine leicht höhere Konzentration vor, die aber nicht zu einer signifikanten Erhöhung der Konzentrationen außerhalb führt.

Die Abbildungen Abb.4.4.4-5 bis 4.4.4-7 zeigen die Ergebnisse zur TOC/ DOC- Untersuchung in gleicher Darstellung wie oben. Die TOC-Messungen erfolgten an vliesfiltrierten Proben.

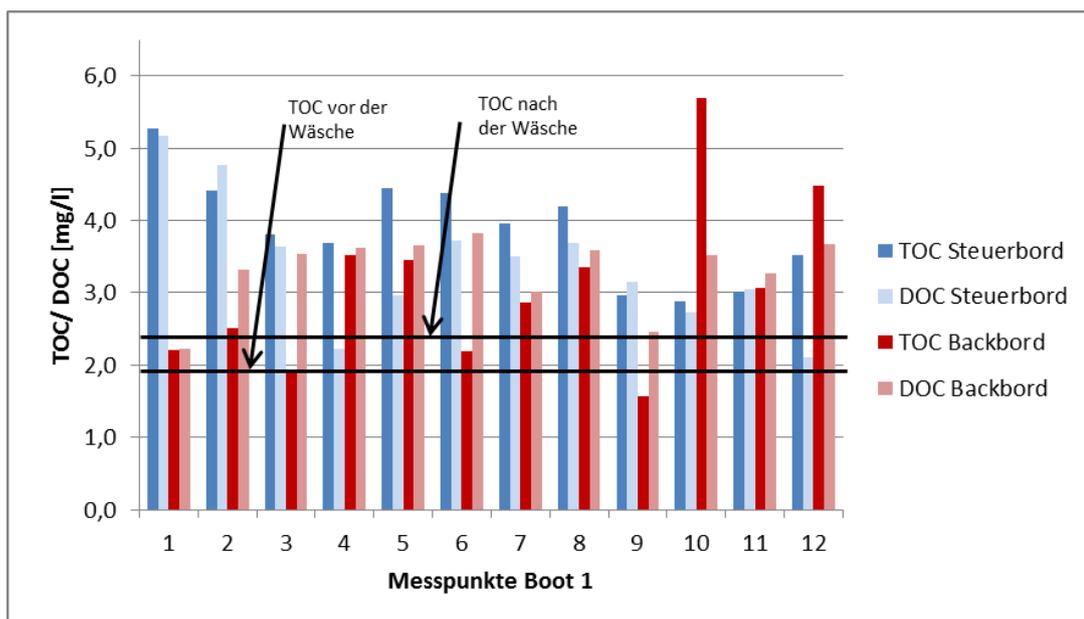


Abb.4.4.4-5 TOC/ DOC-Konzentrationen der einzelnen Proben bei der 1.Bootswäsche

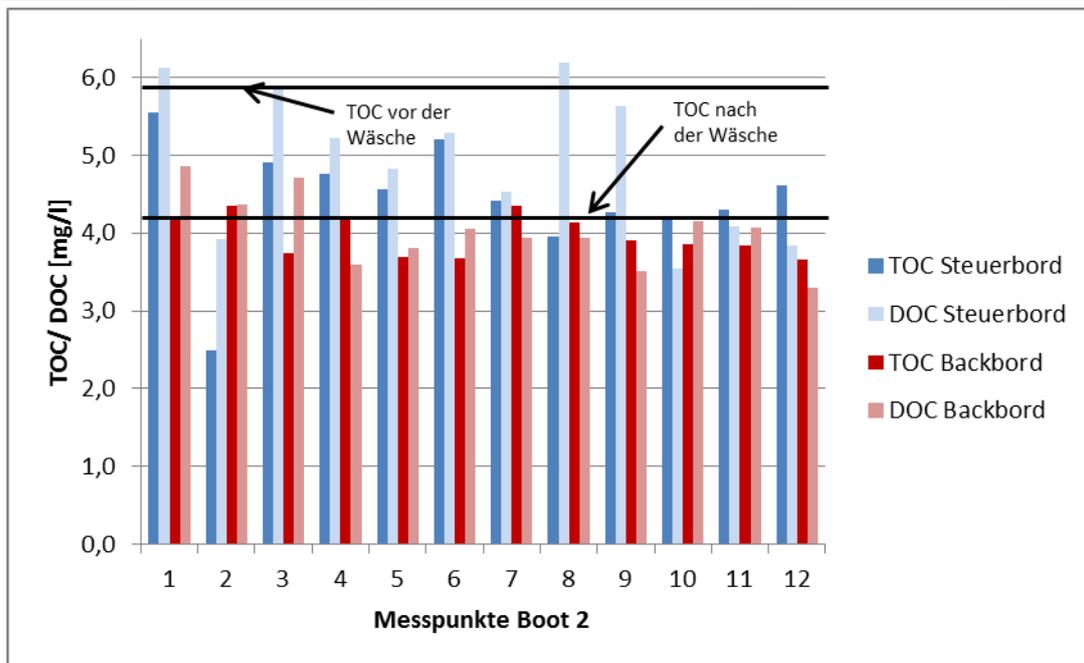


Abb.4.4.4-6 TOC/ DOC-Konzentrationen der einzelnen Proben bei der 2.Bootswäsche

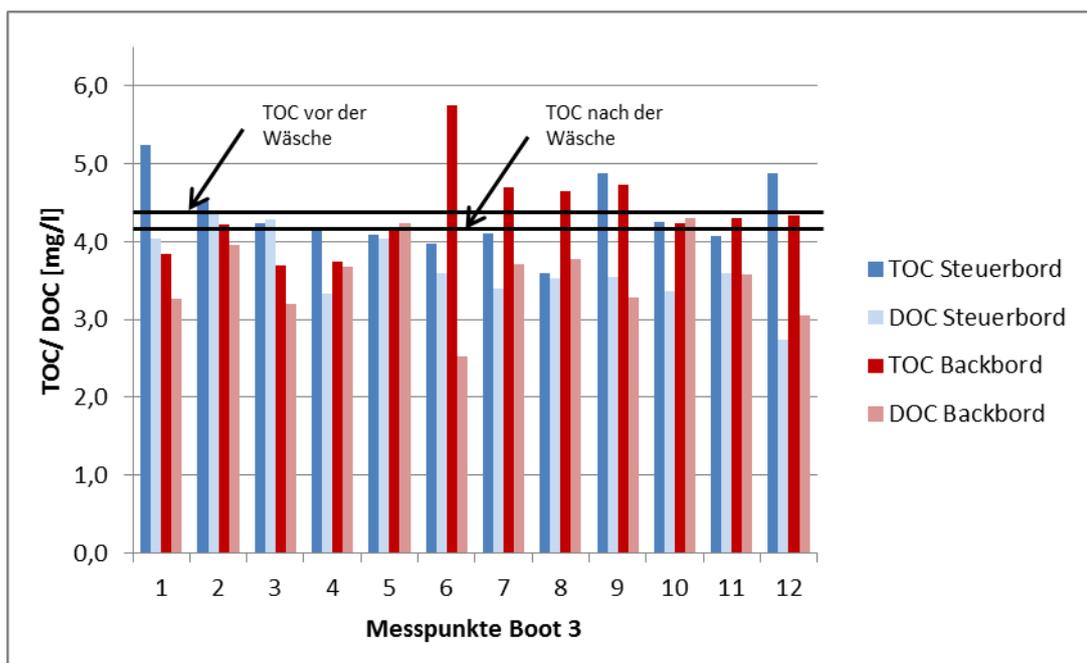


Abb.4.4.4-7 TOC/ DOC-Konzentrationen der einzelnen Proben bei der 3.Bootswäsche

Man erkennt insgesamt niedrige Konzentrationen im Bereich von meist 4 bis 5 mg/L. Unterschiede der Messwerte von weniger als 1 mg/L werden wegen der hier vorliegenden Messungenauigkeit als nicht signifikant gewertet.

Insgesamt bestätigen auch diese Messungen die vorherigen Aussagen, dass kaum Unterschiede zwischen Werten innerhalb und außerhalb der Anlage bestehen und dass nur sehr geringe Änderungen der Konzentrationen außerhalb der Anlage vor und nach einer Wäsche festzustellen sind.

Durch die geringen Unterschiede der TOC-Konzentration zur Konzentration des DOC kann ebenfalls davon ausgegangen werden, dass die organischen Stoffe in den vliesfiltrierten

Proben zum größten Teil gelöst vorliegt und nur in geringem Umfang an Partikel gebunden sind.

Nach den Bootswäschen in der Waschanlage wurden zwei der drei Testboote ausgekrant. Abb. 4.4.4-8 zeigt Aufnahmen vom Unterwasserschiff von Boot 2. Das Boot war 2012 bewachsen, ungereinigt den Winter über trocken gelagert worden und 2013 erneut bewachsen. Neben großen gut gereinigten Bereichen sind auch noch Stellen mit Belagresten zu erkennen.



Abb. 4.4.4-8: Boot 2 nach der Wäsche

Boot 3 wurde bewuchs nur im Jahr 2013 und wurde vor der Wäsche zur Beurteilung des Bewuchses kurz ausgekrant (s. Abb. 4.4.4-9).

Der Zustand nach der Wäsche ist in Abb. 4.4.4-10 abgebildet. Man erkennt große gut gereinigte Unterwasserflächen und Bereiche mit geringen Belagresten.



Abb. 4.4.4-9: Boot 3 vor der Wäsche



Abb. 4.4.4-10: Kiel und Ruderblatt von Boot 3 nach der Wäsche

4.4.5 Fluoreszenz-spektroskopische Untersuchungen

Der vollständige Bericht zu den fluoreszenz-spektroskopischen Untersuchungen ist im Anhang A9 angehängt. Dort wird auch die Methode im Detail beschrieben. Gegenstand dieser Untersuchung war die Frage, ob diese Messmethode geeignet ist, Wasserinhaltsstoffe des Umgebungswassers zu unterscheiden von Stoffen, die durch die Bootswäsche freigesetzt werden und ob damit erfasst werden kann, ob und inwieweit Stoffe aus der Waschanlage in den umgebenden Wasserkörper gelangen.

Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Bootswäsche die chemische Signatur der Wasserinhaltsstoffe verändert wird und damit nachweisbar gelöste Stoffe durch die Waschaktivitäten in das Wasser abgegeben werden.

Es konnte auch gezeigt werden, dass diese Stoffe nach einer Wäsche außerhalb der Anlage gefunden werden, so dass der Wasseraustausch mit der Umgebung nachweisbar ist.

Damit steht eine weitere Methode zur Verfügung, Maßnahmen zur Verringerung des Wasseraustausches zwischen Waschanlage und Umgebung zu erfassen und zu bewerten. Außerdem ist diese Methode geeignet, Veränderungen der Wasserinhaltsstoffe in der Umgebung der Waschanlage auch dann zu erfassen, wenn die klassischen Summenparameter wie z.B. Gesamtstickstoff, Gesamtphosphor oder DOC wegen der Hintergrundkonzentrationen des Wasserkörpers keine signifikanten Unterschiede der Messwerte ergeben.

4.4.6 Betrieb der Waschanlage

Die Waschversuche zeigten, dass die Strömungen innerhalb der Anlage insbesondere an der Einfahrt noch verändert werden sollten, um den Wasseraustausch mit der Umgebung weiter zu verringern.

Die Bewässerung der Bordwandbürsten muss so gestaltet werden, dass auch bei kleinen Booten kein Wasser in das Boot gelangt.

Generell ist auf korrosionsbeständige Bauweise zu achten; insbesondere ist zu vermeiden, dass Öl z.B. aus Hydraulikkomponenten austritt.

Auch die Filteranlage bietet noch Verbesserungsmöglichkeiten, sowohl konstruktiver Art als auch im Hinblick auf ggf. noch weiter gehenden Feststoffrückhalt z.B. für den Betrieb der Anlage in ökologisch sehr sensiblen Gewässern.

5 Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass zumindest im Süßwasser bewachsene Boote mit je nach Standort einer oder wenigen Wäschen pro Saison zuverlässig gereinigt werden können, wenn der untersuchte Bootsack aufgebracht wurde. Die dafür entwickelte Bootswaschanlage hat sich als geeignet erwiesen und es konnte gezeigt werden, dass der Bewuchs zu einem wesentlichen Anteil aus dem Waschwasser abgetrennt werden kann, um ihn an Land zu entsorgen.

Damit sind die wesentlichen Voraussetzungen für weitere Schritte in Richtung Praxiseinsatz komplett Biozid-freier Beschichtungen im Süßwasser gegeben. Diese weiteren Schritte sind jedoch noch notwendig, um einen zuverlässigen Routinebetrieb zu ermöglichen. Dazu

gehören eine konstruktive Überarbeitung der Anlage, um sie korrosionsbeständig und für den Dauerbetrieb zuverlässig bauen zu können. Bei der Überarbeitung sollte dann auch auf geringeres Gewicht, einfache Montage und geringen Wartungsaufwand geachtet werden. Ebenso spielen die Sicherheit vor Beschädigungen oder gegen Diebstahl von Komponenten eine wichtige Rolle.

Ergänzt werden müssen noch Komponenten für den Betrieb wie z.B. für die Erfassung und Abrechnung der Boote und Kunden und die Dokumentation der Boote vor und nach der Reinigung, z.B. mit Kameras, um den Reinigungserfolg zu belegen und Fragen nach der Ursache von Beschädigungen des Bootes klar beantworten zu können.

In Bezug auf die Umweltverträglichkeit stehen noch Informationen über die Gewässerbelastung bei hoher Reinigungsfrequenz aus. Sollten dabei kritische Werte erreicht werden, kann sicher das Filtersystem weiter verbessert werden, jedoch voraussichtlich verbunden mit steigenden Betriebskosten. Denkbar ist auch, das integrierte Filtersystem in eutrophen Gewässern oder verschmutzten Marinas zu nutzen, um in Zeiten ohne Bootswäsche das umgebende Wasser zu reinigen. Dazu müsste dann noch ein automatischer Betrieb ermöglicht werden.

Weitere Untersuchungen sind auch zum Einsatz in Salzwasser erforderlich, da dort Muscheln und Pocken vergleichsweise schnell aufwachsen, die nicht oder nur teilweise durch Bürsten entfernt werden können. Dazu kann neben ggf. anderen Rezepturen für die Beschichtung anderes Bürstenmaterial oder ein darauf abgestimmtes Aufwuchs-Monitoring helfen, den richtigen technischen Ansatz mit dem passenden Reinigungsintervall zu verknüpfen.

Lösungen dafür kommen dann ggf. auch für die Reinigung von Offshore-Anlage in Betracht, wobei sich dann die Reinigungsanlage am stationären Bauteil bewegen muss.

6 Zusammenfassung

Es wurden sowohl Testboote als auch Testplatten mit Biozid-freien Beschichtungen beschichtet, die dann nach Bewuchs gereinigt wurden.

Die entwickelten Beschichtungen erwiesen sich im Rahmen des Tests als geeignet, durch Bürstensysteme gereinigt zu werden, ohne selbst dabei Schaden zu nehmen. Voraussetzung für eine gute Reinigung der Oberflächen ist dabei ein ausreichend kurzer Abstand zwischen zwei Wäschen, der je nach Standort und Wetter im Süßwasser bei einigen Monaten liegen kann, im Salzwasser aber ggf. nur wenige Wochen beträgt.

Das System aus einer Bürstenwäsche und darauf abgestimmten Biozid-freien Beschichtungen ermöglicht daher die Reinigung von Sportbooten, wobei die Beschichtung voraussichtlich mehrere Jahre Standzeit aufweist. Lediglich für die Bürsten nicht zugängliche Bereiche z.B. im Bereich des Antriebs werden nicht erfasst. Ein kompletter Verzicht von Bioziden zumindest im Süßwasser ist damit in der Praxis umsetzbar.

Die Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede bezüglich Auslagerungsort und Sonnenseite oder Schattenseite der Platten. In Salzwasser-der Nordsee (z.B. Norddeich) und Brackwasser (Bremerhaven) ist der Bewuchs eher schlammartig fein mit vereinzelt Pocken und wenigen Algen. Im Salzwasser-der Ostsee wiesen die Platten nach mehreren Wochen festsitzende große Pocken auf, deren Haftflächen per Hand nicht entfernt werden konnten. Am Standort Neustadt kamen im unteren Drittel der Platten auf den Sonnenseiten vermehrt Muscheln hinzu.

Laboruntersuchungen zum Bewuchs der Testplatten ergaben Daten zur Bewuchsmenge, zur Freisetzung von Feststoffen und gelösten Stoffen bei einer Wäsche sowie zur Abtrennung von Feststoffen durch das untersuchte Filtervlies.

Das Rückhaltevermögen der Vliesfiltration betrug im Mittel etwa 80% bei Spitzenwerten bis zu 95%.

Durch die Rückführung des so filtrierte Wassers wurde aus dem Messwerten auf ein Boot mit 30 m² Unterwasserfläche hochgerechnet ein Eintrag in das Wasser von

- 75 bis 341 g Feststoffe mit einem organischen Anteil von 20 bis 80%
- 0,8 bis 5,9 g Phosphor.

Strömungsmessungen an der Waschanlage verbunden mit einer Abschätzung des mit der Umgebung ausgetauschten Wasservolumens ergaben, dass je Wäsche der komplette Inhalt der Waschanlage einmal ausgetauscht wird, was bei der weiteren Optimierung der Anlage verringert werden sollte.

Es wurden drei bewachsene Testboote mit Biozid-freier Beschichtung in der Anlage gewaschen. Die gemessenen Konzentrationen bezüglich suspendierter Feststoffe, Phosphor, Gesamtstickstoff und TOC lassen keine Auswirkung auf das umgebende Gewässer durch die durchgeführten Bootswäsche erkennen.

Es wurde jedoch nur jeweils ein Boot pro Tag gewaschen, die wegen der Bewuchsdauer und des Standortes einen eher geringen Bewuchs aufwiesen. Daher war aufgrund der Messungen an den Testplatten auch keine deutliche Auswirkung auf das bremerhavener Hafenwasser zu erwarten.

Messungen dieser Art sollten daher beim Betrieb einer Anlage mit hoher Zahl an Booten pro Tag und an Standorten mit sehr niedrigen Hintergrundwerten des Umgebungswassers wiederholt werden, um die Auswirkungen eines intensiven Betriebes solcher Anlagen besser bewerten zu können.

Dass eine Auswirkung der Waschanlage auf das Gewässer besteht, konnte mit fluoreszenzspektroskopischen Messungen gezeigt werden.

Insgesamt zeigen die durchgeführten Untersuchungen, dass eine Bewertung von Waschanlagen für Sportboote mit den verwendeten Methoden möglich ist.

Veränderungen der Wasserparameter, die negative Umweltauswirkungen befürchten lassen, konnten bei den durchgeführten Untersuchungen nicht festgestellt werden. Weitere Untersuchungen dazu bei höherem Durchsatz an Booten im realen Betrieb sind jedoch sinnvoll.

Anhang

A1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung	Seite
3.1.3-1 Waschanlage in Serviceposition	7
3.1.3-2 Waschanlage in Betriebsposition	7
3.1.3-3 Waschbürsten in Betrieb	8
3.1.3-4 Probenahmestellen während der Bootswäschen	8
3.1.3-5 Probenahmestellen während des Waschbetriebes	9
3.2-1 Geräteträger mit Testplatten	10
3.2-2 Mobile Plattenwaschanlage	11
3.2-3 Plattenwaschanlage in Betrieb	11
3.2-4 Filterbecken mit Zulaufleitungen nach Testlauf	13
4.2-1 Ergebnisse eines Plattenwaschversuches	15
4.3.1-1 Reinigung einer Platte aus Norddeich (Sonnenseite) im Labor durch Abbürsten.	16
4.3.2-1 Messeinrichtung für absetzbare Stoffe, Platte aus Norddeich	18
4.3.2-2 Absetzbare Stoffe V_{AS} , Vergleich der Standorte und Plattenseiten	19
4.3.2-3 Spezifische Trockenmasse m_{TS} und organische Masse m_{oTS}	20
4.3.2-4 Organischer Anteil m^*_{oTS} der Trockenmasse	20
4.3.2-5 Spezifische Gesamttrockenmasse $m_{TS,Z}$ und durch Vlies zurückgehaltene Trockenmasse m_{TS}	21
4.2.3-6 Rückhaltevermögen Vlies RV	22
4.2.3-7 Spezifische Phosphormasse je m^2 der membranfiltrierten und vliesfiltrierten Proben	22
4.2.3-8 Freigesetzte gelöste organische Stoffe bei der Plattenwäsche	23
4.4.1-1 Strömungsmesspunkte außerhalb um die Anlage (Ansicht von oben, Fahrtrichtung der Boote von rechts nach links)	26
4.4.1-2 Messstellen innerhalb der Anlage, Anlage in Betrieb – ohne Boot	30
4.4.1-3 Messstellen innerhalb der Anlage, Anlage in Betrieb – ohne Boot, Kennzeichnung der Drehrichtung der Bürsten	31
4.4.1-4 Schwerpunkt Ausfahrt	32
4.4.1-5 Schnitt der Ausfahrtsöffnung	33
4.4.1-6 Messstellen am Schwerpunkt Einfahrt und ermittelte Geschwindigkeiten	33
4.4.1-7 Testbootswäsche – Ausfahrt noch geschlossen	34
4.4.1-8 verschiedene Öffnungszustände der Ausfahrt und die dazugehörigen ermittelten Geschwindigkeiten	35

4.4.1-9	Testbootswäsche – Messpunkte an Einfahrt	35
4.4.3-1	Einleitstellen des Filtratrücklaufes	37
4.4.3-2	Position der Absaugpumpen innerhalb der Bootswaschanlage	38
4.4.4-1	durch Vliesfiltration abfiltrierbare Stoffe	40
4.4.4-2	Gesamtstickstoffkonzentration der einzelnen Proben bei der 1.Bootswäsche	42
4.4.4-3	Gesamtstickstoffkonzentration der einzelnen Proben bei der 2.Bootswäsche	42
4.4.4-4	Gesamtstickstoffkonzentration der einzelnen Proben bei der 3.Bootswäsche	43
4.4.4-5	TOC/ DOC-Konzentrationen der einzelnen Proben bei der 1.Bootswäsche	43
4.4.4-6	TOC/ DOC-Konzentrationen der einzelnen Proben bei der 2.Bootswäsche	44
4.4.4-7	TOC/ DOC-Konzentrationen der einzelnen Proben bei der 3.Bootswäsche	44
4.4.4-8	Boot 2 nach der Wäsche	45
4.4.4-9	Boot 3 vor der Wäsche	46
4.4.4-10	Kiel und Ruderblatt von Boot 3 nach der Wäsche	46

A2 Tabellenverzeichnis

Tabelle	Seite	
4.3.2-1	Absetzbare Stoffe abgewaschen in 10 L Waschwasser	19
4.3.3-1	Berechnungen für das mögliche Biomasseaufkommen der untersuchten Boote	25
4.4.1-1	Messwerte der Strömungsmessungen um die Anlage, Anlage außer Betrieb	27
4.4.1-2	Messwerte der Strömungsmessungen um die Anlage, Anlage in Betrieb	28
4.4.1-3	Messwerte der Strömungsmessungen um die Anlage, Anlage außer Betrieb – Wiederholung bei anderer Wetterlage	29
4.4.1-4	Messwerte der Strömungsmessungen um die Anlage, Anlage in Betrieb – Wiederholung bei anderer Wetterlage	29
4.4.1-5	Strömungsgeschwindigkeiten an Ausfahrt in Abhängigkeit von der Drehrichtung der Bordwandbürsten	32
4.4.2-1	Volumenstromberechnung Einfahrt und Ausfahrt	36
4.4.3-1	Strömungsgeschwindigkeiten und die Strömungsrichtung am Filterrücklauf	38
4.4.3-2	Absaugort und Volumenstrom der Pumpen	39
4.4.4-1	Abgetrennte Trockenmasse durch Anlagenfiltration vor Ort	41

A3 Abkürzungen und Symbole

A	Durchströmte Fläche	[m ²]
B	Breite	[m]
c _p	Phosphorkonzentration im Waschwasser/ Labor	[mg/l]
c _{p,A}	Gesamtphosphorkonzentration im Anlagenwasser	[mg/l]
c _{NPOC}	NPOC-Konzentration (Non Purgeable Organic Carbon)	[mg/l]
c _{TNb,A}	Gesamtstickstoffkonzentration im Anlagenwasser	[mg/l]
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf	[mg/l]
DOC	Dissolved Organic Carbon	[mg/l]
H	Höhe	[m]
m [*] _{oTS}	organischer Anteil	[%]
m _{oTS}	organische Masse	[g/m ²]
m _{TS}	Trockenmasse	[g/m ²]
m _{TS,V}	abgetrennte Trockenmasse durch Vliesfiltration	[g/m ²]
m _{TS,V} [*]	abgetrennte Trockenmasse durch Vliesfiltration	[g]
m _{TS,V} ^o	abgetrennte Trockenmasse durch Vliesfiltration	[g/l]
m _{TS,A} [*]	abgetrennte Trockenmasse durch Anlagenfiltration	[g]
m _{TS,Z}	abgetrennte Trockenmasse durch Zentrifugieren/ Gesamttrockenmasse	[g/m ²]
R _v	Rückhaltevermögen Vlies	[%]
T	Tiefe	[m]
t	Zeit	[s]
TOC	Total Organic Carbon	[mg/l]
V	Volumen	[L]
V	Volumenstrom	[m ³ /min]
V _{AS}	Volumen der Absetzbaren Stoffe	[ml/l]
v _{Str}	Strömungsgeschwindigkeit	[m/s]

A4 Literaturverzeichnis

- Janson (2011): Janson, P.: Wasserrechtliche Rahmenbedingungen für die Reinigung von Sportbooten. Vortrag auf dem DBU-Seminar „Unterwasserreinigung von Sportbooten“, Osnabrück, 12.3.2011
- Wohlert (2013): Mündliche Mitteilung der Wohlert Lackfabrik GmbH.

A5 Gefährdungsbeurteilung der verwendeten Beschichtungen

Beurteilung des Gefährdungspotentials von CLEAN-TEC Decklack (Prüf Nr. 64015)

durch: Wohler-Lackfabrik GmbH, Max-Planck-Straße 17, D 27721 Ritterhude, vom 10.09.2013:

CLEAN –Tec 2K-Hybrid-Beschichtung ist ein Zweikomponenten Lacksystem, das nach dem Mechanismus der Polyaddition aushärtet.

Decklack und Stammlack haben zusammen einen Festkörper von 89 Gew %.

Der Gehalt an flüchtigen organischen Komponenten beträgt nach VOC: < 120 g/l, womit das System zu den Ultra-high-solid Beschichtungen einzuklassifizieren ist.

Die Kennzeichnung der beiden Komponenten Stammlack und Härter sind nahezu identisch mit herkömmlichen lösemittelhaltigen 2K-Epoxidbeschichtungen, wobei wir auf den Einsatz von gesundheitsschädlichen aromatischen Kohlenwasserstoffen verzichtet haben.

Nach Aushärtung der beiden Komponenten sehen wir nach heutigem Wissenstand kein umweltrelevantes Gefahrenpotential.

Begründung:

96 % nach Abdunsten des Lösemittels verbleibende Feststoffe gehen eine chemische Reaktion ein und werden somit chemisch in eine unlösliche Matrix umgesetzt. 4% sind Lacktechnische Additive, die im Farbfilm gebunden sind.

A6 Dokumentation der Waschversuche mit mobiler Plattenwaschanlage

Die teilweise angegebenen Bewuchsmassen sind Feuchtgewichte ermittelt durch Differenzwägung vor und nach der Reinigung.

4. Reinigung der ausgelagerten Platten

Auslagerungsort: Bremerhaven

Auslagerung: 15. Juni

Brackwasser

1. Reinigung: 20. Juli

Bewertung: B. Christof

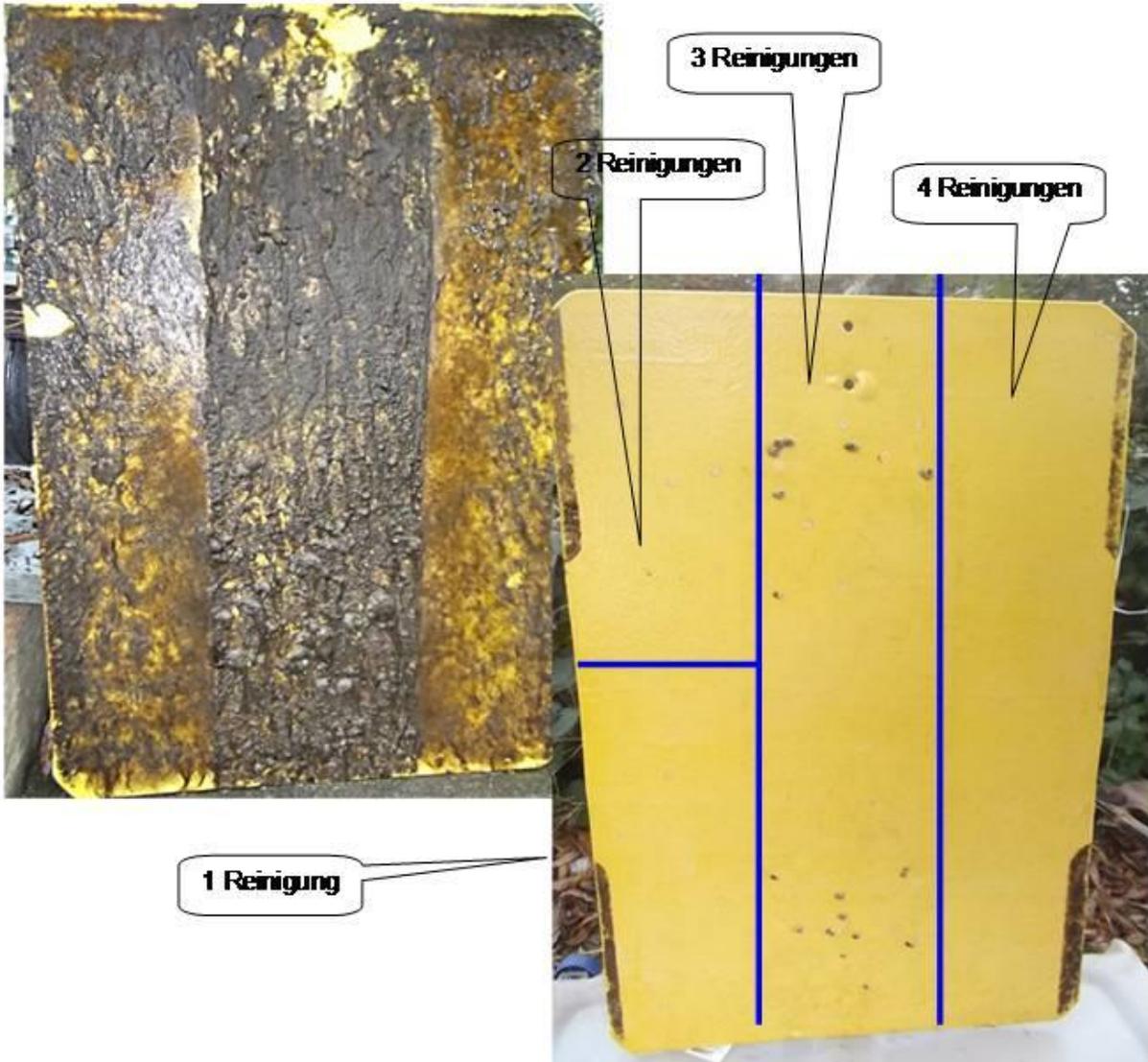
2. Reinigung: 18. August

3. Reinigung: 01. Oktober

4. Reinigung: 02. Nov. mit optimierter Versuchsbürste im Wasser

Ausgangslage – Demoplatte gelb – 2 K-Epoxyd easy clean 64005

Sonnenseite



Schutzvermerk nach DIN ISO 16016; erstellt: Christof, 02.Nov. 2012, letzte Rev 02.Nov. 2012



Projekt:
Umweltfreundliche Waschanlage
für Sportboote
mit Biozid-freien Beschichtungen



3. Reinigung der ausgelagerten Platten

Auslagerung: 15. Juni

1. Reinigung: 18. Juli

2. Reinigung: 28. August

Zwischenauslagerung bei Nordsee Yachting – Bthv.
ungereinigt neu ausgelagert am 30. Sept.

3. Reinigung: 14. Nov.

Auslagerungsort: Cuxhaven

Brackwasser – Weser / Elbe /
Nordsee

durchgeführte Bewertung: Christof

Demoplatte rot – mit 2 K-Epoxyd – Decklack 64006

Sonnenseite

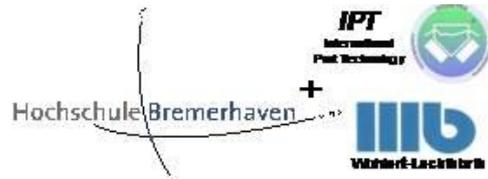


Bei einem durchschnittlichen
Reinigungsintervall
von ca. 6 Wochen war anschließend die Platte
ohne Gebrauchsspuren.

Schutzvermerk nach DIN ISO 16016; erstellt: Christof, 14. Nov. 2012, letzte Rev 14. Nov. 2012



Projekt:
Umweltfreundliche Waschanlage
für Sportboote
mit Biozid-freien Beschichtungen

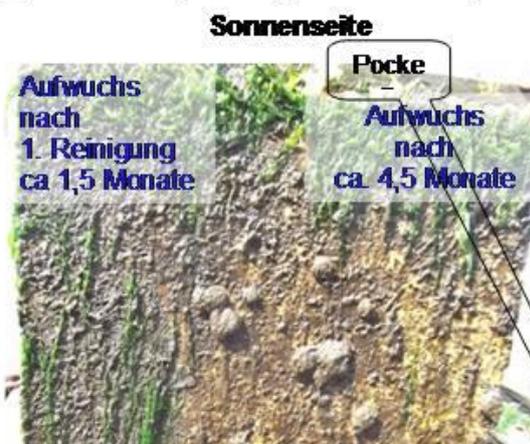


3. Reinigung der ausgelagerten Platten

Auslagerung: 15. Juni
1. Reinigung: 20. Juli
2. Reinigung: 18. August
3. Reinigung: 01. Oktober

Auslagerungsort: Bremerhaven
Brackwasser
durchgeführte Bewertung: Christof

Ausgangslage – Demoplatte gelb – 2 K-Epoxyd easy clean 64005



Aufwuchsmasse nass
 $2 \times 0,35 \text{m}^2 = 600 \text{g}$

Aufwuchs-Typ
Sonnenseite & Schattenseite
leicht anhaftend
einige Pocken

Effizienz der Reinigung
■ optimal = 3



Schutzvermerk nach DIN ISO 16016; erstellt: Christof, 01.Okt. 2012, letzte Rev 01.Okt. 2012



Projekt:
Umweltfreundliche Waschanlage
für Sportboote
mit Biozid-freien Beschichtungen



2. Reinigung der ausgelagerten Platten

Auslagerung: 10. Juni

1. Reinigung: 15. August

2. Reinigung: 15. September

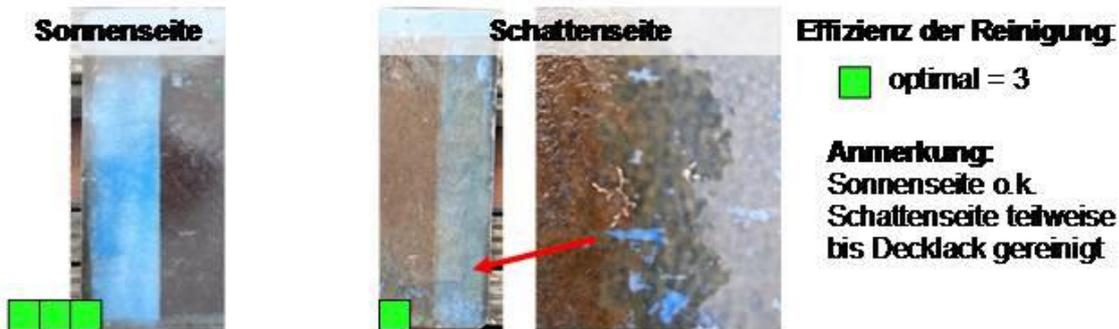
Auslagerungsort: Rünthe-Dortmund

durchgeführte Bewertung: Christof

Ausgangslage – Demoplatte blau – 2 K-Epoxyd – easy clean 64007



2. Reinigung durch Bürste auf Fläche der 1. Reinigung



2. Reinigung durch Bürste auf noch nicht gereinigter Fläche



Schutzvermerk nach DIN ISO 16016; erstellt: Christof, 16.Sept. 2012, letzte Rev. 16.Sept. 2012



Projekt:
Umweltfreundliche Waschanlage
für Sportboote
mit Biozid-freien Beschichtungen



2. Reinigung der ausgelagerten Platten

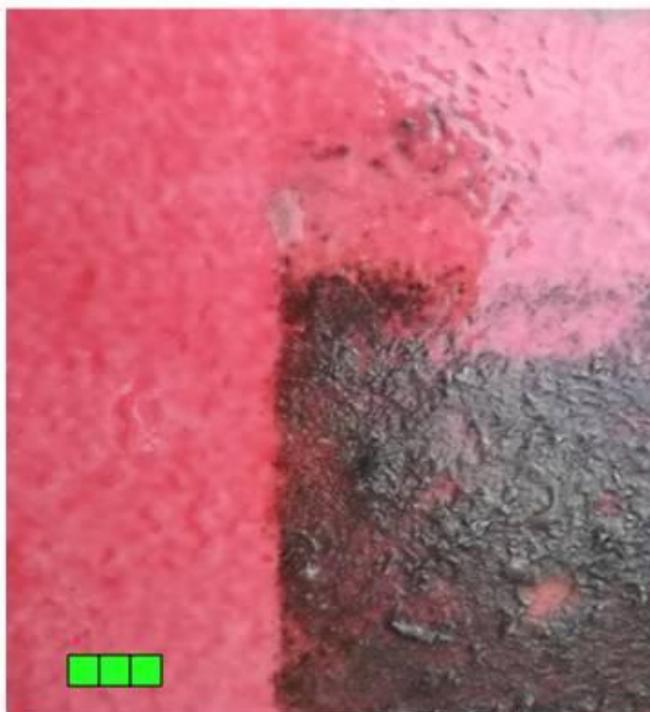
Auslagerung: 12. Juni
1. Reinigung: 10. August
2. Reinigung: 28. September

Auslagerungsort: Norddeich

Salzwasser - Nordsee

durchgeführte Bewertung: Christof

Ausgangslage – Demoplatte rot – 2 K-Epoxyd easy clean 64006



Sonnenseite

2. Reinigung durch
Bürste auf Fläche
der 1. Reinigung

2. Reinigung durch
Bürste auf noch
nicht gereinigter
Fläche

Effizienz der Reinigung:

■ optimal = 3

Anmerkung:
Sonnenseite und
Schattenseite haben
sich ausgezeichnet
reinigen lassen



Projekt:
Umweltfreundliche Waschanlage
für Sportboote
mit Biozid-freien Beschichtungen



2. Reinigung der ausgelagerten Platten

Auslagerung: 04. Juni
1. Reinigung: 26. Juli
2. Reinigung: 10. Oktober

Auslagerungsort: Kiel

Salzwasser - Ostsee

durchgeführte Bewertung: Christof

Ausgangslage – Demoplatte blau - 2 K-Epoxyd easy clean 64007

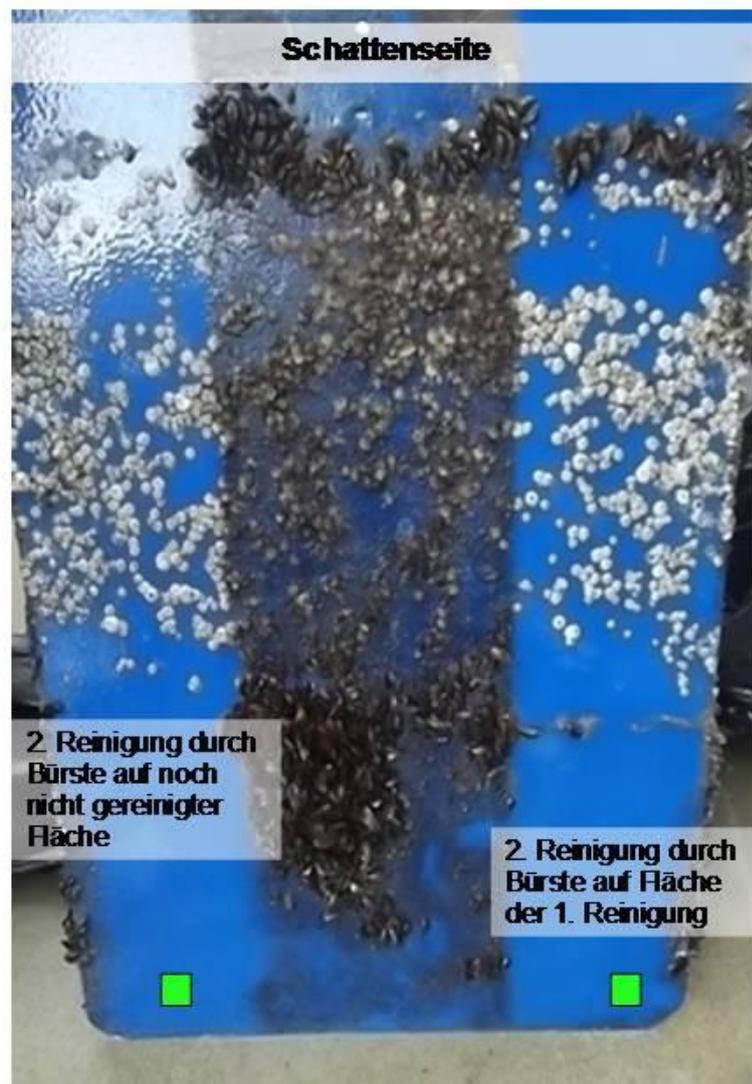
Effizienz der Reinigung:

■ optimal = 3

Anmerkung:

4/5 der Pocken hafteten so stark, dass diese durch Bürsten nicht abgereinigt werden konnten.

Das Zeitfenster von 7 Wochen war zu lang



Schutzvermerk nach DIN ISO 16016; erstellt: Christof; 14. Okt. 2012, letzte Rev. 14. Okt. 2012



Projekt:
Umweltfreundliche Waschanlage
für Sportboote
mit Biozid-freien Beschichtungen



2. Reinigung der ausgelagerten Platten

Auslagerung: 15. Juni
1. Reinigung: 18. Juli
2. Reinigung: 28. August

Aufwuchs auf
1. Reinigung

Auslagerungsort: Cuxhaven
durchgeführte Bewertung: Christof
Datum: 28. August 2012

Ausgangslage – Demoplatte rot – 2 K Epoxid – easy clean 64006



2. Reinigung auf Fläche der 1. Reinigung

Effizienz der Reinigung:
■ optimal = 3



Anmerkung:
An der Sonnenseite sind Schmutzpartikel
eindiffundiert
90% der Pocken wurden abgeputzt
=> nach Optimierung der Bürste 100%
abgeputzt

2. Reinigung auf noch nicht gereinigter Fläche

Anmerkung:
An der Sonnenseite sind Schmutzpartikel
eindiffundiert
90% der Pocken wurden abgeputzt
=> nach Optimierung der Bürste 100%
abgeputzt

2. Reinigung der ausgelagerten Platten

Auslagerung: 10. Juni
1. Reinigung: 04. August
2. Reinigung: 29. September

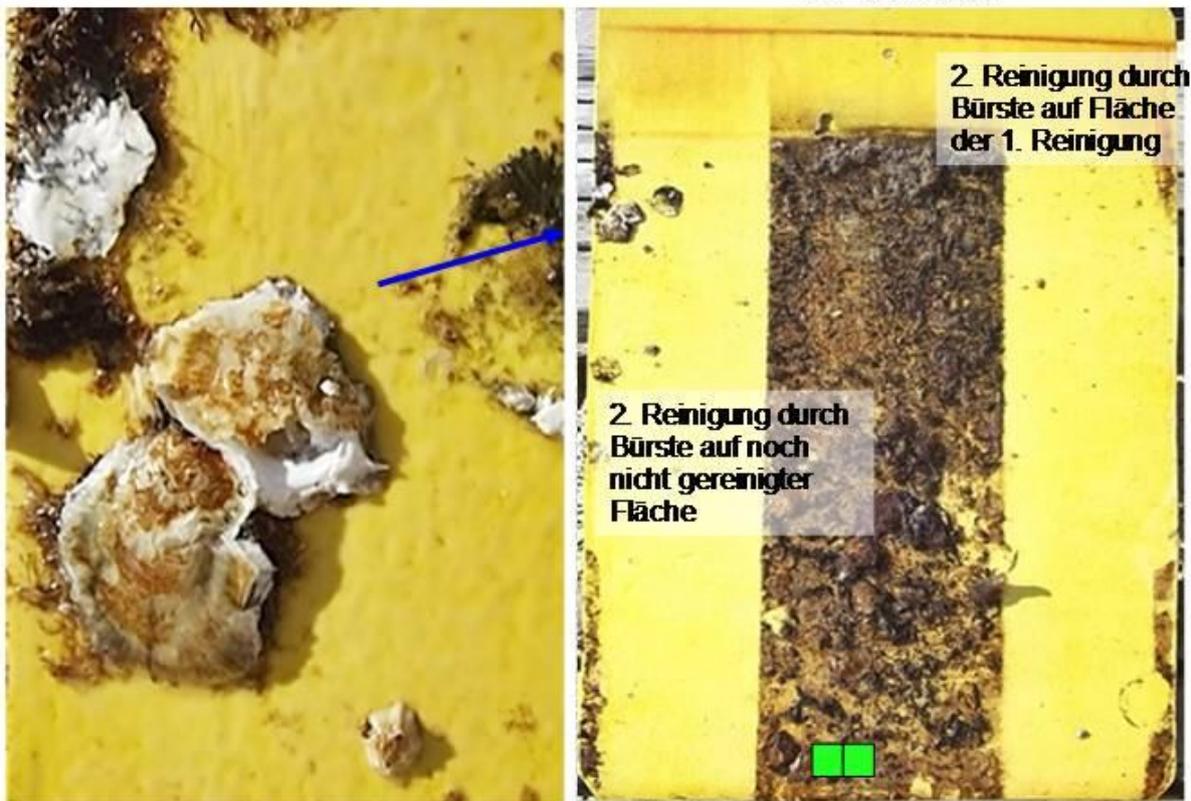
Auslagerungsort: Bruinisse

Salzwasser

durchgeführte Bewertung: Christof

Ausgangslage – Demoplatte gelb - 2 K-Epoxyd easy clean 64005

Schattenseite



Effizienz der Reinigung:

■ optimal = 3

Anmerkung:

Sonnenseite und
Schattenseite haben sich gut reinigen lassen.
Die Muscheln lassen sich mit dem Fingernagel entfernen ⇒
durch optimierte Bürste kann ein Abreinigen möglich sein.



Projekt
Umweltfreundliche Waschanlage
für Sportboote
mit Biozid-freien Beschichtungen



2. Reinigung der ausgelagerten Platten

Auslagerung: 15. Juni

1. Reinigung: 20. Juli

2. Reinigung: 18. August

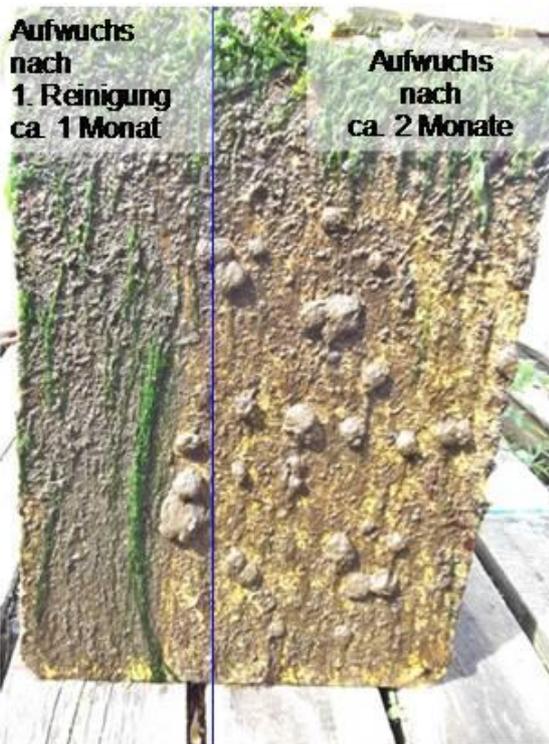
Auslagerungsort: Bremerhaven

Brackwasser

durchgeführte Bewertung: Christof

Ausgangslage – Demoplatte gelb – 2 K-Epoxyd easy clean 64005

Sonnenseite



Sonnenseite



Aufwuchsmasse nass

2*0,35m² = 600g

Aufwuchs-Typ

Sonnenseite & Schattenseite

leicht anhaftend

einige Pocken

Effizienz der Reinigung:

■ optimal = 3

Anmerkung:

Die Reinigung erfolgte noch mit der 1. Bürstengeneration

2. Reinigung der ausgelagerten Platten

Auslagerung: 10. Juni
1. Reinigung: 28. Juli
2. Reinigung: 15. September

Auslagerungsort: Almere
durchgeführte Bewertung: Christof

Ausgangslage – Demoplatte rot – 2 K-Epoxyd easy clean 64006



Sonnenseite



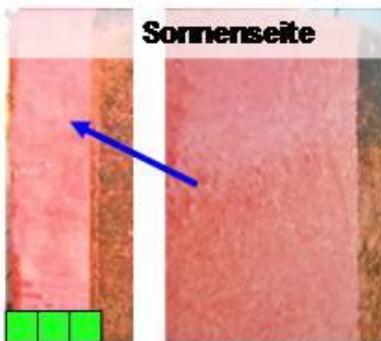
Schattenseite

Aufwuchsmasse nass
 $2 \times 0,35 \text{m}^2 = 80 \text{g}$

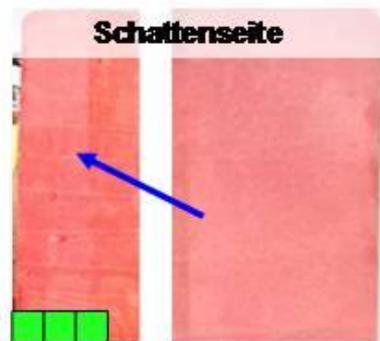
Aufwuchs-Typ

Sonnenseite
feste geschlossene Kruste
Schattenseite
hauptsächlich sanft anhaftend

2. Reinigung durch Bürste auf Fläche der 1. Reinigung



Sonnenseite



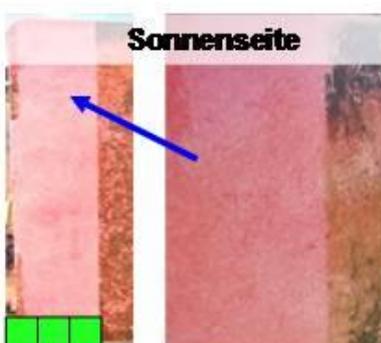
Schattenseite

Effizienz der Reinigung:

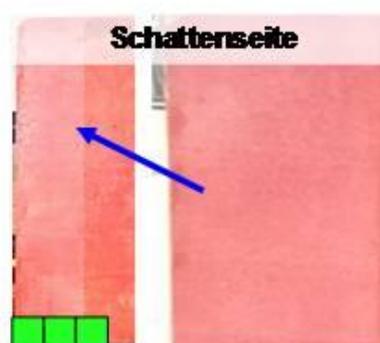
■ optimal = 3

Anmerkung:
Sonnenseite und
Schattenseite haben
sich sehr gut reinigen
lassen

2. Reinigung durch Bürste auf noch nicht gereinigter Fläche



Sonnenseite



Schattenseite

Effizienz der Reinigung:

■ optimal = 3

Anmerkung:
Sonnenseite und
Schattenseite haben
sich sehr gut reinigen
lassen



Projekt:
Umweltfreundliche Waschanlage
für Sportboote
mit Biozid-freien Beschichtungen



1. Reinigung der ausgelagerten Platten

Auslagerungsort: Rünthe

Bewuchszeitraum: 9 Wochen, Auslagerung 10. Juni

durchgeführte Bewertung: Christof
Datum: 05. August 2012

Sonnenseite	Schattenseite	Art der Ablagerung	Effizienz der Reinigung:
		✓ Schmutz	■ optimal = 3
Aufwuchsmasse - nass 2*0,35m ² = 50g			
Anmerkung: An der Sonnenseite wurde der anhaftende Aufwuchs gut abgebürstet. Der Aufwuchs auf der Schattenseite wurde nicht sichtbar gereinigt. Ergebnis => <u>nicht zufriedenstellend</u>			
Anmerkung: An der Sonnenseite wurde der anhaftende Aufwuchs gut abgebürstet. Der Aufwuchs auf der Schattenseite wurde sichtbar gereinigt. Ergebnis => <u>gut</u> Noch anhaftender Schmutz befindet sich in den Rautiefen-Täler			
Anmerkung: An der Sonnenseite wurde der anhaftende Aufwuchs gut abgebürstet. Der Aufwuchs auf der Schattenseite wurde sichtbar gereinigt. Ergebnis => <u>befriedigend</u> Noch anhaftender Schmutz befindet sich in den Rautiefen-Täler			
Anmerkung: An der Sonnenseite wurde der anhaftende Aufwuchs gut abgebürstet. Der Aufwuchs auf der Schattenseite wurde sichtbar gereinigt. Ergebnis => <u>sehr gut</u>			

Schutzvermerk nach DIN ISO 16016; erstellt: Christof, 06. August 2012



Projekt
Umweltfreundliche Waschanlage
für Sportboote
mit Biozid-freien Beschichtungen



1. Reinigung der ausgelagerten Platten

Bewuchszeitraum: 9 Wochen, Auslagerung 4. Juni

Auslagerungsort: Rostock
durchgeführte Bewertung: Christof
Datum: 24. Juli 2012



Art der Ablagerung Effizienz der Reinigung:

✓✓ Schmutz
Muscheln

■ optimal = 3

Aufwuchsmasse

2*0,35m² = 2800g

■ max. Anzahl der Muscheln
auf 100cm² :

■ bis 10 Stk.

Anmerkung:

Die Muscheln hatten sich innerhalb von zwei Wochen gebildet und haften so stark auf der Beschichtung, daß es sogar mit Abspachteln schwierig ist.

Die Reinigungen wurden jeweils 2^x durchgeführt => ohne Erfolg

Laut Aussage von dortigen Bootseignern haftet dieser Aufwuchs (Muscheln) auch auf Anti-Foulingbeschichtungen annähernd in der gleichen Menge.



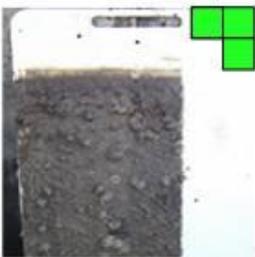
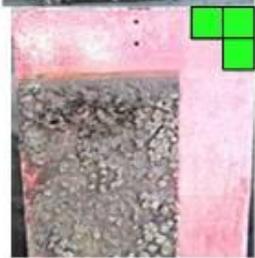
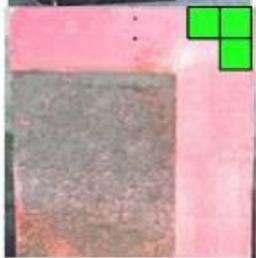
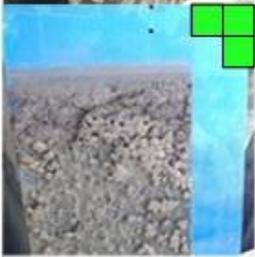
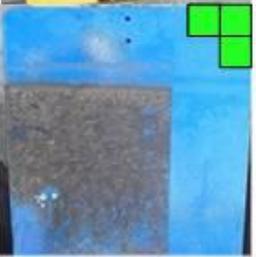
Schutzvermerk nach DIN ISO 16016; erstellt: Christof, 26. Juli 2012

1. Reinigung der ausgelagerten Platten

Bewuchszeitraum: 9 Wochen, Auslagerung 10. Juni

Auslagerungsort: Norddeich

durchgeführte Bewertung: Christof
Datum: 10. August 2012

Sonnenseite		Schattenseite		Art der Ablagerung	Effizienz der Reinigung:
				✓ Schmutz ✓ Lebewesen auf Sonnenseite	■ optimal = 3
2 K Epoxid Referenz				Aufwuchsmasse-nass	
				$2 \cdot 0,35\text{m}^2 = 1400\text{g}$	
				Anmerkung:	
				Der Aufwuchs konnte vollständig an beiden Seiten einfach abgebürstet werden	
					
2 K- Epoxid Easy Clean 64006				Anmerkung:	
				Der Aufwuchs konnte vollständig an beiden Seiten einfach abgebürstet werden	
2 K- Epoxid Easy Clean 64005				Anmerkung:	
				Der Aufwuchs konnte vollständig an beiden Seiten einfach abgebürstet werden	
2 K- Epoxid Easy Clean 64007				Anmerkung:	
				Der Aufwuchs konnte vollständig an beiden Seiten einfach abgebürstet werden	

Schutzvermerk nach DIN ISO 16016; erstellt: Christof, 11. August 2012



Projekt:
Umweltfreundliche Waschanlage
für Sportboote
mit Biozid-freien Beschichtungen



1. Reinigung der ausgelagerten Platten

Bewuchszeitraum: 9 Wochen, Auslagerung 4. Juni

Auslagerungsort: Neustadt

durchgeführte Bewertung: Christof
Datum: 25. Juli 2012

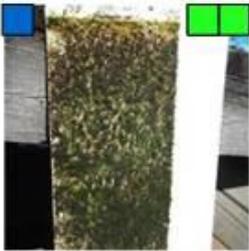
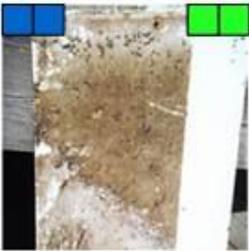
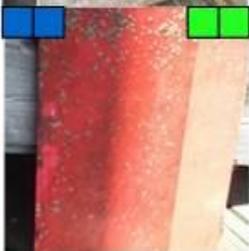
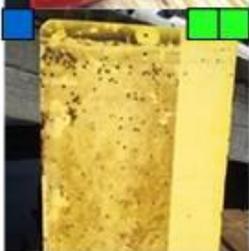
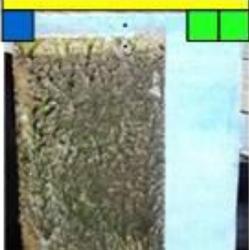
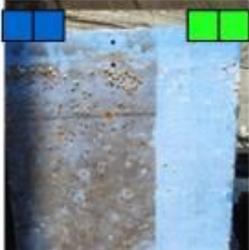
		Art der Ablagerung	Effizienz der Reinigung
		✓ Schmutz ✓ Pocken	■ optimal = 3 max. Anzahl der Pocken auf 100cm ² : ■ bis 10 Stk.
		Aufwuchsmasse 2*0,35m ² = 450g	
Sonnenseite	Schattenseite		
2 K Epoxid Referenz			
2 K- Epoxid Easy Clean 64006			
2 K- Epoxid Easy Clean 64005			
2 K- Epoxid Easy Clean 64007			
		Anmerkung: Die anhaftenden Pocken wurden vollständig weggebürstet, Schmutz auf der Schattenseite ist etwas ein-diffundiert.	
		Anmerkung: Die anhaftenden Pocken wurden vollständig weggebürstet	
		Anmerkung: Die anhaftenden Pocken wurden durch die Reinigung vollständig weggebürstet	
		Anmerkung: Die anhaftenden Pocken wurden durch die Reinigung vollständig weggebürstet	

Schutzvermerk nach DIN ISO 16016; erstellt: Christof, 26. Juli 2012

1. Reinigung der ausgelagerten Platten

Bewuchszeitraum: 9 Wochen, Auslagerung 4. Juni

Auslagerungsort: Lübeck
durchgeführte Bewertung: Christof
Datum: 25. Juli 2012

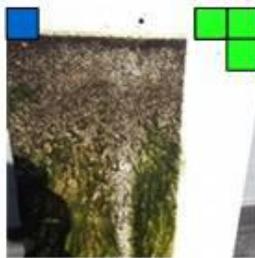
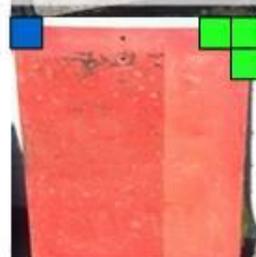
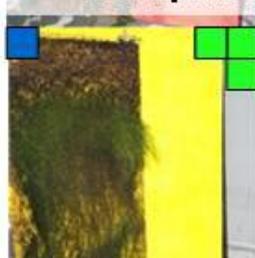
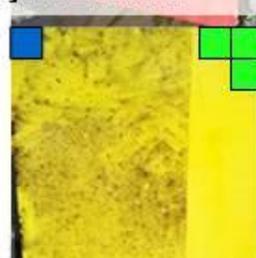
Sonnenseite		Schattenseite		Art der Ablagerung	Effizienz der Reinigung:
				✓ Schmutz ✓ Pocken	■ optimal = 3
2 K Epoxid Referenz				Aufwuchsmasse 2*0,35m ² = 330g	■ max. Anzahl der Pocken auf 100cm ² : ■ bis 10 Stk.
					
2 K- Epoxid Easy Clean 64006					
					
Foto unauffindbar 2 K- Epoxid Easy Clean 64005					
					
2 K- Epoxid Easy Clean 64007					
Anmerkung: Die anhaftenden Pocken wurden durch die Reinigung an der Sonnenseite ca. 98% und an der Schattenseite ca. 95% abgebürstet. Der Schmutz auf der Schattenseite ist etwas eindiffundiert.					
Anmerkung: Die anhaftenden Pocken wurden durch die Reinigung an der Sonnenseite ca. 98% und an der Schattenseite ca. 95% abgebürstet.					
Anmerkung: Die anhaftenden Pocken wurden durch die Reinigung an der Sonnenseite ca. 98% und an der Schattenseite ca. 95% abgebürstet.					

Schutzvermerk nach DIN ISO 16016; erstellt: Christof, 26. Juli 2012

1. Reinigung der ausgelagerten Platten

Bewuchszeitraum: 6 Wochen, Auslagerung 16. Juni

Auslagerungsort: Kiel
durchgeführte Bewertung: Christof
Datum: 26. Juli 2012

		Art der Ablagerung	Effizienz der Reinigung
		✓ Schmutz ✓ Pocken	■ optimal = 3 max. Anzahl der Pocken auf 100cm ² : ■ bis 10 Stk.
		Aufwuchsmasse	
		2*0,35m ² = 850g	
Anmerkung:			
Der Aufwuchs wurde durch die Reinigung vollständig weggebürstet, Schmutz auf der Schattenseite ist etwas ein-diffundiert.			
 <p>Sonnenseite</p>  <p>Schattenseite</p> <p>2 K Epoxid Referenz</p>			
 <p>Sonnenseite</p>  <p>Schattenseite</p> <p>2 K- Epoxid Easy Clean 64006</p>			
 <p>Sonnenseite</p>  <p>Schattenseite</p> <p>2 K- Epoxid Easy Clean 64005</p>			
 <p>Sonnenseite</p>  <p>Schattenseite</p> <p>2 K- Epoxid Easy Clean 64007</p>			
Anmerkung:			
Der Aufwuchs wurde durch die Reinigung vollständig weggebürstet.			

Schutzvermerk nach DIN ISO 16016, erstellt: Christof, 26. Juli 2012



Projekt:
Umweltfreundliche Waschanlage
für Sportboote
mit Biozid-freien Beschichtungen



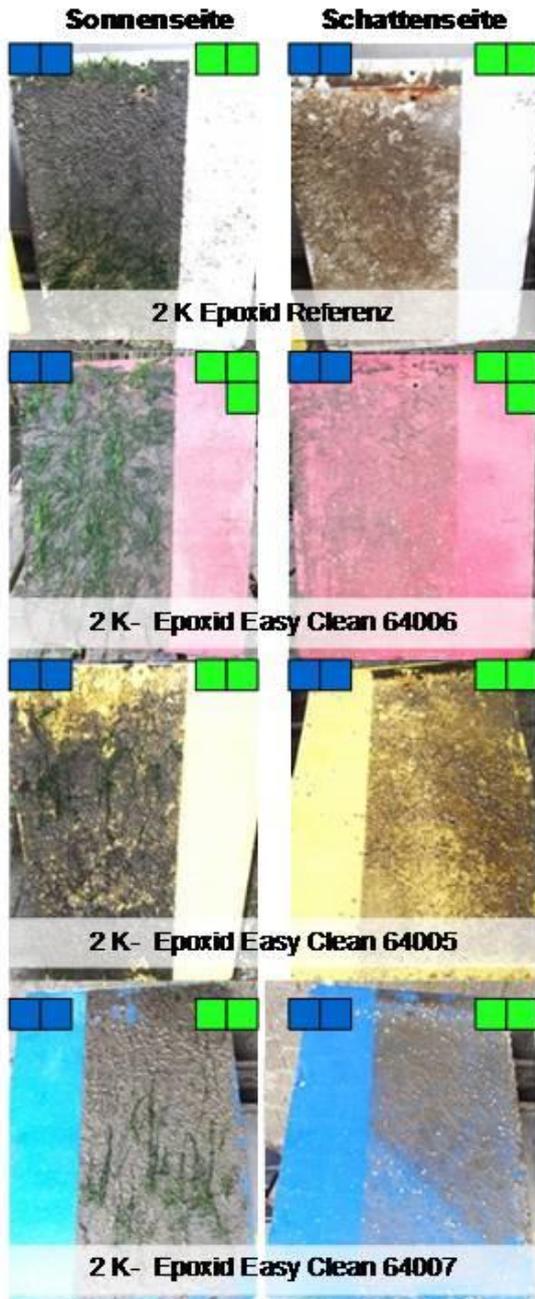
1. Reinigung der ausgelagerten Platten

Bewuchszeitraum: 7 Wochen

Auslagerungsort: Cuxhaven

durchgeführte Bewertung: Christof

Datum: 18. Juli 2012 Wohler



Art der Ablagerung Effizienz der Reinigung:

✓ Schmutz
✓ Pocken
Aufwuchsmasse
 $2 \times 0,35 \text{m}^2 = 550 \text{g}$

■ optimal = 3
max. Anzahl der Pocken
auf 100cm^2 :
■ bis 10 Stk.

Anmerkung:

An der Sonnenseite sind Schmutzpartikel
eindiffundiert

90% der Pocken wurden abgeputzt

⇒ nach Optimierung der Bürste 100% abgeputzt

Anmerkung:

Keine Beanstandung,
alle Pocken wurden abgeputzt

Anmerkung:

90% der Pocken wurden abgeputzt

⇒ nach Optimierung der Bürste 100% abgeputzt

Anmerkung:

95% der Pocken wurden abgeputzt

⇒ nach Optimierung der Bürste 100% abgeputzt

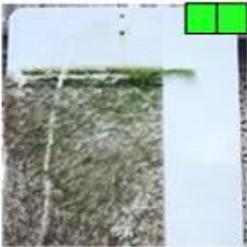
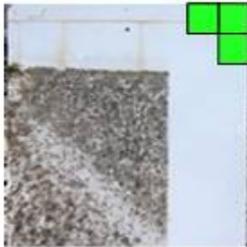
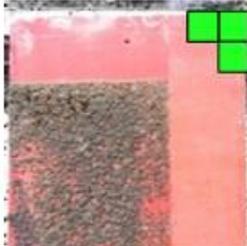
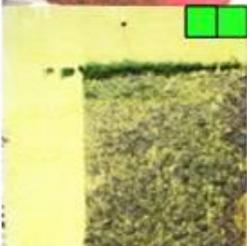
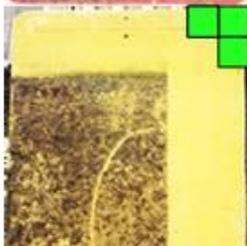
Schutzvermerk nach DIN ISO 16016; erstellt: Christof, 20. Juli 2012

1. Reinigung der ausgelagerten Platten

Auslagerungsort: Bruinisse

Bewuchszeitraum: 9 Wochen, Auslagerung 10. Juni

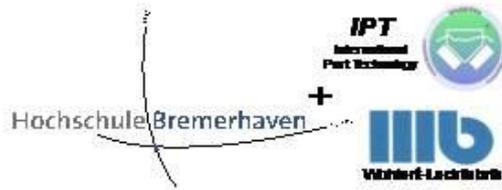
durchgeführte Bewertung: Christof
Datum: 04. August 2012

Sonnenseite	Schattenseite	Art der Ablagerung	Effizienz der Reinigung
		✓ Schmutz	■ optimal = 3
2 K Epoxid Referenz		Aufwuchsmasse - nass 2*0,35m ² = 1100g	
		Anmerkung: An der Sonnenseite wurde der anhaftende Aufwuchs bis auf etwas Algenansatz an der Wasserlinie vollständig abgebürstet. Der Aufwuchs auf der Schattenseite wurde vollständig abgebürstet.	
2 K- Epoxid Easy Clean 64006		Anmerkung: An der Sonnenseite wurde der anhaftende Aufwuchs bis auf etwas Algenansatz an der Wasserlinie vollständig abgebürstet. Der Aufwuchs auf der Schattenseite wurde vollständig abgebürstet.	
		Anmerkung: An der Sonnenseite wurde der anhaftende Aufwuchs bis auf etwas Algenansatz an der Wasserlinie vollständig abgebürstet. Der Aufwuchs auf der Schattenseite wurde vollständig abgebürstet.	
2 K- Epoxid Easy Clean 64005		Anmerkung: Die blaue Demonstrationsplatte wurde beim Rausnehmen aus dem Systemträger „versenkt“ und mittels Taucher nicht mehr auffindbar. Für den nächsten Reinigungsvorgang wurde die blaue Platte durch eine weitere rote Platte ersetzt.	
2 K- Epoxid Easy Clean 64007			

Schutzvermerk nach DIN ISO 16016, erstellt: Christof, 06.August 2012



Projekt
Umweltfreundliche Waschanlage
für Sportboote
mit Biozid-freien Beschichtungen



1. Reinigung der ausgelagerten Platten

Auslagerungsort: Bremerhaven

Bewuchszeitraum: 7 Wochen

durchgeführte Bewertung: Christof
Datum: 20. Juli 2012

Sonnenseite	Schattenseite	Art der Ablagerung	Effizienz der Reinigung:
		✓ Schmutz ✓ Pocken	■ optimal = 3
		Aufwuchsmasse $2 \times 0,35 \text{m}^2 = 600 \text{g}$	max. Anzahl der Pocken auf 100cm^2 : ■ bis 10 Stk.
2 K Epoxid Referenz		Anmerkung: Keine Beanstandung	
		Anmerkung: Keine Beanstandung	
2 K- Epoxid Easy Clean 64006		Anmerkung: Keine Beanstandung	
		Anmerkung: Keine Beanstandung	
2 K- Epoxid Easy Clean 64005		Anmerkung: Keine Beanstandung	
		Anmerkung: Keine Beanstandung	
2 K- Epoxid Easy Clean 64007		Anmerkung: Keine Beanstandung	

Schutzvermerk nach DIN ISO 16016, erstellt: Christof, 20. Juli 2012



Projekt:
Umweltfreundliche Waschanlage
für Sportboote
mit Biozid-freien Beschichtungen

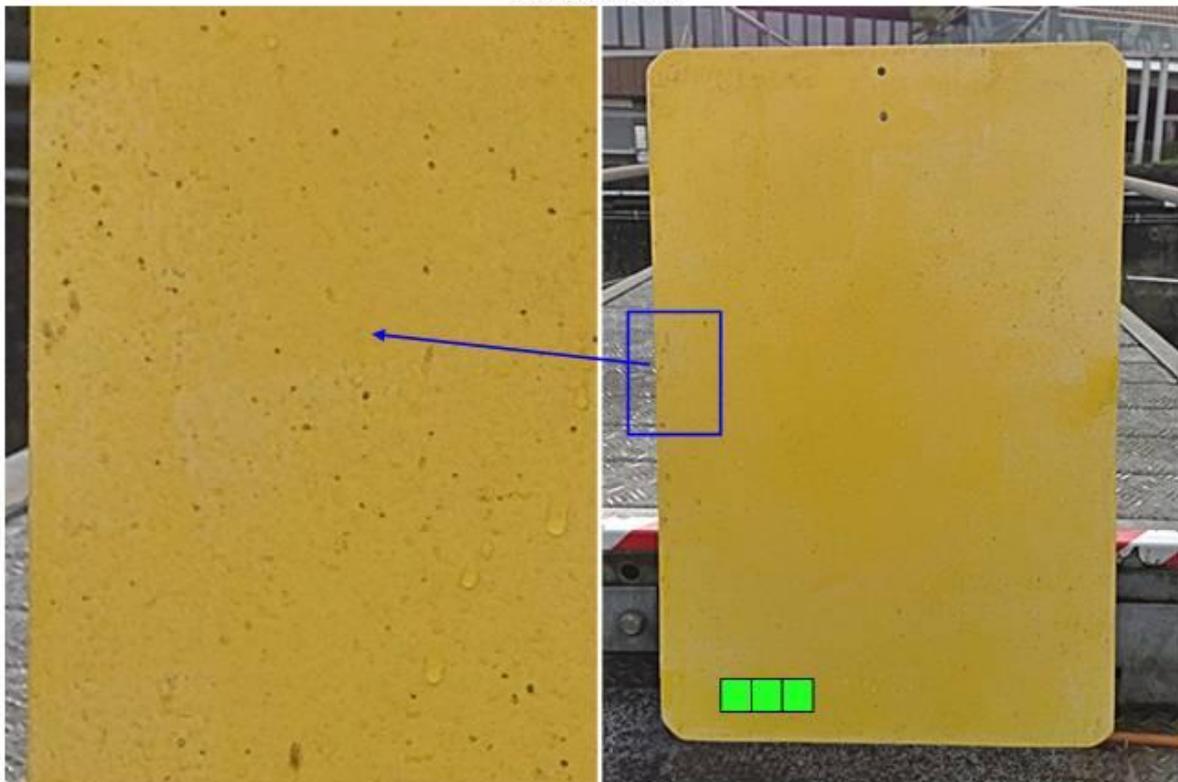


1. Reinigung der ausgelagerten Platten
Auslagerung: 16. Juli
1. Reinigung: 11. Okt. (manuell mit Schrubber im Wasser)

Auslagerungsort: Bregenz
Süßwasser - Bodensee
Reinigung: Jürgen Ederer

Ausgangslage – Demoplatte gelb- 2 K-Epoxid easy clean 64005

Sonnenseite



Effizienz der Reinigung:

■ optimal = 3

Anmerkung:

Sehr gutes Reinigungsergebnis.

Das Zeitfenster zum Reinigen könnte bedenkenlos auf 24 Wochen (6 Monate) vergrößert werden.

Schutzvermerk nach DIN ISO 16016; erstellt: Christof, 14.Okt. 2012, letzte Rev. 14.Okt. 2012

A7 Fotodokumentation Plattenwaschungen im Labor

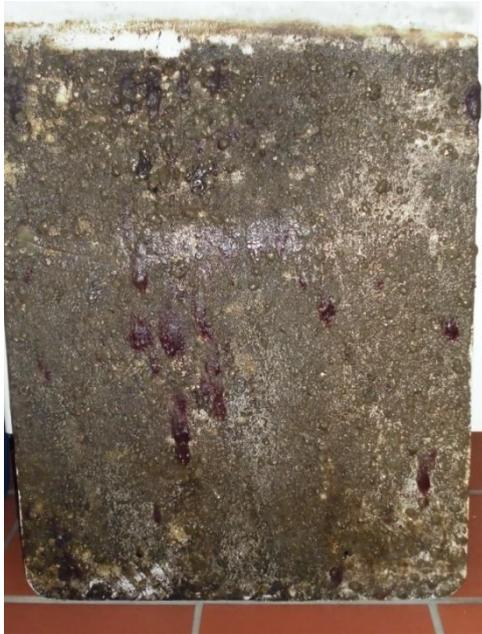


Abb.1: Norddeich-Sonnenseite, weißer Lack



Abb.2: Norddeich-Schattenseite, weißer Lack

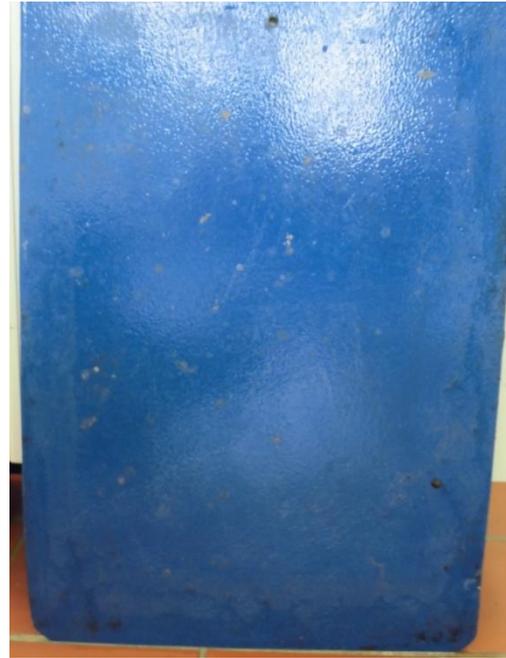


Abb.3: Norddeich-Sonnenseite, blauer Lack



Abb.4: Norddeich-Schattenseite, blauer Lack



Abb.5: Bremerhaven-Sonnenseite, weißer Lack



Abb.6: Bremerhaven-Schattenseite, weißer Lack



Abb.7: Bremerhaven-Sonnenseite, blauer Lack



Abb.8: Bremerhaven-Schattenseite, blauer Lack

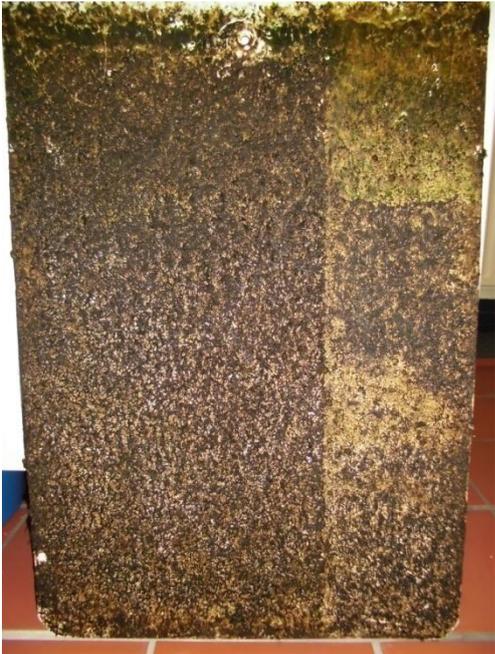


Abb.9: Lübeck-Sonnenseite, weißer Lack



Abb.10: Lübeck-Schattenseite, weißer Lack



Abb.11: Lübeck-Sonnenseite, blauer Lack



Abb.12: Lübeck-Schattenseite, blauer Lack



Abb.13: Neustadt-Sonnseite, weißer Lack



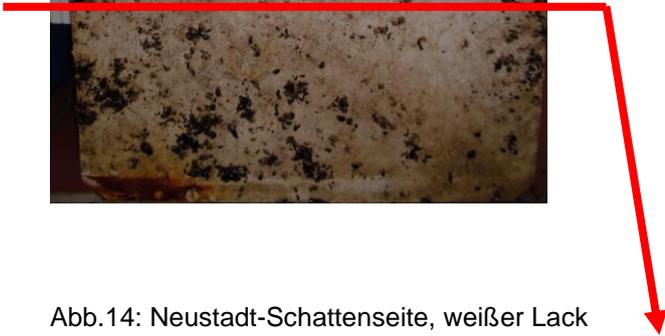


Abb.14: Neustadt-Schattenseite, weißer Lack





Abb.15: Neustadt-Sonnenseite, blauer Lack

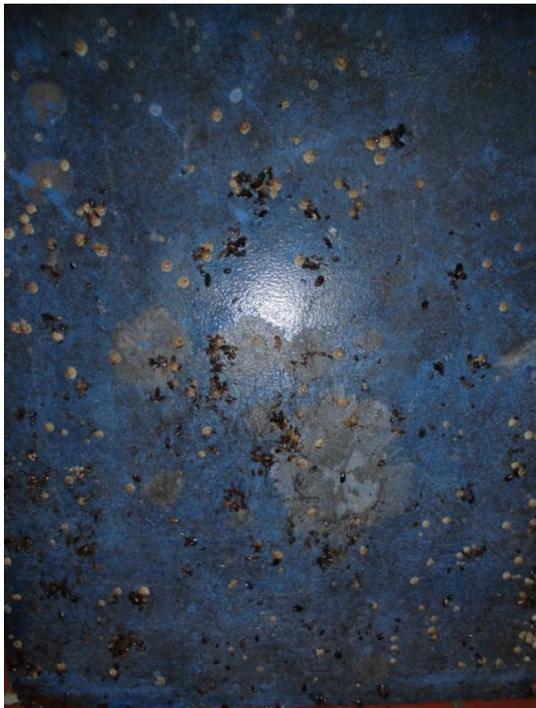


Abb.16: Neustadt-Schattenseite, blauer Lack

A8: Datenblatt Filtervlies

Artikelbezeichnung	Eurofelt EF 100 K1	Prüfvorschrift
Faserzusammensetzung	100 % Polyester	
Verfestigung / Faserorientierung	mechanisch und thermisch	
Gewicht [g/m ²]	100	DIN 53854
Dicke [mm]	1,0	DIN 53855
Dichte [g/cm ³]	--	
Höchstzugkraft längs [N/5cm]	>170	DIN 53857
Höchstzugkraft quer [N/5cm]	>180	DIN 53857
Dehnung längs [%]	24	DIN 53857
Dehnung quer [%]	35	DIN 53857
Luftdurchlässigkeit [l/m ² s]	2.000	DIN 53887
Porengröße [µm]	70	

A9 Bericht über „3-D-Fluoreszenzspektroskopie von Wasserproben“