



University of Applied Sciences

HOCHSCHULE  
EMDEN·LEER

Fachbereich Technik

Fachbereich Technik

Lars Spangemacher, Siegmund R. Fröhlich

Verfahrenstechnische Forschung und  
Entwicklung am Beispiel der stufen-  
weisen Entwicklung, Pilotierung sowie  
Zertifizierung eines Anlagenprototyps  
zur Behandlung von Schiffsballast-  
wässern im Industriemaßstab

Schriftenreihe der Hochschule Emden/Leer, Band 20







Lars Spangemacher, Siegmund R. Fröhlich

Verfahrenstechnische Forschung und  
Entwicklung am Beispiel der stufen-  
weisen Entwicklung, Pilotierung sowie  
Zertifizierung eines Anlagenprototyps  
zur Behandlung von Schiffsballast-  
wässern im Industriemaßstab

Hochschule Emden/Leer  
Emden 2017

# Schriftenreihe der Hochschule Emden/Leer, Band 20

Verlag: Hochschule Emden/Leer  
Druckerei: VON DER SEE, Emden  
Buchbinderei: VON DER SEE, Emden

© 2017  
Hochschule Emden/Leer  
Constantiaplatz 4  
26723 Emden  
E-Mail: [bibliothek.emden@hs-emden-leer.de](mailto:bibliothek.emden@hs-emden-leer.de)

ISBN: 978-3-944262-10-9

**Verfahrenstechnische Forschung und Entwicklung**  
**am Beispiel der stufenweisen Entwicklung, Pilotierung**  
**sowie Zertifizierung eines Anlagenprototyps zur**  
**Behandlung von Schiffsballastwässern**  
**im Industriemaßstab**

M.-Eng. Lars Spangemacher, Prof. Dr. Siegmund R. Fröhlich –  
University of Applied Sciences Emden-Leer, Constantiaplatz 4, D26723 Emden  
Lars.Spangemacher@hs-emden-leer.de  
procesconsult@t-online.de



***Wir sind nicht nur verantwortlich für das was wir tun,  
sondern auch für das was wir nicht tun.***

*Moliere 1622 - 1673*

## **I. Inhaltsverzeichnis**

I. Inhaltsverzeichnis .....	3
II. Abbildungsverzeichnis .....	4
III Tabellenverzeichnis .....	7
1. Einführung / Internationale Rechtsvorschriften.....	8
1.1  Schiffsballastwasser und dessen ökologisches Gefahrenpotential .....	8
1.2  Die International Maritime Organisation - IMO .....	10
1.3  Das internationale IMO-Übereinkommen von 2004 .....	11
1.4  Zertifizierung und Genehmigung von Anlagen .....	12
1.4.1  Kriterien der IMO.....	12
1.4.2  Regulation D-1  Standards für den Ballastwasseraustausch .....	12
1.4.3  Regulation D-2  Ballast Water Performance Standards.....	12
1.4.4  Regulation D-3  Voraussetzungen für die Genehmigung von Ballastwasser- Managementsystemen .....	13
1.4.5  Gültigkeit der IMO-Richtlinien .....	13
IMO-Regulation B-3.....	13
1.4.6  Zusätzliche Kriterien / Kriterien dritter .....	14
1.4.7  Vereinigte Staaten / US Coast Guard - USCG.....	15
1.4.8  Prüf- und Zertifizierungsinstitute für IMO-Zulassung.....	16
1.4.9  Regularien zum Genehmigungsverfahren von Ballastwasser- Behandlungsanlagen.....	17
1.4.10  Zertifikatserteilung.....	17
1.5  Stand der Wirksamkeit von IMO-BW-Richtlinien 2016 .....	19
1.6  Standpunkte der Werften und Reedereien .....	19
1.6.1  Standpunkte der Werften .....	19
1.6.2  Standpunkte der Reedereien .....	20
2 .Stufenweise Verfahrenstechnische Entwicklung und Maßstabsvergrößerung – Scale-up von Anlagen.....	22
3. Entwicklung und Errichtung eines Prototyps zur Behandlung von Schiffsballastwässern im Industriemaßstab .....	23

3.1	Vorstudie zum globalen Markt der Schiffsballastwasser-Behandlung .....	24
3.2	Labor-Vorversuche zur Schiffsballastwasser-Behandlung.....	26
3.3	Technikumsversuche zur Behandlung von Schiffsballastwasser.....	28
3.3.1	Technikumsversuche der mechanischen Separationsstufen .....	29
3.3.2	Technikumsversuche und Entwicklungsstufen der Kavitationsmodule .....	31
3.3.3	Technikumsversuche der Desinfektionsmodule .....	36
3.4	Pilotierung der Schiffsballastwasser-Technologie an Bord eines Versorgungsschiffes im Offshore-Bereich der Deutschen Bucht.....	37
3.5	Validierung der Pilotergebnisse der Schiffsballast-Behandlung durch das Danisk Hydraulisk Institut – DHI – in Horsholm / Dänemark.....	39
3.6	Errichtung einer mobilen Container-Prototypanlage zur Behandlung von Schiffsballastwasser im Industriemaßstab.....	41
3.7	Zertifizierung der Prototypanlage im Rahmen der „Land-based-Tests beim DHI in Horsholm / Dänemark.....	43
3.8	Ship-Approval an Bord eines Schiffes.....	44
4.	Projektfazit und Ausblick .....	45
5.	Quellen- / Literaturverzeichnis .....	46

## **II. Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1:	Festballast einer römischen Trirreme-Kampfgaleere [1] .....	8
Abbildung 2:	Prozess des Ballastens (oberhalb) und Deballastens (unterhalb) [2] .....	9
Abbildung 3:	Nicht einheimische Arten in europäischen Gewässern [3] .....	10
Abbildung 4	Ablauf des Genehmigungsverfahrens von Schiffsballastwasser- Behandlungsanlagen [2; 11] .....	18
Abbildung 5:	Entwicklungskostenverlauf verfahrenstechnischer Anlagen [21] .....	22
Abbildung 6:	Invasion der Zebrauschel in den US-Amerikanischen Gewässern [13] ....	24
Abbildung 7:	Vibrio Cholerae Erreger, die zwei Choleraepidemien von Südamerikanischen Häfen ausgelöst wurden .....	24
Abbildung 8:	Physikalische Vorbehandlung bei Ballastwassersystemen [13].....	25
Abbildung 9:	Desinfektionsmethoden der Ballastwasserbehandlung [13].....	25

## II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 10: Testanordnung zur Filtration und UV-Desinfektion ausgewählter Realmedien [22] .....	26
Abbildung 11: Auswahl getesteter Hydrozyklone, die zur Plankton Separation getestet wurden [14; 22].....	27
Abbildung 12: Labor-UV-Desinfektionsanlage zur Elimination von Bakterien [22] .....	27
Abbildung 13: Realmedienproben bei Mikrobiologischer Untersuchung [15] .....	28
Abbildung 14: Bakteriologische Desinfektionstests mit Agar-Petrischalen [15; 22].....	28
Abbildung 15: Mobiles Pilotmodul für Tests der einzelnen Behandlungsstufen .....	28
Abbildung 16: Gravimetrische Bestimmung des Feststoffgehalts [15] .....	29
Abbildung 17: Laser-Partikel-Sizer zur Partikelgrößenbestimmung [15; 22] .....	29
Abbildung 18: Partikel-Verteilungsspektrum vor der Abtrennung mit Hydrozyklon [15] .....	29
Abbildung 19: Partikel-Verteilungsspektrum nach Abtrennung mit Hydrozyklon [15].....	29
Abbildung 20: Berkefeld Disk-Modul [15].....	30
Abbildung 21: Testvorrichtung mit drei Hydrozyklonen [22] .....	30
Abbildung 22: 50 µm-Patronen-Pilotmodul der Fa. Hydac [22] .....	30
Abbildung 23: CAD-Modell eines Großzyklons für 125 m <sup>3</sup> /h Durchsatz .....	31
Abbildung 24: Im Hochschul-Aninstitut T-Pool gefertigter 125 m <sup>3</sup> /h-Großzyklon [22] .....	31
Abbildung 25: Das Kavitations-Prinzip [18].....	31
Abbildung 26: Kavitationsprüfstand der TU Kaiserslautern [18] .....	31
Abbildung 27: Blasenbildung hinter Kavitationsdüse / Versuchsstand TU Kaiserslautern [18].....	32
Abbildung 28: Simulierte Kavitationseffekte im Wasser bei 28 und 40 kHz Schallfrequenz [20].....	32
Abbildung 29: Ultraschall-Testzelle zur Verifikation der modellmäßig simulierten Schallausbreitung der in Abbildung 28 dargestellten Ergebnisse [22] .....	33
Abbildung 30: Erster Ultraschall-Testreaktor [22].....	33
Abbildung 31: Zweiter Ultraschall-Testreaktor [22].....	33
Abbildung 32: Simulation der Strömungsverhältnisse des 2. Emden-Ultraschallreaktors [23].....	34
Abbildung 33: 3. Ultraschall-Reaktor-Prototyp [22].....	34
Abbildung 34: Durch Ultraschall zerstörter Urkrebs [22].....	34

Abbildung 35: Durch Ultraschall zerstörtes Daphne-Plankton [22] .....	34
Abbildung 36: Der kompakte oktagonale 4. Hochleistungs-Ultraschallreaktor-Prototyp [22] .....	35
Abbildung 37: 5 m <sup>3</sup> /h-UV-Desinfektionsmodul der Fa. PromAqua [17] .....	36
Abbildung 38: 1,5 m <sup>3</sup> /h Seewasser-Elektrolyse der Fa. Südchemie [17] .....	36
Abbildung 39: Bakterielle Belastung unbehandelten Realmediums [22] .....	36
Abbildung 40: Probenahme Realmedium durch Dipl.-Mikrobiologin Kristina Siers [22] ....	36
Abbildung 41: Mobile Container-Ballastwasser-Pilotanlage an Bord [16] .....	37
Abbildung 42: Route Offshore-Versorger Nathalie [16] .....	37
Abbildung 43: Hydrozyklone, erste Stufe der Ballastwasserbehandlung [16] .....	37
Abbildung 44: UV- u. Elektrolyse-Module (rechts) als zwei Optionen der 2. Behandlungsstufe [16] .....	37
Abbildung 45: Rohballastwasser-Belastung der vier Probenahmeorte an Feststoffe, Gesamtkeimzahlen, E-Coli-Keimen und Enterokokken – Nach IMO D2 [16] .....	38
Abbildung 46: Beispielhafte Ergebnisse von Bord der MV-Nathalie für die Desinfektionsleistung des UV-Moduls und der Seewasser-Elektrolyse [16] .....	38
Abbildung 47: Planktonentnahme aus den Gewässern der Umgebung von Emden durch M.Eng. Lars Spangemacher und Dr. Hauke Buse [17] .....	39
Abbildung 48 + 49: Mikroskopische Untersuchung der Plankton-Elimination durch das DHI-Personalsowie Dr. Buse und Frau Kampen aus der Hochschule Emden [17] ...	40
Abbildung 49: Roh-Aufbau UV-Reaktor, Filter und Piping des 250 m <sup>3</sup> /h Prototyps [22] ...	41
Abbildung 50: Anlage bereits im Container fest eingebaut und lackiert [22] .....	41
Abbildung 51: Softwaretests der Automatisierung und Anlagensteuerung [22] .....	42
Abbildung 52: Anlage am Hafenkai Emden .....	42
Abbildung 53: Hydac-Planktonfilter als 1. Behandlungsstufe [22] .....	42
Abbildung 54: UV-Anlage und Probenahme nach erfolgreicher BW-Reinigung [22] .....	42
Abbildung 55: Vorstellung BW-Anlagensteuerung [22] .....	42
Abbildung 56: Vorstellung der Filterkerzen [22] .....	42
Abbildung 57: Großtechnische DHI-Testanlage in Hundested zur Land-based-Tests und Zertifizierung nach der IMO D2, bzw. G8-Richtlinie [22] .....	43
Abbildung 58: Panorama-Aufnahme der Innenansicht des mobilen Ballastwasser-Prototyps während der Zertifizierungs-Abläufe der Land-based-Tests [22] .....	43

### III Tabellenverzeichnis

Abbildung 59: Das komplette Schiffs-Ballastwasser-Forschungsteam der Hochschule Emden:v.l.n.r. CTA Christine Kampen, Dipl.-Mikrobiol. Krisitna Siers, M.Eng. Vlvart Kapoor – der Masterstudent (vorn), M.Eng. Lars Spangemacher (hinten), Dr. Hauke Buse, und Prof. Dr. Siegmund Richard Fröhlich.....45

### **III Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: D2-IMO-Regulation zur Anforderung an das gereinigte Ballastwasser [2] .....	13
Tabelle 2: Ballastwasser-Richtlinie für Schiffe nach ihrem Baujahr (Stand 2009) [2] .....	14
Tabelle 3: Vergleich der Regularien von US-Staaten und der IMO Resolution [2; 5] .....	15

# 1 Einführung / Internationale Rechtsvorschriften

## 1.1 Schiffsballastwasser und dessen ökologisches Gefahrenpotential

Handelsschiffe, die den größten Beitrag zum globalen Gütertransfer beitragen, müssen stabil und sicher auf den Weltmeeren ihre Fracht transportieren, um bei unterschiedlichen Belastungen und Beladungsvarianten optimal vorwärts zu kommen. Wenn Schiffe ihre Ladung auch teilweise gelöscht haben, müssen sie mit sog. Ballast beschwert werden. Damit erhöht sich deren Tiefgang, der Schwerpunkt wird nach unten verlagert und gibt den Schiffen damit die Möglichkeit, durch flexible Ballastverschiebung ihren Schwerpunkt so zu verlagern, dass auch bei sehr stürmischer See das Schiff stets sicher in Waage gehalten werden kann.

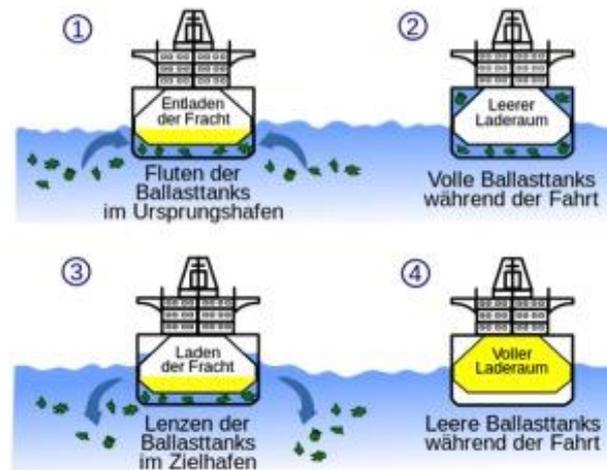
In den Anfängen der Schifffahrt benutzte man zu diesem Zwecke Sandsäcke oder Steine, die unterschiedlich gelagert wurden; es war der sogenannte Festballast (siehe Abb. 1).



**Abbildung 1: Festballast einer römischen Trirreme-Kampfgaleere [1]**

Mit dem Fortschritt der Technik in der modernen Handelsschifffahrt begann man Tanks in die Rümpfe der Schiffe einzubauen. Diese Tanks wurden dann beim Be- oder Entladen des Schiffes mit Wasser aus dem Meer bzw. Hafenbecken befüllt oder entleert, um den Schwerpunkt des Schiffes soweit nach unten zu verlagern und das Schiff zu stabilisieren. Dieses aus der direkten Umgebung des Schiffes aufgenommene Wasser nennt man, seinem Verwendungszweck nach entsprechend, Schiffs-Ballastwasser.

Die Prozesse der Aufnahme (Ballasten) und Abgabe (Deballasten) von Schiffsballastwasser sind schematisch in Abb. 2 dargestellt.



**Abbildung 2: Prozess des Ballastens (oberhalb) und Deballastens (unterhalb) [2]**

Unter dem Begriff „Ballastwasser“ versteht man somit Meerwasser samt seiner Bestandteile, wie: Feststoffe, Schlämme, und Mikroorganismen wie Plankton, Algen, und anderen Lebewesen, die an Bord aufgenommen werden, um die Stabilität des betreffenden Schiffes sicherzustellen.

Die unzähligen Kleinstlebewesen in dem weltweit aufgenommenen Ballastwasser finden oft in den Schiffs-Ballastwassersystemen eine ausreichende Nährbasis, sodass die meisten dieser widerstandsfähigen „Aliens“ in diesen Systemen mehrere Tage bis Wochen überleben können, wodurch sie ungewollt über die globalen Frachtrouten verteilt werden. Wenn diese Spezies nach dem Deballastens in den neuen Gewässern keine Fressfeinde finden, vermehren sie sich übermäßig und werden zur Gefahr der betreffenden marinen Biotope in die sie verbracht werden.

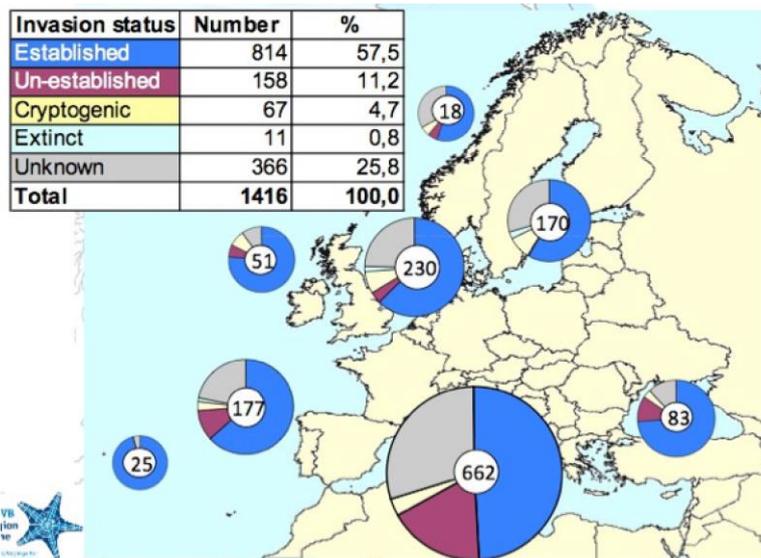
Seit den 80er-Jahren ist durch den rapide zunehmenden Welthandel und die enorm gestiegenen Frachtraten die Einbringung dieser fremden Organismen zum globalen Problem geworden. So kam es in südamerikanischen Gewässern bereits dazu, dass pathogene<sup>1</sup> Choleraerkeime mit dem Ballastwasser von einem Hafen zum nächsten verschleppt wurden und so Epidemien verursacht wurden. In den Deutschland umgebenden Gewässern haben sich auf diese Weise zahlreiche fremde Arten mariner Lebewesen in Nord- und Ostsee angesiedelt.

In Nord- und Ostsee richten z.B. der Schiffsbohrwurm und die Zebrauschel vor allem an den Küstenschutzanlagen, wie Buhnen,<sup>2</sup> hohe Schäden an, indem sie die heimischen Hölzer zerfressen. Ebenso breitet sich die Pazifische Auster vermehrt im gesamten europäischen Wattenmeer aus und verdrängt die hiesige Miesmuschel. Diese Eindringlinge verzehren die dort vorhandene Nahrung und sind Nahrungskonkurrenten der dort indigenen Arten. Dadurch können sich die heimischen Organismen meist nicht mehr schnell genug reproduzieren, wodurch sie Gefahr laufen, auszusterben.

Man schätzt, dass bisher rund 1.500 Arten weltweit der Verschleppung von Fremdorganismen bzw. der Einfuhr von fremden Arten zum Opfer gefallen sind. Allein in Deutschland und den europäisch angrenzenden Gewässern haben sich 814 nicht einheimische Arten etabliert und für sich einen neuen Lebensraum erschlossen (Siehe Abb. 3)

<sup>1</sup> **Pathogenität** ist die grundsätzliche Fähigkeit eines infektiösen Objekts, einen bestimmten Organismus krank zu machen

<sup>2</sup> Eine **Buhne** ist ein im rechten Winkel zum Strandverlauf in das Meer vorgebautes oder quer zum Ufer eines Flusses errichtetes wand- oder dammartiges Bauwerk, das dem Küstenschutz bzw. dem Flussbau dient.



**Abbildung 3: Nicht einheimische Arten in europäischen Gewässern [3]**

Die gesamten volkswirtschaftlichen und ökologischen Kosten der Schäden, die durch die eingeschleppten Organismen hervorgerufen werden, können jedoch nur in wenigen Fällen in Zahlen ausgedrückt werden und werden selten in einem direkten Zusammenhang mit dem Einbringen von Schiffsballastwasser in die Ökosysteme gesehen.

## 1.2 Die International Maritime Organisation - IMO

Die International Maritime Organisation – IMO mit Hauptsitz London wurde gegründet, um Sicherheit auf See zu gewährleisten sowie allgemeingültige verbindliche Sicherheitsvorschriften und Standards zu erlassen. Die Gründung erfolgte 1948 auf der internationalen Konferenz in Genf als **Inter-Governmental Maritime Consultative Organization - IMCO**. 1982 wurde der Name in den bis heute gültigen Namen **IMO** geändert[2]. Die von der IMCO erlassenen Konventionen traten erstmals 1958 in Kraft. Öffentliche Sitzungen der Organisation finden seit 1959 jährlich statt. [4]

Der Grundgedanke der Organisation wird von ihr selbst durch den Artikel 1(a) beschrieben als:

"To provide machinery for cooperation among Governments in the field of governmental regulation and practices relating to technical matters of all kinds affecting shipping engaged in international trade; to encourage and facilitate the general adoption of the highest practicable standards in matters concerning maritime safety, efficiency of navigation and prevention and control of marine pollution from ships". [4]

In den Bereich der IMO fallen aber nicht nur die Sicherheit und technisch verbindliche Standards. Sie ist auch zuständig, um Regularien und Richtlinien zu verfassen, um die Verschmutzung der Meere durch die Handelsschifffahrt so gering wie möglich zu halten. Beispielsweise sollen Havarien von Supertankern verhindert und die Aufnahme und Abgabe vom Ballastwasser reglementiert werden. [4]

So entstand 1973 eine verbindliche Richtlinie, die zur Reinhaltung der Meere beitragen sollte. Die „International Convention for the Prevention of Pollution from Ships“ deckt nicht nur Havarie und Unfälle ab, sondern regelt auch, was und welche Betriebsstoffe man weiterhin ins Meer unbehandelt ablassen / verklappen darf, und welche gesondert gelagert und zur fachgerechten Entsorgung an Land gebracht werden müssen. [4]

### **1.3 Das internationale IMO-Übereinkommen von 2004**

Die Aufnahme und Abgabe von Schiffsballastwasser war weltweit umweltrechtlich über einen langen Zeitraum nicht ausreichend geregelt. Die Umweltrelevanz des unkontrollierten Ausbringens von unbehandeltem Schiffsballastwasser war bereits seit Ende der 1970-er Jahre bekannt. Tatsächlich wurde erst im Februar 2004 im Rahmen einer Diplomatischen Konferenz in Genf von der IMO das erste „Ballastwasser-Übereinkommen“ (Im Original „International Convention for the Control and Management of Ships Ballast Water and Sediments“ / Internationales Übereinkommen von 2004 zur Überwachung und Behandlung von Ballastwasser und Sedimenten von Schiffen) verabschiedet. [2]

Dieses Abkommen unterteilt sich in die Abschnitte D-1 und D-2, wobei D-1 den Ballastwasseraustausch, und D-2 die Effektivität der Ballastwasserbehandlung beschreibt.

Die Akzeptanz dieser Verordnung war weltweit insbesondere seitens der Reedereien sehr zögerlich. Das Abkommen sollte innerhalb von 12 Monaten in Kraft treten, wenn mindestens 30 Staaten, deren Handelsflotten insgesamt mindestens 35 Volumenprozent des Bruttoreumgehalts der Handelsflotte der Welt ausmachen, ihre „Ratifikationsurkunde“ bei der IMO als Verwahrer hinterlegt haben (Artikel 18 des Übereinkommens).

Die Konvention forderte anfangs, dass ab 2009, spätestens jedoch ab 2016, ein Ballastwasser-Management etabliert und durchgesetzt wird, das weitgehend auf den bisher üblichen unkontrollierten Wasseraustausch bei Aufnahme und Ablassen von Ballastwasser verzichtet. Diese niedrige und auch immer noch nicht vollständig vorhandene Akzeptanz, sowie das zögerliche Beitreten einzelner Staaten zu dem IMO-Abkommen von 2004, führte dazu, dass die Richtlinien sehr lange nicht offiziell ratifiziert wurden. Die Ratifizierung des Übereinkommens soll dann nach dem Beitritt Finnlands im Jahr 2016 schlussendlich im September 2017 erfolgen.

Aufgrund der mangelnden Akzeptanz haben zwischenzeitlich mehrere Dutzend Länder und Nationen, wie die Nord-West-Europäischen als Ganzes, ihre eigenen Richtlinien zur Ballastwasserbehandlung ausgeschrieben, welche sich inhaltlich stark an denen von der IMO geforderten Grenzwerten orientieren, aber unterschiedlichste Ausprägungen haben, wie in etwa ein komplettes Ballastverbot im Panamakanal.

Die IMO-Richtlinien MEPC.174(58) und MEPC.169(57) beinhalten gesetzliche Vorschriften zur Reinhaltung von Ballastwasser im maritimen Bereich. Sie legen verbindliche Grenzwerte, wie den maximalen Anteil an Zooplankton im Wasser fest und sind auf allen Arten und Größen von Schiffen durchweg anwendbar.

Ziel der IMO-Richtlinie ist, das Ballastwasser an Bord eines jeden Schiffes durch zugelassene und zertifizierte Ballastwasser-Behandlungssysteme vor der Wiederabgabe in die Meeresumwelt so zu behandeln, sodass ein in der Konvention vorgeschriebener und für die Umwelt unbedenklicher Standard erreicht wird. Hierdurch soll gewährleistet werden, dass dem Problem der zunehmenden Verschleppung von Arten und Organismen in fremde Lebensräume und der Zerstörung mariner Biotope Einhalt geboten wird.

Zum Zeitpunkt der Verabschiedung des Übereinkommens gab es keine geeigneten Technologien, die in der Lage waren, die strengen Standards zu erfüllen. Nach nun mehr als 10 Jahren intensiver Forschungsarbeit wurden von Forschungsinstituten und Industrieunternehmen weltweit unterschiedliche innovative Systeme und Technologien entwickelt und konstruiert, die bereits das komplexe Genehmigungsverfahren bei der IMO bzw. den nationalen Genehmigungsbehörden durchlaufen haben.

## 1.4 Zertifizierung und Genehmigung von Anlagen

### 1.4.1 Kriterien der IMO

Die Regularien der IMO sind in der Verordnung „Guidelines for Approval of Ballastwater Management Systems“ MEPC.174 (58) von 2004 niedergeschrieben. Die wichtigsten Kriterien daraus sind nachfolgend auszugsweise aufgeführt.

Die Grenzen der von der IMO sind so ausgelegt, dass bei Einhaltung eine Reproduktion von Organismen (nach aktuellem Forschungsstand) nicht mehr möglich ist.

### 1.4.2 Regulation D-1 Standards für den Ballastwasseraustausch

1. Wenn Schiffe ihr Ballastwasser austauschen, müssen sie gemäß der neuen Vereinbarung MEPC.174 (58) garantieren, dass mindestens 95% des kompletten Ballastwasser-Ladevolumens ausgetauscht oder erneuert wird. [2]
2. Schiffe, die ihr Ballastwasser mit der Durchflussmethode austauschen, müssen gewährleisten, dass sie mindestens das dreifache Volumen jedes Ballastwassertanks durch die jeweiligen Tanks pumpen, um Paragraph 1 der Regulation D-1 zu erfüllen. In Ausnahmefällen ist es auch möglich, weniger als das Dreifache des Tankinhaltes durchzuspülen, sofern nachgewiesen werden kann, dass zumindest 95% des Gesamtvolumens an Ballastwasser ausgetauscht wurden. [2]

### 1.4.3 Regulation D-2 Ballast Water Performance Standards

1. Schiffe, die eine Behandlung von Ballastwasser nach dieser Regel durchführen, müssen weniger als zehn lebensfähige Organismen je Kubikmeter mit einer Größe von mindestens 50 Mikrometer und weniger als 10 lebensfähige Organismen je Milliliter mit einer Größe von weniger als 50 Mikrometer und mindestens 10 Mikrometer abgeben. Außerdem darf die Abgaberate der Pilot-Mikroben im Sinne von Absatz 2 die angegebenen Konzentrationen nicht überschreiten. [2]
2. Zu den in der angegebenen Konzentration als für die menschliche Gesundheit unbedenklich geltenden Pilotmikroben gehören die nachstehend genannten:
  - a. Toxigene *Vibrio Cholerae*<sup>3</sup> (O1 und O139) in einer Konzentration von weniger als 1 **cfu**<sup>4</sup> je 100 ml oder von weniger als 1 **cfu** je 1 g Zooplankton (Nassgewicht)
  - b. *Escherichia coli*<sup>5</sup> in einer Konzentration von weniger als 250 cfu je 100 ml
  - c. Darm-Enterokokken<sup>6</sup> in einer Konzentration von weniger als 100 cfu je 100 ml [2]

---

<sup>3</sup>**Vibrio cholerae** ist ein Bakterium aus der Gattung der Vibrionen. Die Spezies umfasst ca. 70 Stämme. Die Zellen sind fakultativ anaerob, d. h. sie können auch ohne Sauerstoff leben.

<sup>4</sup>Die Abkürzung **cfu** steht für *colony forming Unit* oder auf deutsch *Koloniebildende Einheit*

<sup>5</sup>**Escherichia coli** (abgekürzt **E. coli**) ist ein gramnegatives, säurebildendes, stäbchenförmiges Bakterium, das im menschlichen und tierischen Darm vorkommt

<sup>6</sup>**Enterokokken** sind grampositiv und als aerotoleranter anaerober Keim eingestuft.

#### 1.4.4 Regulation D-3 Voraussetzungen für die Genehmigung von Ballastwasser-Managementsystemen

- a. Mit Ausnahme der in Absatz 2 genannten Fälle müssen alle zur Erfüllung dieses Übereinkommens angewandten Systeme zur Behandlung von Ballastwasser von der Verwaltung nach Maßgabe der von der Organisation erstellten Richtlinien genehmigt werden. [2]
- b. Systeme zur Behandlung von Ballastwasser, die zur Erfüllung dieses Übereinkommens aktive Substanzen oder Zubereitungen benutzen, die eine oder mehrere aktive Substanzen enthalten, müssen von der Organisation auf der Grundlage eines von der Organisation ausgearbeiteten Verfahrens genehmigt werden. In diesem Verfahren muss die Genehmigung aktiver Substanzen und der Widerruf einer solchen Genehmigung sowie die vorgeschlagene Anwendungsweise der betreffenden aktiven Substanzen beschrieben sein. Bei Widerruf einer Genehmigung ist die Verwendung der davon betroffenen aktiven Substanz oder Substanzen innerhalb eines Jahres nach dem Widerrufsdatum zu verbieten. [2]
- c. Alle zur Erfüllung dieses Übereinkommens angewandten Systeme zur Behandlung von Ballastwasser müssen in Bezug auf das Schiff, seine Ausrüstung und die Besatzung sicher sein. [2]

**Tabelle 1: D2-IMO-Regulation zur Anforderung an das gereinigte Ballastwasser [2]**

Organism category	Regulation
Plankton, >50 µm in minimum dimension	< 10 cells / m <sup>3</sup>
Plankton, 10-50 µm	< 10 cells / ml
Toxicogenic Vibrio cholera (O1 and O139)	< 1 cfu* / 100 ml or less than 1cfu /g (wet weight)
Escherichia coli	< 250 cfu* / 100 ml
Intestinal Enterococci	< 100 cfu* / 100 ml

#### 1.4.5 Gültigkeit der IMO-Richtlinien

Die schiffseitige Behandlung von Ballastwasser ist ebenfalls in der 2004 erschienen „International Convention for the Control and Management of Ship’s Ballast Water and Sediments“ der **IMO** geregelt. Dort findet sich im Appendix unter Regel B 3 die Vorgabe, wie mit älteren Schiffen verfahren werden soll.

#### **IMO-Regulation B-3**

1. Ein vor 2009 gebautes Schiff müsste (siehe Tab. 2):

- a. Bei einem Ballastwasser-Fassungsvermögen zwischen 1500 und 5000 Kubikmeter (beide Werte eingeschlossen) bis spätestens 2014 eine Behandlung von Ballastwasser

durchführen, die mindestens die in Regel D-1 oder D-2 beschriebene Norm erfüllt. Danach müsste sie mindestens die in Regel D-2 beschriebene Norm erfüllen. [2]

- b. Bei einem Ballastwasser-Fassungsvermögen von weniger als 1500 oder mehr als 5000 Kubikmeter bis spätestens 2016 eine Behandlung von Ballastwasser durchführen, die mindestens die in Regel D-1 oder D-2 beschriebene Norm erfüllt. Danach müsste sie mindestens die in Regel D-2 beschriebene Norm erfüllen. [2]
2. Ein Schiff, auf das Absatz 1 Anwendung findet, müsste jenem Absatz spätestens bei der ersten Zwischenbesichtigung oder Besichtigung zwecks Zeugnisverlängerung – je nach dem, welcher Zeitpunkt früher eintritt – entsprechen, die nach dem Jahrestag der Ablieferung des Schiffes in dem Jahr erfolgt, in dem die auf das Schiff anwendbare Norm zu erfüllen ist.
  3. Ein im Jahre 2009 oder später gebautes Schiff mit einem Ballastwasser-Fassungsvermögen von weniger als 5000 Kubikmeter müsste eine Behandlung von Ballastwasser durchführen, die mindestens die in Regel D-2 beschriebene Norm erfüllt. [2]
  4. Ein im Jahre 2009 oder später, jedoch vor dem Jahr 2012, gebautes Schiff mit einem Ballastwasser-Fassungsvermögen von 5000 Kubikmeter oder mehr müsste eine Behandlung von Ballastwasser nach Ziffer 1.2 durchführen. [2]
  5. Ein im Jahre 2012 oder später gebautes Schiff mit einem Ballastwasser-Fassungsvermögen von 5000 Kubikmeter oder mehr müsste eine Behandlung von Ballastwasser durchführen, die mindestens die in Regel D-2 beschriebene Norm erfüllt. [2]
  6. Diese Regel findet keine Anwendung auf Schiffen, die Ballastwasser an eine Auffanganlage abgeben, bei deren Entwurf die von der Organisation für solche Anlagen erstellten Richtlinien berücksichtigt worden sind. [2]

**Tabelle 2: Ballastwasser-Richtlinie für Schiffe nach ihrem Baujahr (Stand 2009) [2]**

Ballast Cpty (m³)	Build Date	*First Intermediate or Renewal Survey, whichever occurs first, after the anniversary date of delivery in the respective year									
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
< 1,500	< 2009	D-1 or D-2								D-2*	
	in 2009	Note: D-1; D-2 by 2nd Annual but not beyond 31 Dec. 2011 or EIF, whichever is later									
	> 2009	D-2 (at delivery or EIF, whichever is later)									
≥ 1,500 or ≤ 5,000	< 2009	D-1 or D-2						D-2*			
	in 2009	Note: D-1; D-2 by 2nd Annual but not beyond 31 Dec. 2011 or EIF, whichever is later									
	> 2009	D-2 (at delivery or EIF, whichever is later)									
≥ 5,000	< 2012	D-1 or D-2								D-2*	
	≥ 2012	N/A		D-2 (at delivery or EIF, whichever is later)							

#### 1.4.6 Zusätzliche Kriterien / Kriterien dritter

In der Zwischenzeit haben in Ermangelung offiziell verbindlicher Richtlinien, die zwar verabschiedet, aber noch nicht in Kraft getreten sind, mehrere Dutzend Länder weltweit ihre eigenen Resolutionen und Bestimmungen erlassen. Diese entsprechen mindestens den von der

## Einführung / Internationale Rechtsvorschriften

IMO geforderten Bedingungen und sind in aller Regel sogar noch deutlich strenger. Diese Richtlinien traten sofort nach ihrer Verabschiedung in Kraft und forderten teilweise die vollständige Umsetzung der geforderten Ballastwasser-Behandlungskriterien bis Anfang 2016. Einer der striktesten Regularien-Vorreiter waren dabei die Vereinigten Staaten von Amerika.

### **1.4.7 Vereinigte Staaten / US Coast Guard - USCG**

In den Vereinigten Staaten wurde die Ballastwasserbehandlung erstmals 1990 im „Nonindigenous Aquatic Nuisance Preventional Control Act of 1990“ (**NANPCA**) erörtert und verbindlich geregelt. Diese Regelungen wurden nach dem Beschluss durch die **US Coast Guard - USCG** in heimischen Gewässern eingesetzt und überwacht. Da diese Verordnung allerdings keiner fundierten wissenschaftlichen Grundlage gerecht wurde und die Vereinigten Staaten mehrere komplett unterschiedliche Biosphären haben, musste sie nachgebessert werden. [5] Die Biosphären der Atlantik / Pazifikküste unterscheiden sich beispielsweise deutlich von denen in den „Great Lakes“.

So wurde am 8. April 1993 schließlich eine Neuauflage der NANPCA veröffentlicht, die in 33 CFR, Part 151, Subpart-C die Ballastwasserbehandlung für Schiffe regelt, die in US Amerikanischen Gewässern deballasten (siehe Tabelle 3). Diese Regelung galt aber nur, wenn die Schiffe vorher in einer nicht US Handelszone geballastet haben. Nach und nach wurden diese Regularien auch auf alle im Land befahrbaren Seen und Flüsse ausgebreitet und sind mittlerweile flächendeckend über ganz Amerika verbindlich. Unter Implementierung des 1996 erlassenen „National Invasive Species Act“ - **NISA** wurde die letzte derzeit gültige Regel (33 CFR Part 151/46 CFR Part 162) im Mai 2012 verabschiedet und für gültig erklärt. [5; 11; 12]

Dieses Regelwerk beinhaltet erstmals auch die Pflicht, über die Aufnahme und Abgabe von Ballastwasser umfassend Buch zu führen, und darüber jederzeit Nachweis zu führen und auf Anfrage herausgeben zu können. Zuwiderhandlungen stehen gerade in den Vereinigten Staaten unter erheblichen Geldstrafen, die weit in die Hunderttausende Dollar gehen. Diese und auch die vorher genannten Verordnungen gelten für alle Schiffe, die US amerikanische Gewässer befahren, gleich welcher Herkunft und Klasse.

**Tabelle 3: Vergleich der Regularien von US-Staaten und der IMO Resolution [2; 5]**

Organism Size	US Proposed Regulation Phase 1 Standard	US Proposed Regulation Phase 2 Standard	IMO Regulation D-2
> 50µm in min dimension	< 10 viable organisms/m <sup>3</sup>	< 1 viable organisms/100m <sup>3</sup>	< 10 viable organisms/m <sup>3</sup>
≤ 50µ and >10µ in min. dimension	< 10 viable organisms/ml	< 1 viable organisms/100ml	< 10 viable organisms/ml
< 10µm in min. dimension	no limit	< 10 <sup>3</sup> bacteria/100 ml < 10 <sup>4</sup> viruses/100 ml	no limit
Escherichia coli	< 250 cfu/100 ml	< 126 cfu/100 ml	< 250 cfu/100 ml
Intestinal enterococci	< 100 cfu/100 ml	< 33 cfu/100 ml	< 100 cfu/100 ml
Toxicogenic Vibrio cholerae	< 1 cfu/100 ml	< 1 cfu/100 ml	< 1 cfu/100 ml or < 1 cfu/gram wet weight zooplankton samples

### 1.4.8 Prüf- und Zertifizierungsinstitute für IMO-Zulassung

Allein schon wegen der Aktualität des Gesetzesentwurfes und der Aktualität der Problemstellung, dass Ballastwasser überhaupt behandelt werden muss, gibt es weltweit nur eine Handvoll Prüfungsinstitute, die eine Zertifizierung von Ballastwasserbehandlungsanlagen nach IMO-Richtlinien weltweit durchführen.

Um als Prüfungsinstitut zugelassen zu werden, ist eine Genehmigung des Institutes durch die IMO erforderlich, die ihrerseits wieder das Institut prüfen muss, ob es die technischen Möglichkeiten und das Know-how besitzt, um die erforderlichen Tests mit der nötigen Sorgfalt und nach Vorgabe der Richtlinien durchzuführen.

Genehmigung und Testverfahren gestalten sich durch die weltweit herrschende Bürokratie meistens deutlich schwieriger als sie sind, wodurch es teilweise schon zu Engpässen bezüglich der Genehmigung und Überprüfbarkeit von Ballastwasser-Behandlungsanlagen und ihrer Komponenten kam. Ein weiteres Problem stellte die bis 2016 noch nicht durchgeführte Ratifizierung dar, weshalb diverse Länder nach ihren eigens erlassenen Richtlinien zertifizierten.

In Deutschland ist das **Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie - BSH** - zuständig für Maßnahmen zur Verhütung der Verbreitung fremder Organismen durch Schiffe und somit auch für die Zulassung von Ballastwasser-Behandlungssystemen. [6]

Im Juni 2008 erteilte das BSH nach Abschluss eines umfassenden Prüfungs- und Genehmigungsprozesses auf Grundlage speziell durch die IMO erarbeiteter Richtlinien für die Genehmigung von Ballastwasser-Behandlungssystemen **G8-Resolution MEPC.174 (58)** und Richtlinien für das Verfahren zur Genehmigung von Ballastwasser-Behandlungssystemen, die aktive Substanzen einsetzen **G9-Resolution MEPC.169 (57)**). Dabei wurde die weltweit erste Typengenehmigung für ein Ballastwasser-Behandlungssystem, das unter Verwendung von aktiven Substanzen arbeitet, erteilt. [9; 10]

Europaweit ist eine Zertifizierung z.B. in den Niederlanden möglich. In Texel steht eine der europaweit größten Test- und Zertifizierungsanlagen, welche nach IMO Richtlinien geprüft ist und arbeitet. Eine weitere Zertifizierungsanlage befindet sich in Hundested / Dänemark beim Danisk Hydraulisks Institut - **DHI**.

#### **1.4.9 Regularien zum Genehmigungsverfahren von Ballastwasser-Behandlungsanlagen**

Ein Ballastwasser-Managementsystem, das in jeder Hinsicht die Prüfvorschriften für die Genehmigung von Ballastwasser-Behandlungssystemen – siehe **G8-Resolution für Anlagen ohne Chemikalien-Einsatz** MEPC.174(58) erfüllt, kann in Deutschland vom BSH, als zuständige Behörde, für den Einbau an Bord von Schiffen zugelassen werden. Die Zulassung erfolgt in Form eines Zeugnisses über die Typengenehmigung (Type Approval) des Systems vom BSH. [9]

Der Hersteller muss im Rahmen des Typengenehmigungsverfahrens die biologische Wirksamkeit der Anlage durch die Durchführung umfangreicher landseitiger Tests nach den Vorgaben der Regulation G8 (MEPC.123(53)) nachweisen (siehe Abb. 3). Maßgeblich - bei **diesen sog. Land-based-Tests** – ist das Erreichen des D-2-Standards der Ballastwasserkonvention. [9]

Darüber hinaus muss anhand bordseitiger Tests die Leistung des an Bord des Schiffes eingebauten Ballastwasser-Behandlungssystems geprüft und bewertet werden. Dabei ist insbesondere ein reibungsloser Betrieb des Systems an Bord ohne Beeinträchtigung oder Gefährdung der Schiffssicherheit, der Besatzung, der Umwelt und der menschlichen Gesundheit nachzuweisen. [11] Dies ist die zweite Stufe des globalen Genehmigungs- und Zulassungs-Procedere – **das sog. Ship Approval**.

Für ein Ballastwasser-Managementsystem, in dem **aktive Substanzen (Chemikalien)** zum Einsatz kommen, ist zusätzlich das Verfahren zur Genehmigung von Ballastwasser-Behandlungssystemen, die aktive Substanzen einsetzen, durchzuführen nach der **G9- Resolution** MEPC.169 (57)). Hierbei muss im Wesentlichen die Umweltverträglichkeit und Anwendungssicherheit der aktiven Substanz umfassend nachgewiesen werden. [2; 10]

Die Zulassung der aktiven Substanzen gliedert sich in zwei Stufen, der Grundgenehmigung und der endgültigen Genehmigung (Basic Approval und Final Approval). Das Basic Approval berechtigt den Hersteller, die aktive(n) Substanz(en) im Rahmen der Testverfahren für die Typengenehmigungsprüfung einzusetzen. Mit dem Final Approval wird abschließend die Unbedenklichkeit der aktiven Substanzen im Rahmen der Tests bescheinigt. [11]

Über die Zulassung der aktiven Substanz entscheidet das MEPC der IMO auf Grundlage der Empfehlungen der „Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection Ballast Water Working Group (GESAMP-BWWG)“. Der Antrag auf entsprechende Erteilung der Approvals wird durch die Genehmigungsbehörde bzw. die nationalen Behörden in Form einer Submission an MEPC eingereicht. [2]

#### **1.4.10 Zertifikatserteilung**

Nach einem erfolgreichem Absolvieren des Genehmigungsverfahrens wird dieser Vorgang durch das Prüfinstitut an das dem Flaggenstaat eigene Amt für Seeschifffahrt gemeldet, welches wiederum ein von der IMO beglaubigtes Zertifikat ausstellt, das die Wirksamkeit der Anlage in Bezug auf die von der IMO aufgestellten Richtlinien beweist.

In Deutschland wird beispielsweise dieses Zertifikat vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie - BSH - im Namen der IMO ausgestellt werden. [6]

Der schematische Ablauf des Genehmigungsverfahrens von Schiffsballastwasser-Behandlungsanlagen ist nachstehend in Abb. 4 dargestellt.

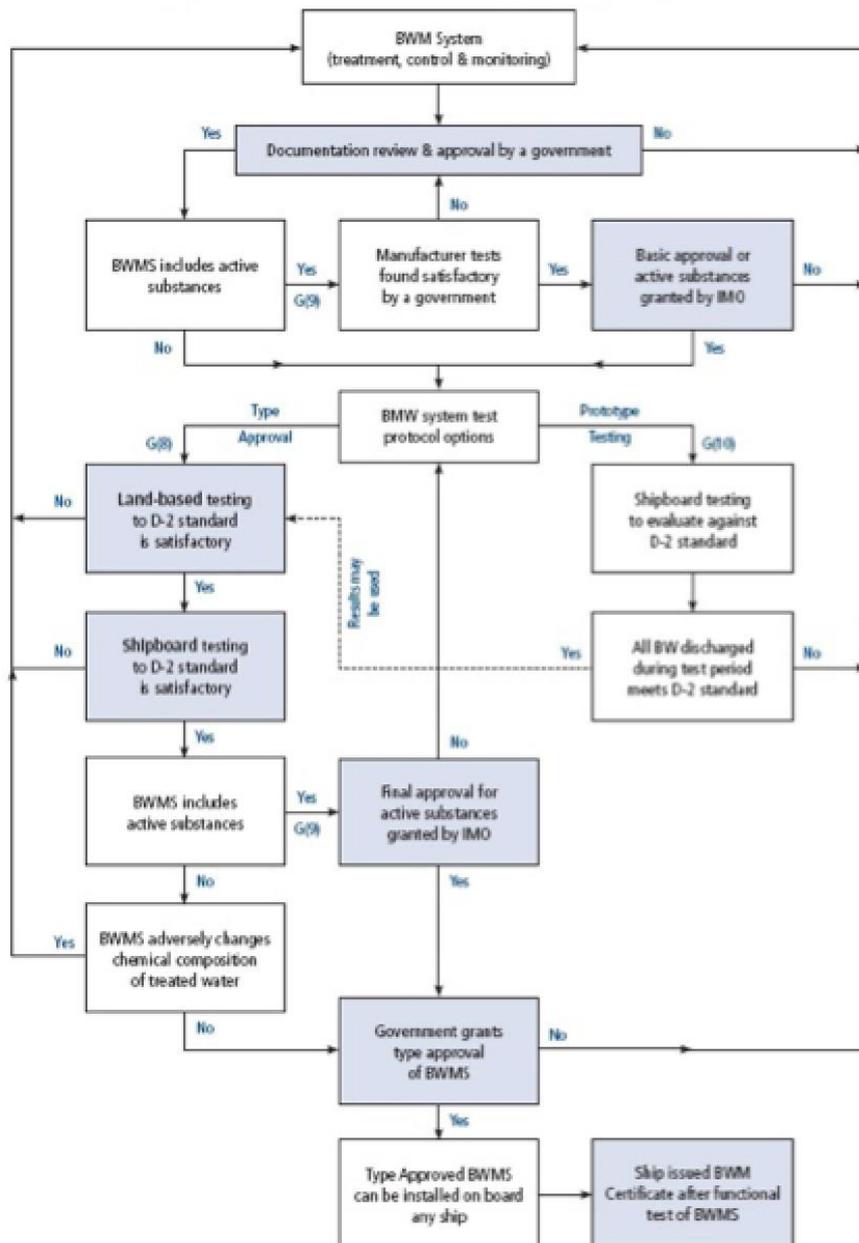


Abbildung 4 Ablauf des Genehmigungsverfahrens von Schiffballastwasser-Behandlungsanlagen [2; 11]

## **1.5 Stand der Wirksamkeit von IMO-BW-Richtlinien 2016**

Durch die weltweite Finanzkrise von 2008/2009 kam es zu einem starken Einbruch im globalen Warentransport. Durch die unsichere und stockende Wirtschaftslage wurden die angestrebten Zeiträume der raschen IMO-Ratifizierung nicht erreicht. Die Ratifizierung und das Inkrafttreten der IMO-Ballastwasserkonvention wurden dadurch mehrfach verschoben.

Insbesondere hat die amerikanische maritime Umweltbehörde US-Coast-Guard im Jahr 2015 für erhebliche Irritationen auf dem Markt der Anbieter von Ballastwasser-Behandlungsanlagen gesorgt, indem sie weitaus schärfere Anforderungen an die Reinhaltung der Ballastwässer erließ (Siehe vorheriges Kap. 1.4.6). Als besonders „pikant“ dabei gilt, dass es in den Vereinigten Staaten bis dahin sowohl keine zugelassenen IMO- oder vergleichbaren Zertifizierungsinstitute als auch keine validierte alternative Analyseverfahren zur Überwachung der Reinigungsleistung von Ballastwasseranlagen gegeben hat.

Da die Transatlantikpassage aufgrund des sehr großen Warentransfers per Schiff zwischen Europa und Amerika einen sehr großen und besonders interessanten Marktanteil für die Hersteller von Ballastwasser-Behandlungsanlagen darstellt, haben die Verschärfungen seitens der US-Coast-Guard-Authorities zu einem Rückzug einiger bereits zertifizierter europäischer Ballastwasseranlagen-Hersteller geführt. Aufgrund der sehr hohen Kosten einer weiteren Entwicklungs- und Zertifizierungsrunde haben viele dieser Hersteller ihre Ballastwasser-Aktivitäten z.T. komplett aus ihrem Portfolio eliminiert. [5]

Aktuell ist aber durch den Beitritt Finnlands am 8. Sept 2016 zum IMO-Abkommen die Voraussetzung für das Wirksamwerden des Übereinkommens erfüllt. Die angestrebten über 35 % Bruttorealinhalt von mindestens 30 Staaten sind trotz zögerlicher Haltung der meisten Schiffseigner und Reeder überschritten worden. Die Ratifizierung des IMO-Abkommens ist nun für den 8. September 2017 terminiert. [2]

## **1.6 Standpunkte der Werften und Reedereien**

### **1.6.1 Standpunkte der Werften**

Die Werften, Umbaubetriebe und Ausrüster, die von je her das kleinste Glied in der globalen Kette der kommerziellen Handelsschifffahrt darstellen, waren bislang sowohl positiv als auch skeptisch bezüglich der Umsetzung der IMO-Richtlinien eingestellt. [19]

Die geplante frühe Ratifizierung bzw. Einführung der IMO D-2 Richtlinie versprach den deutschen Werften zunächst volle Auftragsbücher und eine verbesserte Marktlage. Weit über 90% aller weltweit im Dienst stehenden 70.000 Schiffe, die die Ballastwasseranlagen nachrüsten müssten, haben bislang keine derartigen Anlagen verbaut. Somit ist grundsätzlich der Markt für das sog. Retrofitting (Nachrüstung) enorm groß.

Aber auch der Neubausektor ist in Bezug auf Ballastwasser-Reinigungssysteme ein lukratives Wirtschaftsgebiet, da alle neuen Schiffe ab dem von der IMO geforderten Datum, dem 01.01.2019, zwangsweise mit Ballastwasserbehandlungsanlagen ausgerüstet sein müssen.

Vorsichtig hingegen sind viele Werften aufgrund der nicht global verbindlichen Nachweise der Funktion der Anlagen und der bisher schleppend erfolgenden Ratifizierung. Einerseits müssten sie auf den Markt drängen, um Umbauten anzubieten und durchführen, um Erfahrungen zu sammeln und den Einstieg nicht zu verpassen. Andererseits ist das Verkaufsargument, dass der Umbau unbedingt sein muss, bisher noch nicht rechtskräftig und somit zu „Werbezwecken“ nicht geeignet, da es den Eindruck von unseriösem Verhalten erweckt.

Somit war es für die Werften bislang schwierig, Anlagen überzeugend zu verkaufen, zumal auch die Anpassung an jedes Schiff bzw. jeden Schiffstyp individuell vorgenommen werden muss. Es gibt keine erprobte Standard-Technologie, allein schon, weil die bislang auf dem Markt vorhandenen Anlagentypen und deren spezifische Einbaugrundlagen stark variieren.

Die derzeit unübersichtliche Marktlage und die zahlreich vorhandenen Angebote an diversen, meist verschieden arbeitenden Anlagentechniken, sind ein weiteres Problem für viele Werften. 2016 gab es weltweit über 30 zertifizierte, oder sich in Zertifizierung befindliche Konzepte und Anbieter auf den Markt. Hinzu bietet die Konkurrenz aus Fernost viele Anlagen zu sehr guten Konditionen an, die nicht einfach zu bewerten sind.

Für viele Reeder spielt der wirtschaftliche Aspekt z.T. eine viel größere Rolle als die eigentliche nachweisliche Wirksamkeit der Anlage. Die Werften sind somit teilweise gezwungen, sich mit schlecht dokumentierten und teilweise auch unzureichend konzipierten Budget-Anlagen zu befassen, um diese auf dem europäischen Markt mit anzubieten. Die jeweils übliche Garantie auf den Umbau der Schiffe birgt für die Werften hinzu noch ein hohes Risiko, wenn man sich der Qualität der verbauten Anlagen und ihrer Komponenten nicht sicher sein kann.

Ebenso war das öffentliche Auftreten und Stellungnahmen namhafter Hersteller für viele Werften als eher nachteilig einzustufen. Verkauft und verbaut eine Werft zum Beispiel einen Großteil von Anlagen eines einzelnen Herstellers, so wird dieses schnell publik wodurch die Werft ihre Unabhängigkeit von diesem Ballastwasseranlagen-Hersteller verlieren kann. Dies kann auf lange Sicht dazu führen, dass ein objektiver Standpunkt der Werft im öffentlichen Ansehen nicht mehr gegeben ist, selbst wenn der Einbau dieser Anlage in jedem Fall die beste Wahl gewesen wäre.

Aus diesem Grund, dem Bewahren des unabhängigen und objektiven Standpunktes, vermeiden viele Werften jegliche Zusammenarbeit mit Herstellern, gleich welcher Art.

### **1.6.2 Standpunkte der Reedereien**

Die meisten Reedereien – insbesondere die in der Handelsschifffahrt tätigen – sind sich des Problems der Verschmutzung und Schädigung mariner Biotope, die durch das Verbringen von Ballastwasser verursacht wird, durchaus bewusst. Sie beharren jedoch lieber und scheuen jegliche Form von Veränderung, die im Allgemeinen mit finanziellem Aufwand verbunden ist. [19]

Da die Umrüstung der Schiffe auf die neuen Standards sehr teuer und teilweise ebenfalls technisch sehr schwierig ist, ist die Akzeptanz der Reeder zu diesem Abkommen eher gering. Für die Geschäftswelt und die internationale Handelsschifffahrt bedeutet die Ratifizierung der IMO-Richtlinien vordergründig finanzielle Einbußen. Der damit angestrebte Nutzen und Vorteil für die Umwelt lassen die meisten Konzerne dabei vorsätzlich außer Acht. Rein aus wirtschaftlicher Sicht gesehen haben die Reeder keinerlei Vorteile davon. Zwar lassen sich solche Investitionen über längere Zeiträume abschreiben. Hinzu werden sie teilweise auch von den Eignerstaaten – die wiederum wegen der Öffentlichkeitsarbeit auf den Umweltschutz setzen müssen – bereits subventioniert. Dennoch verursacht der Einbau dieser Anlagen in erster Linie Kosten, die erst erwirtschaftet werden müssen.

Dadurch, dass sich nun mehrere Länder entschlossen haben, die Ballastwasserbehandlung und Abgabe unter eigene Gesetze zu stellen, sehen sich die Reeder aber mehr und mehr dazu verpflichtet, mit der unliebsamen Umrüstung abzufinden. Nichteinhaltung der geforderten Richtlinien würde sonst den Ausschluss aus dem weltweiten Handelsschiffahrtsnetz bedeuten, Anlegeverbot für diverse Häfen ebenso wie empfindliche Geldstrafen von Überwachungsautoritäten wie etwa der IMO. Für die US-amerikanischen Gewässer würde das beispielsweise eine 2,5 Millionen US-Dollar direkte Strafe und einen immensen weiteren wirtschaftlichen Schaden durch die generelle 10-jährige Verbannung aus den US-Gewässern bedeuten.[22]

## Einführung / Internationale Rechtsvorschriften

Der weltweite Druck wächst, und für die Reeder wird es ohnehin immer schwieriger, sich den weltweiten Vorschriften und Begrenzungen zu entziehen, die sich derzeit noch von Staat zu Staat deutlich unterscheiden. De facto haben bereits mehrere hundert Schiffe Ballastwasserbehandlungsanlagen verbaut, die jedoch nicht genutzt werden; ds sind die sog. „Dummy-Anlagen“. Allein die Mitführung einer zertifizierten Anlage ist aus Sicht vieler Reeder derzeit noch ausreichend.

Würden diese Dummy-Anlagen aber regelmäßig betrieben, wäre es endlich möglich, eine breite realistische Datenbasis dieser Testergebnisse zur Wirksamkeit der Ballastwasseranlagen zu erhalten. Da dies momentan aber nur Kosten verursacht und keine Vorteile bringt bzw. noch nicht notwendig ist, sehen die meisten Schiffseigner davon ab. Nach wie vor gibt es weltweit rund 70.000 Schiffe in der Handelsschifffahrt, die einer Umrüstung nach IMO Standards bedürfen.

Große, unabhängige Kreuzfahrtreedereien, wie in etwa Carnival Cruise Lines, betonen nach eigenen Angaben, dass sie sich nicht auf die am Markt gängigen Anlagen und Zertifikate verlassen, da sie diese nach eigener Aussage schlichtweg für unzureichend halten und die meisten am Markt erhältlichen Anlagen ihrer Meinung nach einfach nicht korrekt funktionieren würden. Sie führen eigene Erprobungen und Tests durch und werden auch auf lange Sicht keine Anlage verbauen, die nur den IMO Standard gemäß MEPC.123(53) erfüllt. Als Beweis dazu führen sie die Vorgaben der US-Coast Guard für das Befahren von US-amerikanischen Gewässern an, die strenger sind als die, die von der IMO Resolution geforderten.

Ebenso wird von ihnen generell jede Verwendung von Chemikalien zur Desinfektion abgelehnt, weil es keine verlässlichen Langzeitstudien für Beschädigungen an Tanks oder Rohrleitungen gibt. Ebenso spielen für Carnival die Probleme der Mitführung, dem Einsetzen und Entsorgung dieser Gefahrstoffe eine große Rolle, was sie darin bestärkt, auf zusatzfreie Anlagen zu setzen.

Carnival Cruise Lines hat nach eigenen Angaben den Ballastwasser-Markt bezüglich ihrer eigenen Kriterien analysiert und insgesamt 63 Anlagenkonzepte geprüft, von denen rund 20 in die engere Auswahl kamen, die wiederum nur 3 Anlagen wirklich überstanden haben. [24] Sie werden nun versuchen, diese Anlagen zu einem durchschnittlichen Preis von rund 180.000 US\$ zu erproben und ihre eigenen Erfahrungen zu sammeln. Die Größe dieser Anlagen wurde leider nicht genannt.

Carnival Cruise Lines Inc. – CCL – ist Gründungsgesellschaft und die größte des bereits aus zwölf namhaften Kreuzfahrtreedereien bestehenden britisch-amerikanischen Konzernverbunds Carnival Corporation & plc. Zu diesen Reedereien zählen beispielsweise: Costa, Cunard, Aida, P&O Cruises, Princess Cruises, Holland America Line u.a. Mit ca. 38.000 Mitarbeitern an Bord und an Land ist dieser Konzernverbund, gemessen an den Passagierzahlen, der größte Kreuzfahrtveranstalter der Welt.

Die Carnival Reederei wird somit voraussichtlich eine weltweite Vorreiterrolle annehmen, was die Umsetzung der IMO- Richtlinien anbetrifft.

## 2 Stufenweise Verfahrenstechnische Entwicklung und Maßstabsvergrößerung – Scale-up von Anlagen

Soll eine neuartige verfahrenstechnische Anlage gebaut werden, von der das betreffende Anlagenbau-Unternehmen bislang keine Referenzen und Erfahrungswerte hat, so geht man zur Absicherung der Entwicklung und Konstruktion dieser Anlage stufenweise vor. [21] Dies gilt insbesondere für Anlagen in der Wasseraufbereitung oder für chemisch- / verfahrenstechnische Anlagen. In der Regel sind es folgende Entwicklungsstufen, die sequentiell absolviert werden:

- **Pre-Basic-Phase**, in der grundlegende Basisdaten ermittelt werden.
- **Labor-Phase**, in der mit wenig Aufwand im Labormaßstab ein Screening der in Frage kommenden Alternativ-Verfahren der einzelnen Prozessstufen erfolgt, um eine optimale, den Anforderungen entsprechende Gesamt-Anlagen- und Prozesstechnik zu ermitteln.
- **Pilot-Phase**, in der die einzelnen Prozessstufen in einer verkleinerten Größe und Technik des Industriemaßstabs auf ihre Praxistauglichkeit überprüft und Daten zu Betriebs- und Investitionskosten realistisch abgeschätzt werden können.
- **Prototyp-Phase** – In dieser finalen Phase wird das endgültige Design der Anlage getestet, die exakten Betriebs- und Investkosten ermittelt und die finale Entscheidung über den Baubeginn der Anlage im Industriemaßstab oder den Abbruch des Vorhabens getroffen.

Im Prozess der Verfahrenstechnischen Entwicklung von Anlagen findet die sog. Zehner-Regel Anwendung – siehe Abb. 5. Diese Regel besagt, dass von jeder Entwicklungsstufe zur nächsten bei der Maßstabsvergrößerung der Anlagen, dem sog. **Scale-up**, sich die Entwicklungskosten jedes Mal verzehnfachen und somit exponentiell zunehmenden Finanzaufwand erfordern.

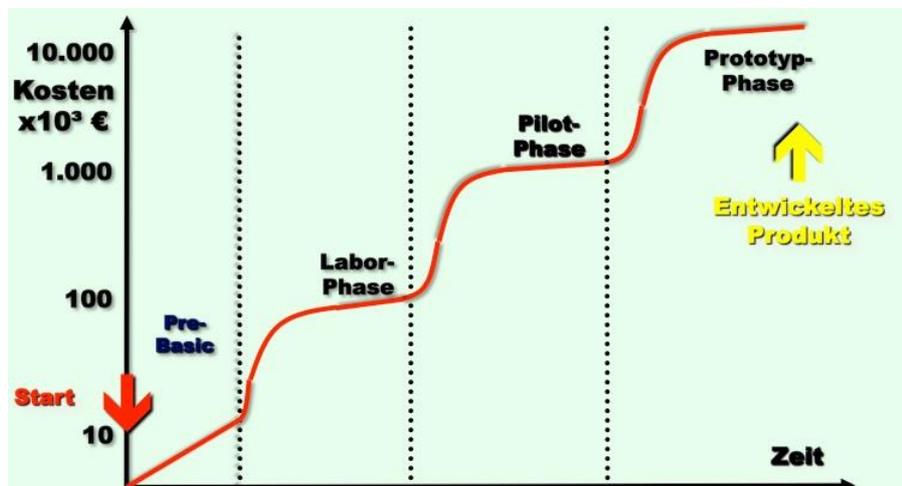


Abbildung 5: Entwicklungskostenverlauf verfahrenstechnischer Anlagen [21]

Die Konsequenz davon ist, dass in jeder Stufe möglichst umfassende Informationen ermittelt werden müssen, da in der Nächsten die Kosten enorm steigen. Sollte in einer späten Phase der Projektentwicklung ein erhöhter Informations- / Designbedarf vorliegen, so ist es aus Kostengründen sinnvoll die Ermittlung dieser Parameter in eine davorliegende Phase zurück zu verlegen.

Der in Abb. 5 beispielhaft dargestellte logarithmische Kostenverlauf zeigt, dass von den ursprünglich ca. 10.000 € der Laborphase final in der Prototyp-Phase die Entwicklungskosten bis in Höhe von ca. 10.000.000 € ansteigen können. Diese stufenweise Vorgehensweise ist essentiell wichtig, um die volle Kostenkontrolle der Entwicklungskosten immer im Blick zu behalten und sehr kostspielige Nachbesserungen in der Prototyp-Phase oder sogar am fertigen Produkt im Industriemaßstab zu vermeiden, um so ein technisches und/oder finanzielles Fiasko des betreffenden Projektes zu verhindern.

### **3 Entwicklung und Errichtung eines Prototyps zur Behandlung von Schiffsballastwässern im Industriemaßstab**

Nach Einführung in die rechtlichen Anforderungen der weltweiten Zulassung der Schiffsballastwasseranlagen in vorangehenden Abschnitten werden nun die einzelnen Abläufe des Forschungsvorhabens der Hochschule Emden abrisssweise geschildert.

Das Forschungsteam für Industrielle Wasseraufbereitung von Prof. Dr. Fröhlich hatte glücklicherweise im Jahr 2009 über einen Master-Studierenden im Studiengang Technical Management der Hochschule Emden-Leer Kontakt zu einem marktführenden deutschen Hersteller von Industriepumpen bekommen. Dieser Student fertigte in seiner Master-Arbeit unter der Anleitung von Prof. Fröhlich im Auftrag der Firma eine Marktstudie zum Thema Ballastwasser an.

Aus diesem anfänglichen Kleinprojekt hat sich dank der finanziellen Unterstützung des Industriepartners in den Jahren 2010 bis 2016 ein umfangreiches Forschungsvorhaben entwickelt. Zunächst erfolgten Laborvor- und Technikumsversuche an der Hochschule Emden. Sodann erfolgte die Pilotierung an Bord eines Schiffes im Offshorebereich der Norddeutschen Küste. Alsdann kam es auf Wunsch des Auftraggebers zur erfolgreichen Validierung der Pilotergebnisse mit dem IMO-Zertifizierungsinstitut von Dansk Hydraulisk Institut - DHI - aus Horsholm / Dänemark.

Bereits im Januar 2014 wurde dann anhand der zuvor ermittelten Schlüsselparameter der Anlagentechnik an den Emder Werft und Dockbetrieben - EWD – (heute Emder Werft und Dock GmbH) eine mobile Container-Prototypanlage in nur 3 Monaten voll funktionsfähig errichtet. Vom April bis zum Oktober 2014 unterzog sich diese Prototypanlage erfolgreich dem Härtestest des sog. „Land-based-Testings“ bei dem Dansk Hydraulisk Institut in Hundested, welcher die erste Stufe des marin-ökologischen IMO-Zulassung darstellt. Im Jahr 2015 erfolgte dann an Bord eines Schiffes einer Südamerika-Schiffahrtlinie unter der Aufsicht von Det Norske Veritas / DNV – einem Schiffsversicherer, der die Praxistauglichkeit und Sicherheit der Anlagentechnik überprüfte – das sog. Ship-Approval, die zweite und letzte Stufe der Zulassung nach den IMO D2-Regularien.

Zum Team der Industriellen Wasseraufbereitung von Prof. Fröhlich an der Hochschule Emden gehörten während der gesamten Projektdauer folgende Forschungsmitarbeiter:

Prof. Dr. Siegmund Fröhlich	- Projektleitung und -Koordination
Dr. Hauke Buse	- Federführender Projektingenieur
M.-Eng. Lars Spangemacher	- Nachfolger von Dr. Buse seit 2013
Dipl.-Mikrobiol. Kristina Siers	- Mikrobiologie und Bakteriologie
CTA Christine Kampen	- Chemische Analytik

sowie zahlreiche Diplomanden, Bachelor- und Master-Studierende.

In den folgenden Kapiteln werden nun chronologisch die einzelnen Entwicklungsstufen des fünfjährigen Forschungsvorhabens zur Errichtung und erfolgreichen IMO-Zertifizierung der mobilen Prototypanlage zur Behandlung von Schiffsballastwasser als einem künftigen neuen Serienprodukt für den industriellen Auftraggeber illustriert.

**Aus vertraulichkeitsgründen können zum jetzigen Zeitpunkt essentielle Auslegungsparameter und Anlagendetails nicht preisgegeben werden. Im Nachfolgenden wird somit der Gesamtablauf der zugrundeliegenden Verfahrenstechnischen Entwicklung dargestellt und detailliert erläutert.**

### 3.1 Vorstudie zum globalen Markt der Schiffsballastwasser-Behandlung

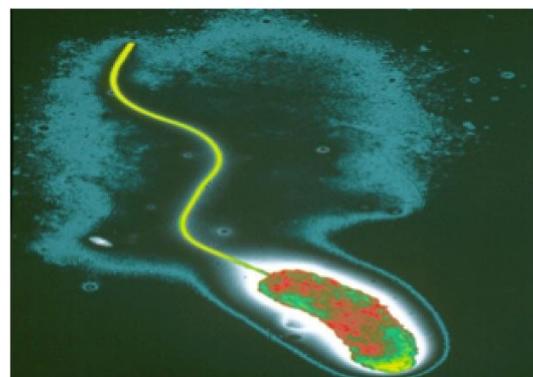
Der Master-Studierende hat in seiner Abschlussarbeit [13] akribisch folgende Aspekte des strategisch interessanten Themas zusammengetragen:

- die Problematik der globalen Umweltbelastung durch die Schiffsballastwässer aufgezeigt,
- die IMO-Regularien als Handlungsaufforderungen an Anlagenbauer dargelegt,
- die in Frage kommenden Technologien zur Behandlung dieser Wässer analysiert,
- eine Marktanalyse zu künftigen Bedarfen dieser Technologien angefertigt,
- eine Business-Analyse für den Industrie-Auftraggeber geliefert sowie
- entsprechende Schlussfolgerungen, Empfehlungen und Fazit zum Markteintritt in die Schiffsballastwasser-Behandlungstechnologie zusammengefasst.

Zu Beginn seiner Masterthesis hat der Studierende weltweite Beispiele ökologischer und ökonomischer Schäden aufgeführt, die durch das Verbringen von Ballastwasser entstanden sind. Davon sind im Folgenden zwei Beispiele abgebildet.



**Abbildung 6: Invasion der Zebra Muschel in den US-Amerikanischen Gewässern [13]**



**Abbildung 7: Vibrio Cholerae Erreger, die zwei Choleraepidemien von Südamerikanischen Häfen ausgelöst wurden**

Folgende potentielle Technologien, die seinerzeit am Markt zur Reinigung von Ballastwässern zur Auswahl standen, sind von dem Studierenden 2009 identifiziert worden:

#### **Mechanische Verfahren**

- Partikelseparation mittels Filtration, Hydrozyklonen, u.a. Filterelementen
- Kavitationsverfahren / hydrodynamisch bzw. mit Ultraschall-Einsatz
- Scheerkraftverfahren

#### **Physikalische Verfahren**

- UV-Desinfektion
- Oxygenierung
- Erhitzung

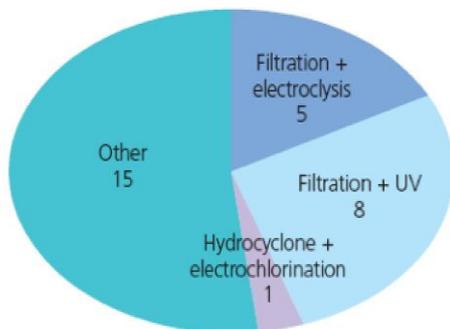
#### **Chemische Verfahren**

- anodische Oxidation mittels Seewasser-Elektrolyse
- Koagulation
- Ozonisierung
- Chlorierung / Hypochlorit-Dosierung
- PARACLEAN-Verfahren
- Einsatz anderer desinfizierender Chemikalien

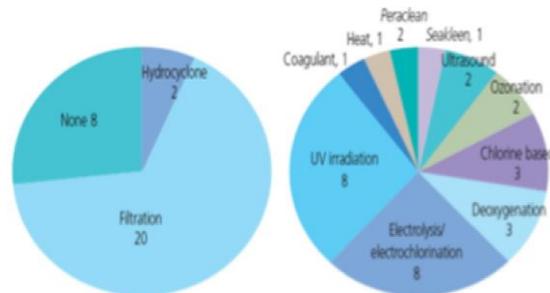
Diese Marktanalyse der Ballastwasser-Anbietertechnologien hat im Jahr 2009 folgendes ergeben:

## Entwicklung und Errichtung eines Prototyps zur Behandlung von Schiffsballastwässern im Industriemaßstab

- Ca. 40 Anbieter präsentierten unterschiedliche Konzepte
- Es waren unterschiedliche Technologien am Markt propagiert worden
- Die meisten Anlagen waren mehrstufig und bestanden aus mindestens zwei bzw. drei Komponenten
- Die Mehrzahl dieser Systeme setzte sich aus einer Filtrations- und einer Oxidationsstufe mit Chemikalienzusatz, oder aus Filtrations- und UV-Desinfektionsstufe ohne Zusatz von Chemikalien zusammen



**Abbildung 8: Physikalische Vorbehandlung bei Ballastwassersystemen [13]**



**Abbildung 9: Desinfektionsmethoden der Ballastwasserbehandlung [13]**

Im Nachfolgenden wurden von ihm die Prioritäten bei der Auswahl geeigneter Schiffsballastwasser-Behandlungssysteme im Diskurs mit namhaften Reedereien ermittelt. Demnach sind es:

- Oberste Priorität: Sicherheit der Crew und der Passagiere
- Höhe der Investitions- und Betriebskosten der Ballastwasserbehandlung
- Effektivität der Elimination IMO-definierter mariner Spezies
- Leichte Bedienbarkeit und Handling der Ballastwasseranlage
- Gute Integrierbarkeit in die Standardoperationen eines Schiffes
- Erhalt der strukturellen Integrität des Schiffes
- Größe der Anlage und Aufwand der Behandlung
- Ausmaß der potentiell auftretenden Schäden im Fall einer Disfunktion
- Leichtes Monitoring-Prozedere für Überwachungspersonal durch die Port-Authorities im Einklang mit geltenden Bestimmungen.

Aus damaliger Sicht wurde das gesamte globale Ballastwasser-Anlagengeschäft auf insgesamt ca. 8 Mrd. US\$ abgeschätzt. Ab dem Jahr 2012 hatte man damit gerechnet, dass es zu einem vermehrten Einbau dieser Anlagen in bestehende Altschiffe - das sog. Retrofitting - kommen würde, wobei bis zum Jahr 2021 das Groß der 70.000 betroffenen Schiffe diese Nachrüstung vollziehen würden.

In der anschließenden Business-Analyse wurden dann zwei potentielle Geschäftsmodelle detailliert ausgearbeitet und analysiert. Als Fazit wurde vorgeschlagen, dass aufgrund der damaligen Situation sich der Einstieg in das Ballastwasser-Geschäft für den Auftraggeber als eine sinnvolle Erweiterung des Portfolios dargestellt hat. Durch diese Verbreiterung der Technologiebasis könnte sich dadurch ein einträgliches und neues Geschäftsfeld für den Auftraggeber entwickeln.

### 3.2 Labor-Vorversuche zur Schiffballastwasser-Behandlung

Als die Entscheidung bei dem industriellen Partner zum Einstieg in die Entwicklung gefallen war, ist dieser im Jahr 2010 auf das Team von Prof. Fröhlich zugekommen, ob sein Team und die Personal- und Laborkompetenzen der Hochschule Emden im Stande wären, ein solch neues komplexes Produkt gemeinsam mit der Firma zu entwickeln.

Diese Frage konnte, trotz der vielfältigen Unwägbarkeiten eines technologischen Neulands, durchaus mit einem klaren „Ja, wir können das“ beantwortet werden. Dieses „Ja“ konnte detailliert untermauert werden weil:

- Prof. Dr. Fröhlich schon damals auf eine 10-jährige erfolgreiche industrielle Forschungstätigkeit und 15-jährige Hochschulforschung in der Wasseraufbereitung zurückblickte.
- Der Schwerpunkt seiner Forschungstätigkeiten war bereits seit seiner Promotion die Maßstabsvergrößerung verfahrenstechnischer Anlagen in Praxis als auch in seinen Vorlesungen „Anlagenplanung“, „Apparatekunde“, „Industrielle Wasseraufbereitung“ u.a.
- Wesentlichen Beitrag hat auch der federführende Mitarbeiter, Herr Dr. Hauke Buse dazu beitragen können, der das physikalische Expertenwissen in das Projekt eingebracht, die messtechnische Analytik stark vorangetrieben und das Design der Pilot- und Prototypanlagen maßgeblich mitgestaltet hat.
- Ebenso hatte Prof. Fröhlich bereits bis zu diesem Zeitpunkt ein multidisziplinäres Team zusammengestellt gehabt, welches dieser neuartigen Aufgabe gewachsen war.
- An der Hochschule in Emden komplett die Fachdisziplinen: Verfahrenstechnik, Mikrobiologie, Biotechnologie und instrumentelle Analytik sowohl in Lehre, Laboren als auch in industriellen Referenzen vorhanden waren.
- Zusätzlich ist im Umkreis der Hochschule in Emden eine Industrieerfahrene Fachfirma, die Technologiepool GmbH, welche komplexe Apparate aus Sonderwerkstoffen mittels Laserschneid- und Schweißtechnik im Großmaßstab fertigen kann.
- Die Hochschule in Emden ist durch eine langjährige Kooperationen mit den Seefahrtsschulen sowohl in Leer als auch in Elsfleth verbunden.
- Schlussendlich haben die an der Hochschule in Emden lehrenden Professoren über zahlreiche Industrie- und Forschungsprojekte sehr enge Kontakte sowohl zu zahlreichen norddeutschen Werften als auch zu diversen Reedereien gehabt.

Somit konnte schon ab Oktober 2010 mit den ersten Labor-Vorversuchen als auch mikrobiologischen und chemisch-/analytischen Tests begonnen werden, um sich von der Praxisseite diesem sehr anspruchsvollen Thema anzunähern – siehe nachfolgende Abbildung.



**Abbildung 10: Testanordnung zur Filtration und UV-Desinfektion ausgewählter Realmedien [22]**

## Entwicklung und Errichtung eines Prototyps zur Behandlung von Schiffsballastwässern im Industriemaßstab

Diese Laborvorversuche dienten der Findung geeigneter Behandlungsprozesse, die die Reinigungsleistung des Ballastwassers gemäß den sog. IMO-D2-Richtlinien sicherstellen sollten.

Diese Versuche wurden schon ab Beginn mit sog. Realmedien ausgeführt, dh. mit Wässern aus den marinen Biotopen der nahe liegenden Emsmündung und aus den Gräben und Süßwässern der Emden umgebenden Krummhörn, die wie die üblichen Ballastwässer eine Vielzahl von Kleinstlebewesen wie, Plankton, Algen, Larven und anderen Mikroorganismen enthalten.

Auf Bitte des Investors wurde von vornherein auf die Anwendung oxidierender bzw. desinfizierender Stoffe verzichtet. Dies geschah aus folgenden Beweggründen:

- Diese Chemikalien sind überwiegend als Gefahrstoffe eingestuft und erfordern besondere Lagereinrichtungen und Handhabung sowie erfahrenes und kundiges Personal
- Sie wirken zwar sehr effektiv, deren Einsatz verursacht jedoch Korrosion in den Ballastwasser-Tanks
- Sie können sehr leicht überdosiert werden, wodurch beim Deballasten die marinen Biotope mit diesen Chemikalien belastet würden
- Schlussendlich unterliegen die Ballastwasseranlagen, die diese Stoffe einsetzen, nicht der sog. G8-Zulassung – für Anlagen ohne Chemikalieneinsatz – sondern der G9-Zulassung, die zum einen wesentlich länger dauert und zum anderen schärferer Überwachung beim Schiffsbetrieb unterliegt.

In dieser entscheidenden Vorphase im Labormaßstab wurden schwerpunktmäßig folgende Technologien der künftigen Ballastwasserbehandlung identifiziert und eingehend getestet:

- Separation der Sedimente, Algen und Plankton mittels Disk-Filter der Fa. Berkefeld sowie einem Patronenfilter der Fa. Hydac,
- Separation dieser Stoffe mittels Hydrozyklonen der Fa. AKW,
- Desinfektion der Ballastwässer mittels UV-Bestrahlung von Fa. PromAqua,
- Desinfektion des Ballastwassers mittels elektrochemischer Oxidation durch die sog. OH-Radikale der Fa. Südchemie.



**Abbildung 11: Auswahl getesteter Hydrozyklone, die zur Plankton Separation getestet wurden [14; 22]**



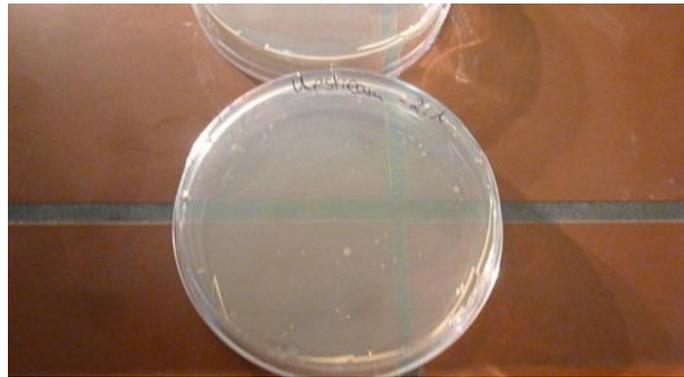
**Abbildung 12: Labor-UV-Desinfektionsanlage zur Elimination von Bakterien [22]**

Parallel dazu wurden analytische Werkzeuge zur Überwachung der Ballastwasser-Reinigungsleistung mit aufgebaut:

- Mikroskopische Identifizierung einzelner Mikroorganismen und Spezies,
- Bakteriologische Tests mit Agar-Medium auf Petrischalen,
- Lebend- / Tot-Bestimmung der Algen und des Planktons mittels Tracer-Farbstoffen in sog. Zählkammern unter dem Mikroskop,
- Partikelgrößen- und Verteilungs-Bestimmung mittels Laser-Streulicht-Meßmethode,
- sowie die gravimetrische Bestimmung des Feststoffgehalts.



**Abbildung 13: Realmedienproben bei Mikrobiologischer Untersuchung [15]**



**Abbildung 14: Bakteriologische Desinfektionstests mit Agar-Petrischalen [15; 22]**

### 3.3 Technikumsversuche zur Behandlung von Schiffballastwasser

Nachdem die Laboruntersuchungen die grundsätzliche Machbarkeit der Konzeption und Errichtung eines Schiffballastwasser-Prototyps aufgezeigt haben, wurde in Abstimmung mit dem Investor die zweite Entwicklungsphase, die Pilotierung der einzelnen Anlagenbausteine, im Technikumsmaßstab gestartet. [14; 15]

Mit den Erkenntnissen der zuvor liegenden Laborphase wurden in der zweiten Entwicklungsphase in Maßstab der verkleinerten industrienahen Module, folgende drei potentielle Stufen der künftigen Schiffballastwasser-Behandlung auf ihre Praxistauglichkeit überprüft:

- **mechanische Separationsstufen** - Abtrennung von Sediment / Plankton in Gestalt von:
  - o Patronenfiltern,
  - o Disk-Filtern und
  - o Hydrozyklonen,
- **Kavitationsmodule** zur Desintegration von Phyto- und Zoo-Plankton in Gestalt von:
  - o Kavitationsdüsen und
  - o Ultraschall-Mikrokavitationsbehandlung,
- **Module zur Desinfektion** von Bakterien in Gestalt von:
  - o Seewasser-Elektrolyse und
  - o Ultraviolett-Bestrahlung.



**Abbildung 15: Mobiles Pilotmodul für Tests der einzelnen Behandlungsstufen**

## Entwicklung und Errichtung eines Prototyps zur Behandlung von Schiffsballastwässern im Industriemaßstab

### 3.3.1 Technikumsversuche der mechanischen Separationsstufen

Als Modellmedium wurde zunächst eine definierte Quarzmehl-Suspension mit Feststoffgehalten von 1.0, 2.0 und 5.0 g/L Quarzpartikel verwendet. Die Bestimmung des Feststoffgehalts erfolgte gravimetrisch – Siehe Abb. 16.

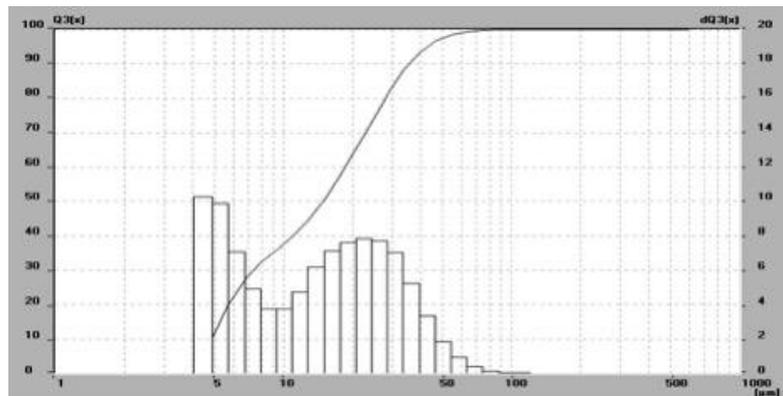


**Abbildung 16: Gravimetrische Bestimmung des Feststoffgehalts [15]**

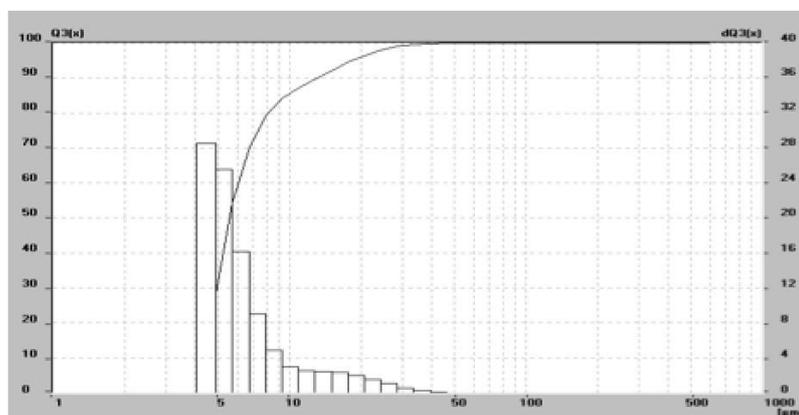


**Abbildung 17: Laser-Partikel-Sizer zur Partikelgrößenbestimmung [15; 22]**

Das Modellmedium wies ein Spektrum der Quarzpartikel von 1 bis 100  $\mu\text{m}$  auf. Die Größenverteilung der Partikel im Modellmedium wurde mittels eines sog. Laser-Partikelgrößen-Messgeräts bestimmt – in Abb. 17. Es wurden Spektren sowohl vor als auch nach der Abtrennung der Modellfeststoffe durch den Disk-Filter, die Hydrozyklone oder Patronenfilter aufgenommen.



**Abbildung 18: Partikel-Verteilungsspektrum vor der Abtrennung mit Hydrozyklon [15]**



**Abbildung 19: Partikel-Verteilungsspektrum nach Abtrennung mit Hydrozyklon [15]**

## Entwicklung und Errichtung eines Prototyps zur Behandlung von Schiffballastwässern im Industriemaßstab

Die Abbildungen 20, 21, und 22 zeigen die untersuchten Systeme der mechanischen Separation von Plankton und Schwebstoffen aus dem Ballastwasser.



**Abbildung 20: Berkefeld Disk-Modul [15]**



**Abbildung 21: Testvorrichtung mit drei Hydrozyklonen [22]**

Alle drei Alternativmodule wurden in zahlreichen Reihentests sowohl auf die Feststoffabtrennung als auch auf die Funktionalität / Handling der Abtrennung und Reinigung bzw. Rückspülung der Filter eingehend untersucht. [15]

Als Resümee der Technikumsversuche der mechanischen Separation konnte festgehalten werden, dass der Berkefeld Disc-Filter aufgrund der schnellen Verblockung und vielen zeitintensiven Rückspülzyklen nicht geeignet war, in die engere Wahl genommen zu werden. Dagegen waren die 1,0- und 1,5-Zoll-Hydrozyklone sowie auch der Hydac-Patronenfilter als geeignet eingestuft worden, weil deren Trenngrenze – siehe Abb. 19 – weit unterhalb der von IMO-geforderten 50 µm-Grenze lag.

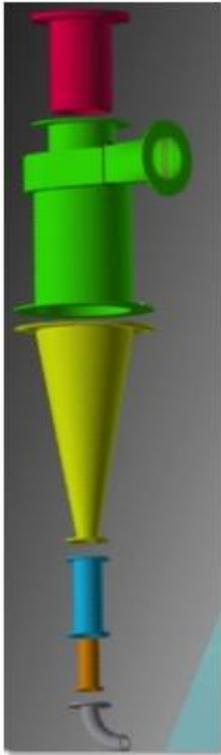
Die Hydrozyklone hatten sogar zwei weitere Vorteile gegenüber dem Hydac-Patronenfilter. Der Druckabfall dieser Apparate war deutlich kleiner als der vom Filter und vor allem arbeiten die Hydrozyklone permanent, weil die feststoffhaltige Downstream-Fraktion kontinuierlich abgeführt wird.



**Abbildung 22: 50 µm-Patronen-Pilotmodul der Fa. Hydac [22]**

Nach den Tests mit dem Quarz-Modellmedium wurden ebenfalls erfolgreiche Testreihen in Realmedien, das sowohl Phyto- und Zoo-Plankton enthielt, absolviert.

## Entwicklung und Errichtung eines Prototyps zur Behandlung von Schiffballastwässern im Industriemaßstab



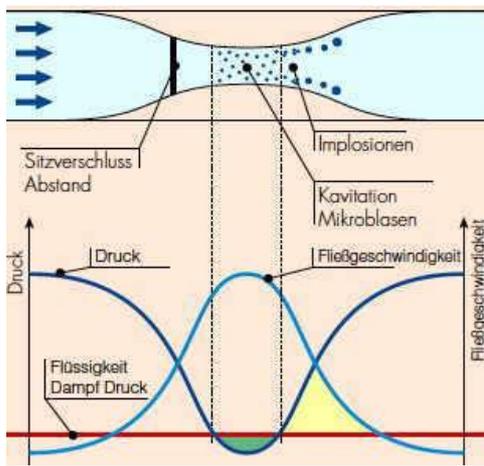
**Abbildung 23: CAD-Modell eines Großzyklons für 125 m<sup>3</sup>/h Durchsatz**



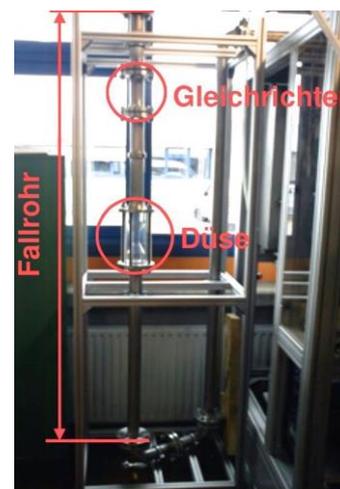
**Abbildung 24: Im Hochschul-Aninstitut T-Pool gefertigter 125 m<sup>3</sup>/h-Großzyklon [22]**

Als mögliche Option für den Industriemaßstab des Ballastwasser-Prototyps für Hydrozyklone wurde in Zusammenarbeit mit der Fakultät Maschinenbau der Technischen Universität Wrocław ein CAD-Konstruktions-Modell der Größe 125 m<sup>3</sup>/h angefertigt. Davon wurden zwei Großzyklone aus Edelstahl gefertigt. Der Investor entschied sich jedoch final für ein Filter-Modul.

### **3.3.2 Technikumsversuche und Entwicklungsstufen der Kavitationsmodule**



**Abbildung 25: Das Kavitations-Prinzip [18]**

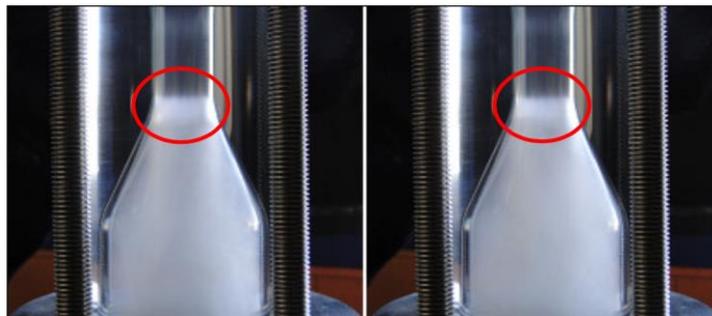


**Abbildung 26: Kavitationsprüfstand der TU Kaiserslautern [18]**

## Entwicklung und Errichtung eines Prototyps zur Behandlung von Schiffsballastwässern im Industriemaßstab

Da voraussichtlich nicht alle marinen Plankton-Spezies und Algen vollständig durch die erste mechanische Behandlungsstufe abgetrennt werden könnten, hat der industrielle Auftraggeber eine zusätzliche Stufe der Behandlung durch Kavitation untersuchen lassen. Dabei wird das wässrige Medium samt Mikroorganismen mittels einer Pumpe zuerst unter Druck beaufschlagt, um es dann über die sog. Kavitationsdüse schockartig zu entspannen – siehe Prinzip Skizze in Abb. 25. Bei dieser rapiden Druck-Entspannung verdampft lokal das Wasser; es kommt zur Ausbildung von Dampfblasen – siehe Abb. 27 – so dass die Membranen der marinen Lebewesen aufplatzen und sie unmittelbar absterben. [18]

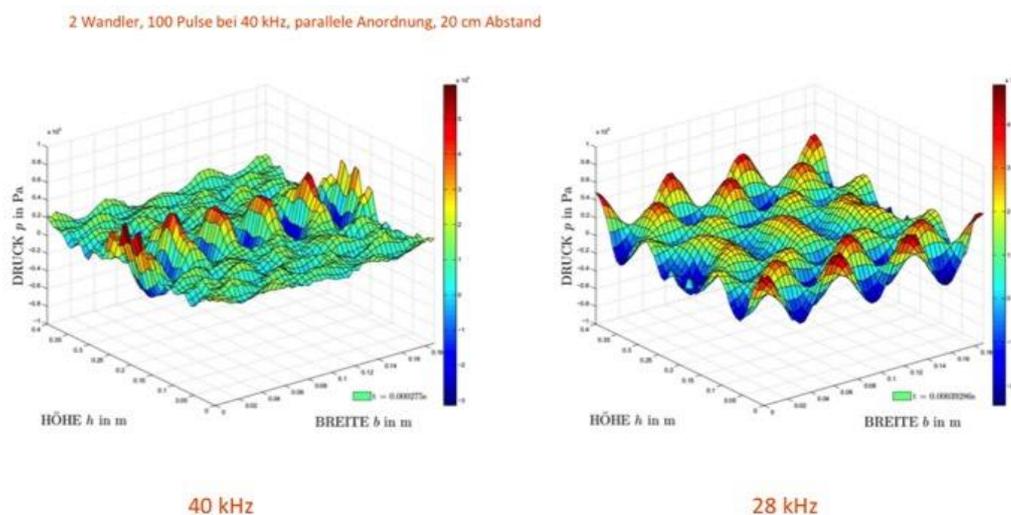
Die Kavitationsmethode ist grundsätzlich bei der Schiffsballastwasser-Behandlung besonders vorteilhaft, weil dabei keine gefährlichen Chemikalien zur Entkeimung und Zerstörung der marinen Organismen verwendet werden. Die Organismen sterben in Bruchteilen von Sekunden ab und können sich nicht mehr reproduzieren.



**Abbildung 27: Blasenbildung hinter Kavitationsdüse / Versuchsstand TU Kaiserslautern [18]**

Bei dem Kavitationsmodul der Schiffsballastwasser-Behandlung ist der industrielle Auftraggeber allerdings zweigleisig vorgegangen. Am Institut für Strömungsmaschinen und Strömungsdynamik der TU Kaiserslautern wurde im Technikums-Maßstab ein Kavitationsmodul zuerst numerisch analysiert und dann im Technikaßstab entwickelt und getestet – Siehe Abb. 25 und Abb. 26. Als Test-Lebewesen wurden dabei die Artemia-Urkrebse eingesetzt.

Parallel zu der Entwicklung in Kaiserslautern erfolgte an der Hochschule Emden die Entwicklung der Module zur Mikrokavitation mittels Ultraschalltechnologie. Hierbei wurden an der Reaktorwand zahlreiche Ultraschall-Transducer montiert, die Schallwellen in das im Reaktor befindlichen Medium abgaben. Dabei wurden die Transducer der Fa. Guandong verwendet.



**Abbildung 28: Simulierte Kavitationseffekte im Wasser bei 28 und 40 kHz Schallfrequenz [20]**

## Entwicklung und Errichtung eines Prototyps zur Behandlung von Schiffsballastwässern im Industriemaßstab

Die Schallwellen überlagern sich dabei nach dem Prinzip der Interferenz. Dabei kommt es lokal im Medium, ähnlich wie bei der konventionellen Kavitation, zu sehr starken Wellen-Überlagerungen und heftigen Druckschwankungen, die dann zu der sog. Mikrokavitation führen.

Abb. 29 zeigt die Kavitationseffekte, die in einer kleinen Vortest-Zelle sichtbar gemacht wurden und in dem die lokale Schallintensität rastermäßig gemessen wurde. Diese Zelle wurde eigens dazu erstellt, um die Simulationsmodelle der Kavitation zu überprüfen – siehe Abb. 28 – und um auf diese Weise die effizienteste Kombination und Anordnung der Schallerreger zu ermitteln.



**Abbildung 29: Ultraschall-Testzelle zur Verifikation der modellmäßig simulierten Schallausbreitung der in Abbildung 28 dargestellten Ergebnisse [22]**

Im ersten Testreaktor – siehe Abb. 30 – wurde in Emden orientierend die Schallwirkung getestet. Nach positiven Ergebnissen wurde ein zweiter Testreaktor – in Abb. 31 – gebaut und mit Realmedien getestet. Dabei konnte ein erheblicher Teil der Organismen desintegriert und abgetötet werden. Leider konnten die Lebewesen nicht vollständig eliminiert werden.

Es lag nahe, dass die Strömungsverhältnisse im Reaktor nicht optimal waren – es waren noch sog. „Totwässer“ vorhanden, wogegen ein Teil des Mediums sehr schnell den Reaktor durchströmte.



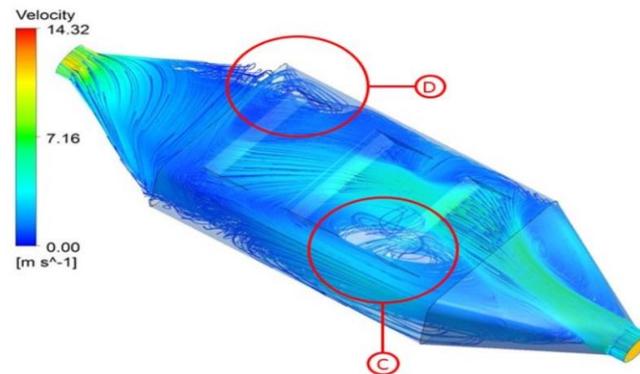
**Abbildung 30: Erster Ultraschall-Testreaktor [22]**



**Abbildung 31: Zweiter Ultraschall-Testreaktor [22]**

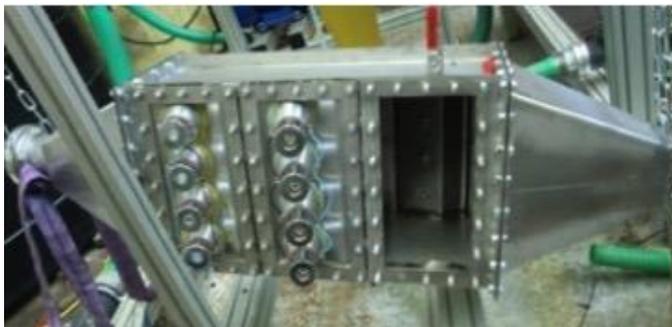
## Entwicklung und Errichtung eines Prototyps zur Behandlung von Schiffsballastwässern im Industriemaßstab

Dies bestätigten die Simulationen des Instituts für Strömungsmaschinen und Strömungsdynamik der TU Kaiserslautern – siehe Abb. 32.



**Abbildung 32: Simulation der Strömungsverhältnisse des 2. Emden-Ultraschallreaktors [23]**

Hier kann man erkennen, dass es beim Übergang vom kreisrunden Rohrquerschnitt auf den orthogonalen des Reaktors zu sog. „Totzonen“ kommt - kreisrund markierte blaue Zonen. Das Medium verweilt dort länger und wird effektiver durch Mikro Kavitation behandelt. Demgegenüber strömt ein Teil des Mediums – grün unterlegt – schneller durch den Reaktor. Dabei ist die Einwirkdauer der Mikro Kavitation zu kurz – die Organismen werden nicht vollständig eliminiert.

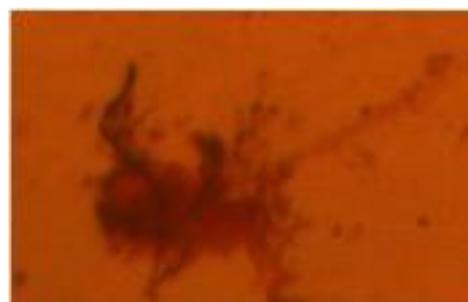


**Abbildung 33: Dritter Ultraschall-Reaktor-Prototyp [22]**

Diese Erkenntnisse wurden dann bei dem Bau des dritten Ultraschall-Reaktors berücksichtigt. Im Eingangs- und Ausgangsbereich dieses Reaktors wurden Leitbleche montiert, die gleichmäßig das Medium durch den Reaktor verteilen sollten. Dieser Reaktor hatte bereits einen Durchsatz von 25 m<sup>3</sup>/h. Testergebnisse mit Realmedien haben die Verbesserung des Ultraschall-Reaktordesigns bestätigt – siehe Abb. 34 und Abb. 35.



**Abbildung 34: Durch Ultraschall zerstörter Urkrebs [22]**



**Abbildung 35: Durch Ultraschall zerstörtes Daphne-Plankton [22]**

## Entwicklung und Errichtung eines Prototyps zur Behandlung von Schiffsballastwässern im Industriemaßstab

In der finalen Entwicklungsphase der Ultraschallreaktoren wurde schließlich ein vierter oktogonal designer Hochleistungs-Reaktorprototyp konstruiert und gebaut – siehe Abb. 36.



**Abbildung 36: Der kompakte oktogonale 4. Hochleistungs-Ultraschallreaktor-Prototyp [22]**

Der erste Ultraschall-Testreaktor hatte einen Durchsatz von  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ . Der zweite und dritte hatten bereits einen Durchsatz von max.  $25 \text{ m}^3/\text{h}$ . Der letzte gebaute vierte Reaktorprototyp war schon im Industrie-Maßstab errichtet worden – er hatte einen Durchsatz von  $125 \text{ m}^3/\text{h}$ . Davon wären für den geplanten Schiffsballastwasser-Prototyp zwei solche Einheiten erforderlich. [22]

Das besondere bei diesem Prototyp war, dass er keine „Totzonen“ besaß und aufgrund seiner achteckigen Konstruktion die maximale Schalleistung in das Medium abgegeben werden konnte.

### 3.3.3 Technikumsversuche der Desinfektionsmodule



**Abbildung 37: 5 m<sup>3</sup>/h-UV-Desinfektionsmodul der Fa. PromAqua [17]**



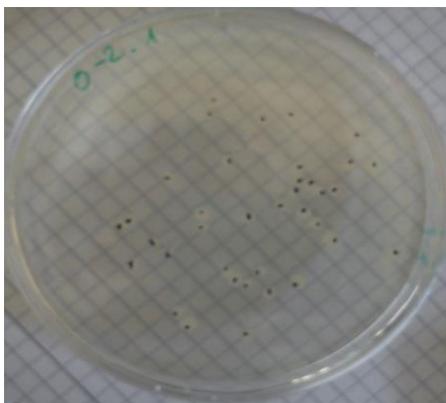
**Abbildung 38: 1,5 m<sup>3</sup>/h Seewasser-Elektrolyse der Fa. Südchemie [17]**

Für die dritte potentielle Stufe der Schiffsballastwasser-Behandlung wurden im Technikum der Hochschule Emden zwei unterschiedliche Verfahren im Wettbewerb getestet. [17]

Zum einen war es die Bestrahlung des Ballastwassers mit UV-Licht, die gut desinfizierend wirkt. Wie bereits in Abb. 12 im Labormaßstab gezeigt, konnten mit dieser Technologie schon in den Voruntersuchungen sehr gute Eliminierungserfolge der bakteriell befallenen Ballastwässer erzielt werden. Im Technikumsmaßstab wurde dabei ein Test-Pilotmodul der Fa. PromAqua getestet.

Zum anderen wurde parallel ein neuartiges elektrochemisches Verfahren der sog. Seewasser-Elektrolyse in Praxis erprobt. Bei diesem damals neuartigen und in Entwicklung befindlichen Verfahren der Fa. Südchemie wurde das Wasser zwischen den Kohlefaser-Elektroden elektrolysiert. Die dabei verwendete elektrische Spannung wurde so gesteuert, dass an der Anode ausschließlich kurzlebige sog. OH-Radikale erzeugt wurden.

Diese OH-Radikale sind sehr reaktiv und desinfizieren hochwirksam das Wasser. Bei einer optimalen Steuerung findet die konkurrierende Erzeugung vom freien Chlorgas aus dem Seewasser und die daraus resultierende Erzeugung des hochtoxischen Hypochlorits nicht statt. Da die OH-Radikale sehr kurzlebig im Bereich von Millisekunden sind, kann dieses Verfahren grundsätzlich auch als „Chemikalienfrei“ angesehen werden, da beim Deballasten keine Chemikalien Spuren im Wasser nachzuweisen sind.



**Abbildung 39: Bakterielle Belastung unbehandelten Realmediums [22]**



**Abbildung 40: Probenahme Realmedium durch Dipl.-Mikrobiologin Kristina Siers [22]**

## Entwicklung und Errichtung eines Prototyps zur Behandlung von Schiffsballastwässern im Industriemaßstab

### **3.4 Pilotierung der Schiffsballastwasser-Technologie an Bord eines Versorgungsschiffes im Offshore-Bereich der Deutschen Bucht**

Nach der erfolgreichen Praxiserprobung im Technikumsmaßstab aller in Frage kommenden Module zur Ballastwasser-Behandlung wurde in Abstimmung mit dem industriellen Forschungspartner die nächste Entwicklungsstufe in Angriff genommen.

Durch die Kontakte von Prof. Fröhlich zur Fa. BARD-Offshore GmbH konnte die Pilotierung der Technologie unter echten Bedingungen an Bord eines Versorgungsschiffes des Offshore-Windanlagen-Errichters realisiert werden. Dies geschah im Rahmen der Diplomarbeit von Herrn Christopher Hemmke. Die Mannschaft des Versorgers MV Nathalie hat unserem Team ermöglicht, während der Versorgungsfahrten Seewasser aus der Umgebung des Schiffes, im Hafen, auf dem Weg sowie auch direkt im 50 Seemeilen entfernten Windanlagenfeld von BARD zu behandeln. [16]



**Abbildung 41: Mobile Container-Ballastwasser-Pilotanlage an Bord [16]**



**Abbildung 42: Route Offshore-Versorger Nathalie [16]**

Das bereits in Abb. 15 gezeigte mobile Pilotmodul wurde in einen Standard-20-Fuss Container eingebaut und an Deck des Versorgers fest positioniert. Die mobile Anlage war zweistufig ausgerüstet. In der ersten Behandlungsstufe wurde mit 1,0- und 1,5-Zoll-Hydrozyklonen das Phyto- und Zoo-Plankton abgetrennt. In der zweiten Stufe wurden beide unter 3.3 beschriebenen Desinfektionsmodule, die UV-Bestrahlung und die Seewasser-Elektrolyse, diesmal komplett mit echtem Ballastwasser getestet. Die Container-Ausstattung ist in Abb. 43 und 45 ersichtlich.



**Abbildung 43: Hydrozyklone, erste Stufe der Ballastwasserbehandlung [16]**

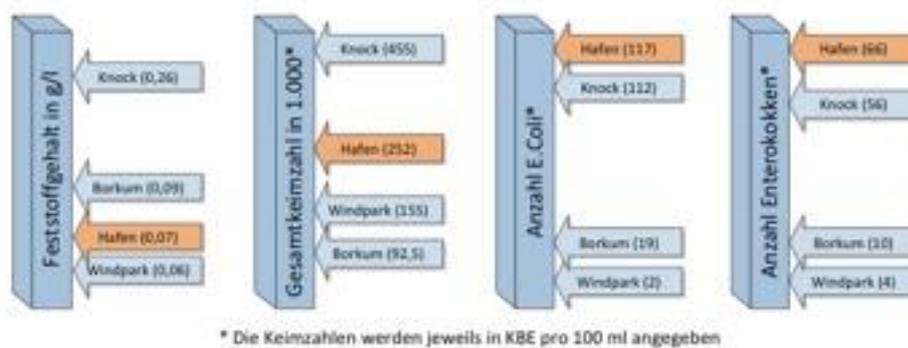


**Abbildung 44: UV- u. Elektrolyse-Module (rechts) als zwei Optionen der 2. Behandlungsstufe [16]**

## Entwicklung und Errichtung eines Prototyps zur Behandlung von Schiffsballastwässern im Industriemaßstab

Während der insgesamt 4 Versorgungsfahrten der MV Nathalie wurden in der mobilen Container-Behandlungsanlage an jeweils vier Stellen Ballastwässer gehoben und behandelt – s. Abb. 42. An folgenden Messpunkten erfolgte die Ballastwasserbehandlung:

- Anlegestelle MV-Nathalie im Emdener Hafen
- Mündungsbereich der Ems in die Deutsche Bucht
- Direkte Umgebung der Insel Borkum und
- BARD-Offshore-Windpark 50 Seemeilen von der Küste.



**Abbildung 45: Rohballastwasser-Belastung der vier Probenahmeorte an Feststoffe, Gesamtkeimzahlen, E-Coli-Keimen und Enterokokken – Nach IMO D2 [16]**

Wie in Abb. 45 ersichtlich, war die hohe bakterielle Seewasserbelastung im Mündungsbereich der Ems besonders durch die industrielle Belastung aus den Abwasseranlagen, der Müllverbrennung und den Kraftwerksabwässern um die niederländische Stadt Delfzijl gegeben. Ebenso war im stehenden Hafenwasser von Emden eine ähnlich hohe bakterielle Belastung gegeben.

	Gesamtkeime in %	E.coli in %	Enterokokken in %
<b>Test 4</b>			
UV-Abtötung	98,1	67,4	100,0
SC-Abtötung	71,1	66,3	74,1
<b>Test 8</b>			
UV-Abtötung	72,5	90,6	100,0
SC-Abtötung	95,7	79,7	100,0
<b>Test 9</b>			
UV-Abtötung	90,7	91,6	100,0
SC-Abtötung	98,4	84,7	100,0

**Abbildung 46: Beispielhafte Ergebnisse von Bord der MV-Nathalie für die Desinfektionsleistung des UV-Moduls und der Seewasser-Elektrolyse [16]**

Die Trennleistung der 1,0- und 1,5-Zoll AKW-Zyklone war sehr gut und entsprach vollständig der IMO-Richtlinie D2 – Siehe Tab. 1. Die parallel getestete Hydrozyklone der Fa. Salter waren weniger effizient und konnten nicht für weitere Entwicklungen empfohlen werden.

Wie aus Abb. 46 erkennbar, war die Desinfektionsleistung des PromAqua-UV-Moduls und der Südchemie-Elektrolyse zumeist zufriedenstellend. Bei der Testreihe 4 ist aber ersichtlich, dass im Mündungsbereich der Ems aufgrund der Chlorresistenten E-Coli-Bakterien die Desinfektionsergebnisse nicht ausreichend waren.

## Entwicklung und Errichtung eines Prototyps zur Behandlung von Schiffballastwässern im Industriemaßstab

Resümierend zu den Endergebnissen der Offshore-Kampagne konnte folgendes festgehalten werden:

- Die AKW-Hydrozyklone konnten überzeugend die IMO-D2-Richtlinie einhalten
- Die alternativen Salter-Zyklone konnten nicht empfohlen werden
- Die PromAqua-UV-Desinfektionsanlage war grundsätzlich verwendbar. Da der Korpus aber aus schwarzem PVC-Material bestand, kam es nicht zur Reflektion mit der Reaktorwand – ein großer Teil der Lichtleistung ging somit verloren. Hier musste ein alternativer Lieferant akquiriert werden, der die UV-Reaktoren in polierter Edelstahl-Ausführung fertigte.
- Ebenso hat die Seewasserelektrolyse ihre grundsätzliche Einsatzbereitschaft gezeigt. Da jedoch die Fa. Südchemie über die Pilotphase hinaus diese Technologie nicht weiter entwickeln konnte und wollte, war diese Technologie keine Option für weitere Tests der Maßstabsvergrößerung.

### **3.5 Validierung der Pilotergebnisse der Schiffballast-Behandlung durch das Danisk Hydraulisk Institut – DHI – in Horsholm / Dänemark**

Ein weiterer wichtiger Meilenstein und Entwicklungsstufe von Schiffballastwasser-Behandlungssystemen war auf Wunsch des industriellen Forschungspartners die nun nachfolgende Validierung der bisherigen Pilotergebnisse durch die IMO-Zertifizierungsautorität des Danisk Hydraulisk Instituts / Horsholm in Dänemark. [17]

Hierzu wurde die mobile Ballastwasser-Pilotanlage wieder aus dem Offshore-Container ausgebaut und im Technikum der Hochschule Emden aufgerüstet. Folgende vier Testläufe wurden gemeinsam mit den zwei DHI-Expertinnen absolviert:

- Nur die zwei 1,5-Zoll AKW-Hydrozyklone allein
- Nur die LIT-UV-Anlage allein
- Kombination aus zwei 1,5-Zoll-AKW-Hydrozyklonen plus LIT-UV-Anlage
- Kombination aus einem 4-Zoll-ITE-Hydrozyklon plus LIT-UV-Anlage



**Abbildung 47: Planktonentnahme aus den Gewässern der Umgebung von Emden durch M.Eng. Lars Spangemacher und Dr. Hauke Buse [17]**

## Entwicklung und Errichtung eines Prototyps zur Behandlung von Schiffsballastwässern im Industriemaßstab

Als Testmedium wurde die DHI-Standardrezeptur eingesetzt, die regulär für die erste Stufe der IMO-Zertifizierung – für die sog. Land-based-Tests – in Hundested eingesetzt wird. Für ein 4.800 Liter Vorratstank setzte sich dieses Medium aus folgenden Bestandteilen zusammen:

- Zooplankton: 200 L-Wasser mit ca. 2.000.000 Spezies / m<sup>3</sup>
- Algen: 15 L-Wasser mit ca. 326.000 Chlorella-Algen / m<sup>3</sup>
- TSS: 164 g Kaolin
- POC: 82 g Maisstärke (Maizena)
- DOC: 84 g Ligninsulfonat
- Escherichia Coli: einer definierten Konzentration
- Enterokokken: einer definierten Konzentration
- Die UV-Transmission Modellmedium 66%.

Jeder Testlauf wurde mit ca. 700 L-Modellwasser bei einem Input von 5 m<sup>3</sup>/h absolviert. Dabei wurden die erforderlichen Proben vom DHI und von den beiden Emdener Mitarbeiterinnen Kampen und Siers parallel entnommen und analysiert. [17]



**Abbildung 48 + 49: Mikroskopische Untersuchung der Plankton-Elimination durch das DHI-Personal sowie Dr. Buse und Frau Kampen aus der Hochschule Emden [17]**

Im Focus der DHI-Tests lag besonders die Elimination von Zooplankton und Kleinlebewesen-Larven. Dies ist neben den bakteriologischen Befunden der zweite Schlüsselparameter für die Wirksamkeit der BWT-Systeme.

Zum Schluss der Messreihen wurden jeweils 500 Liter des behandelten Modellwassers in vier abgedunkelten 1.000 Liter Sammelbehältern plus Kontrolltank im Technikum zurückgestellt. Nach fünf Tagen Verweildauer – wodurch der Aufenthalt in den Ballastwassertanks nachgestellt wurde – sind diese Behälter vom DHI und den Labormitarbeiterinnen der Hochschule Emden parallel erneut genauso aufwändig beprobt und analysiert worden, wie direkt nach der Behandlung.

Die beiden gelben 1,5 Zoll AKW-Hydrozyklone haben es nach Ergebnissen der DHI-Expertinnen geschafft, die ca. 2000 Zooplankton-Spezies auf  $\leq 10$  pro m<sup>3</sup> zu reduzieren. Sie sind somit grundsätzlich in der Lage, die IMO-D8-Grenzwerte einzuhalten. Eine weitere Reduktion dieser Schädlinge war in der UV-Stufe nicht zu erwarten. Dagegen hat der 4-Zoll-ITE-Zyklon nur einen Bruchteil der Zooplankton-Spezies eliminieren können und fiel bei diesem Test durch.

Die LIT-UV-Anlage war in der Lage, die bakterielle Fracht des Ballast-Modellwassers wirksam zu bekämpfen. Diese Anlage hat sich als sehr leistungsfähig und professionell bedienbar erwiesen. Das Kaolin- und Ligninsulfonat, welches dem Modellwasser zugegeben wurde, verminderte erheblich die UV-Transmission und den UV-Wirkungsgrad – trotzdem leistete die LIT-Anlage in diesem trüben und Lichtschluckenden Medium sehr gute Arbeit.

Somit wurden mit dieser entscheidenden Entwicklungsphase genügend Nachweise erbracht, um die letzte und teuerste Stufe der Forschung und Entwicklung zu erklimmen – den Bau, Zertifizierung und Zulassung des Prototyps im Industriemaßstab von 250 m<sup>3</sup>/h in Angriff zu nehmen.

### 3.6 Errichtung einer mobilen Container-Prototypanlage zur Behandlung von Schiffsballastwasser im Industriemaßstab

Vor dieser letzten und wichtigsten F&E-Projektphase an der Hochschule Emden mussten die Vorbedingungen seitens des Auftraggebers als auch des Forschungsteams in Emden eindeutig geklärt sein, um erfolgreich den letzten Scale-up-Schritt zu vollziehen. Nach der eigenen Marktanalyse und der Auswertung aller bisherigen Forschungsergebnisse hat der industrielle Forschungspartner folgendes finale Design des Industriemaßstab-Prototyps festgelegt:

- Als erste Stufe sollte ein Patronenfilter der Fa. Hydac fungieren. Die Weiterentwicklung der ebenso erfolgreichen Kleinhydrozyklone zu einem Multizyklon-Modul erschien dem Auftraggeber als zu langwierig und zu unsicher. Die Fa. Hydac hatte bereits Referenzen im Ballastwassergeschäft aufzuweisen und war langjähriger Handelspartner unseres industriellen Auftraggebers.
- Als zweite Stufe wurde ein serienmäßiges Modul der Fa. LIT UV-Technology aus Moskau ausgewählt, welches europaweite Referenzen in der Trinkwasser-entkeimung aufwies. Die LIT UV-Technology fertigte bereits zu diesem Zeitpunkt sowohl ihre UV-Niederdrucklampen als auch die kompletten Anlagen seit über 20 Jahren in Isseroda bei in Weimar. Der Hochleistungs-UV-Reaktor wurde aus hochlegiertem Edelstahl gefertigt. Durch seine optimale hydrodynamische Auslegung und des sehr guten Reflexionsvermögens des polierten Edelstahls im Reaktorinneren konnte er die maximale Lichtausbeute der Mitteldruck-Hg-UV-Lampen erzielen.

Sowohl der ausgewählte Filter- als auch das UV-Modul waren kurzfristig verfügbar. Über die Projekte von Dr. Buse und Prof. Fröhlich konnte dann auch kurzfristig Ende 2013 der Kontakt zu den Emdener Werft- und Dockbetrieben – EWD aufgenommen werden, um in kürzester Zeit eine komplette autonome und mobile Container-Schiffsballastwasseranlage zu errichten. [22]



**Abbildung 49: Roh-Aufbau UV-Reaktor, Filter und Piping des 250 m<sup>3</sup>/h Prototyps [22]**



**Abbildung 50: Anlage bereits im Container fest eingebaut und lackiert [22]**

Nach knapp 3 Monaten war die Anlage bereits eingebaut, lackiert, elektrisch angeschlossen und verschaltet, so dass die Software der Steuerungs- und Automatisierungsprogramme aufgespielt, gestartet und überprüft werden konnten. Die finale Feinabstimmung erfolgte bereits im Hafen von Emden, wo mit echtem Hafenwasser die hydraulischen Tests, die Funktionalität und das Zusammenspiel aller Komponenten des Zertifizierungs-Prototyps nachgewiesen werden konnte.

Nach wenigen Tagen haben alle Systeme und Arbeitsabläufe einwandfrei funktioniert.

Entwicklung und Errichtung eines Prototyps zur Behandlung von Schiffsballastwässern im Industriemaßstab



**Abbildung 51: Softwaretests der Automatisierung und Anlagensteuerung [22]**



**Abbildung 52: Anlage am Hafenkai Emden**



**Abbildung 53: Hydac-Planktonfilter als erste Behandlungsstufe [22]**



**Abbildung 54: UV-Anlage und Probenahme nach erfolgreicher BW-Reinigung [22]**

Nach nur knapp vier Monaten – vom Baubeginn an – war die Prototypanlage einsatzbereit, so dass unsere Forschungsauftraggeber ein Treffen mit interessierten Schiffsinspektoren aus Emden, Leer und Umgebung organisiert haben, um das neue Produkt vorzustellen und zu präsentieren.



**Abbildung 55: Vorstellung BW-Anlagensteuerung [22]**



**Abbildung 56: Vorstellung der Filterkerzen [22]**

## Entwicklung und Errichtung eines Prototyps zur Behandlung von Schiffsballastwässern im Industriemaßstab

Die entwickelte Anlagentechnik fand großen Anklang bei den Inspektoren, die die Schiffssicherheit vor Ort überprüfen. Dabei konnten gegenseitig wichtige Tipps bzgl. Anlagenbetrieb, Schiffssicherheit und Effizienz ausgetauscht werden.

### **3.7 Zertifizierung der Prototypanlage im Rahmen der „Land-based-Tests beim DHI in Horsholm / Dänemark**



**Abbildung 57: Großtechnische DHI-Testanlage in Hundested zur Land-based-Tests und Zertifizierung nach der IMO D2, bzw. G8-Richtlinie [22]**

Von April bis Ende Oktober 2014 konnte der mit Hilfe des Teams der Emden Hochschule entwickelte mobile Prototyp der Schiffsballastwasser-Behandlungsanlage in zahlreichen Testreihen erfolgreich den ersten Teil der IMO-Zertifizierung, die sog. Land-based-Tests, in nur einem halben Jahr absolvieren. Diese fanden in der Testanlage der IMO-Authority von Dansk Hydraulisk Institut – DHI in Hundested / Dänemark statt.



**Abbildung 58: Panorama-Aufnahme der Innenansicht des mobilen Ballastwasser-Prototyps während der Zertifizierungs-Abläufe der Land-based-Tests [22]**

Nach Aussage von Dr.-Biol. Gitte Ingelise Petersen, der DHI-Laborleiterin, haben solch eine erfolgreiche und problemlose Prozedur weniger als 25 % der in Hundested überprüften Anlagen auf Anhieb bestanden. Einige Anlagenhersteller mussten sogar mehrere Jahre aktiv sein, um das IMO-G8-Zertifikat zu erhalten.

### **3.8 Ship-Approval an Bord eines Schiffes**

Im Jahre 2015 wurde dann in ein Schiff einer niederländischen Reederei ein weiterer Prototyp der Ballastwasser-Behandlungsanlage eingebaut, um unter Aufsicht von Det Norske Veritas – DNV (heute DNV/GL), einer Klassifikationsgesellschaft mit dem Zweck des Schutzes von Leben, Eigentum und Umwelt sowie weiterer analytischer Überwachung durch das Dansk Hydraulisk Institut – DHI – den zweiten Teil der IMO-Zertifizierung, das sog. Ship-Approval zu absolvieren. /22/

Erschwerend bei dieser finalen Operation war, dass der komplizierte Einbau in das Schiff nicht während eines längeren Aufenthaltes im Dock stattfinden konnte, sondern während der Pendelfahrten zwischen westeuropäischen und südamerikanischen Häfen. So musste vieles improvisiert werden, und es dauerte alles erheblich länger, bis die Anlagentechnik einsatzbereit war.

Unglücklicherweise hat der Industrielle Forschungsauftraggeber kurz vor der Vollendung des sog. Ship-Approvals und dem endgültigen erfolgreichen Abschluss des IMO-Zertifizierungs-Procedere nach der G8-Richtlinie dieses interessante neue Produkt aus seinem Portfolio aufgeben müssen.

Diese gewichtige strategische Entscheidung hatte mehrere Gründe:

- Zum einen hat die amerikanische Küstenwache, die US-Coast-Guard-Authority, im Jahr 2015 die Wirksamkeit der bisher in Europa erteilten IMO-Zertifikate als nicht ausreichend eingestuft und weitergehende, über die Kombination aus Filtern und UV-Desinfektion herausgehende, Behandlungsstufen nachgefordert.
- Zum zweiten, falls man mehrere Anlagen bereits im Nordamerika-Geschäft verkauft hätte, so hätten viele Schiffseigner Garantieansprüche anmelden können. Dabei wäre ein Neueinsteiger im Ballastwasser-Geschäft wahrscheinlich sehr schmerzliche Einbußen hinnehmen müssen.
- Zum dritten wollte der Auftraggeber keine weitere zusätzliche „teure Runde“ im Zertifizierungs- und Nachzertifizierungskrieg mit der US-Coast-Guard-Authority eingehen.
- Zum vierten ist durch die Verschärfung der politischen Lage durch die Ukraine-Krise ein europäisches Embargo gegen die Russische Föderation erlassen worden. Dies führte vollständig zum Wegfall dieses wichtigen Marktes im Standard-Portfolio unseres Auftraggebers. Dies erforderte schmerzliche Anpassungen in der Gesamtstrategie und dem F&E-Aufwand des industriellen Forschungspartners.
- Schlussendlich kam 2015 die wirtschaftliche Schwächephase in China hinzu, so dass kein Ausgleich der o.a. Einbrüche im weltweitem Anlagenbaugeschäft gegeben war.

Als einziger „Lichtblick“ verbleibt noch, dass der industrielle Investor einen Partner / Käufer für das neuartige, technisch erfolgreiche Produkt findet.

## 4 Projektfazit und Ausblick



**Abbildung 59: Das komplette Schiffs-Ballastwasser-Forschungsteam der Hochschule Emden: v.l.n.r. CTA Christine Kampen, Dipl.-Mikrobiol. Krisitna Siers, M.-Eng. Vivart Kapoor – der Masterstudent (vorn), M.-Eng. Lars Spangemacher (hinten), Dr. Hauke Buse, und Prof. Dr. Siegmund Richard Fröhlich**

Hiermit bedanken wir uns – Lars Spangemacher und Prof. Dr. Fröhlich – bei folgenden Protagonisten des wissenschaftlich außerordentlich anspruchsvollen Forschungsvorhabens:

- Bei dem Forschungsauftraggeber und seiner Firma für das erwiesene große Vertrauen und die großzügige finanzielle und materielle Ausstattung unseres gemeinsamen fünfjährigen Forschungsvorhabens.
- Ganz besonderer Dank gilt M.-Eng. Vivart Kapoor, dem Masterstudent, der dieses Forschungsvorhaben mit initiiert hat.
- Bei dem gesamten Forschungsteam für die hervorragende, kompetente und zügige Mitarbeit im gesamten Projektverlauf.
- Bei der Hochschul-Leitung sowie den Kollegen der Hochschule Emden, die das „Risiko“ des Großprojektes mitgetragen und unser Projekt stark unterstützt haben.
- Den Kollegen Professoren und Mitarbeitern der Fakultät Maschinenbau der Technischen Universität Wrocław, die uns wissenschaftlich begleitet haben.
- Bei der Fa. Emden Werft- und Dockbetriebe – EWD – die in perfekter Profiarbeit die Zertifizierungs-Prototypanlage in Rekordzeit errichtet hat.
- Bei den ehemaligen Mitarbeitern des ITI-Technologieinstituts, mit dessen Hilfe das Projekt gestartet werden konnte.
- Bei den Mitarbeitern der Technologietransferstelle der Hochschule Emden.
- Bei den Mitarbeitern der Technologiepool-GmbH für die konstruktive Unterstützung.
- Sowie allen anderen Firmen, Personen und Mitarbeitern die tatkräftig zum Erfolg des Vorhabens beigetragen haben und nicht namentlich genannt worden sind.

Möge dieses Projekt vielleicht mit der Übernahme durch einen neuen Investor zu einem erfolgreichen neuen Serienprodukt werden.

Vielen Dank!

Dziękujemy bardzo!

Большое спасибо!

Çok teşekkürler!

□□□□ □□□□□□□□!

Thank you & see you in Emden!

## 5 Quellen- / Literaturverzeichnis

- [1.] Abb.1 – Festballast am Beispiel eines Querschnittes durch eine römische Kampfgaleere – Marinemuseum A Coruña / Spanien, Privatphoto Prof. Fröhlich
- [2.] „International Convention for the Control and Management of Ships’ Ballast Water and Sediments, 2004 (BWM 2004)- not in force“ – pdf-Dokument von Homepage der International Maritime Organisation - IMO, London, Stand 15. 12. 2016
- [3.] Herausforderungen bei der Behandlung von Ballastwasser Dr. Kai Trümpler, BSH-Vortrag zum 19. Meeresumwelt-Symposium am 09. Juni 2009 in Hamburg
- [4.] „Status of multilateral Conventions and Instruments in respect of which the international Maritime Organization or its Secretary-General performs depositary or in other functions“ – pdf-Dokument von der Homepage der - IMO, London, Stand 15. 12. 2016
- [5.] „Nonindigenous Aquatic Nuisance Prevention Control Act of 1990 – NANPCA, US-Coast-Guard, <http://www.anstaskforce.gov/Documents/nanpca90.pdf>
- [6.] Homepage des Bundesamtes für Bundesseeschifffahrt und Hydrographie: [www.BSH.de](http://www.BSH.de)
- [7.] „Records of Instruments“ – pdf-Dokument von Homepage der International Maritime Organisation - IMO, London, Stand 15. 12. 2016
- [8.] „List of ballast water management systems that make use of Active Substances which received Basic Approval from IMO1“ – pdf-Dokument von Homepage der International Maritime Organisation - IMO, London, Stand 15. 12. 2016
- [9.] „Guidelines for Approval of Ballast Water Management Systems (G8) – Resolution MEPC.174(58) – pdf-Dokument von Homepage der International Maritime Organisation - IMO, London, Stand 15. 12. 2016
- [10.] „Procedure for Approval of Ballast Water Management Systems that make use of Active Substances (G9) – Resolution MEPC.169(57)“ – pdf-Dokument von Homepage der International Maritime Organisation - IMO, London, Stand 15. 12. 2016
- [11.] „Ballast water management control: An overview“ - Pughuic D. Stand: Juli 2001 <[www.imo.org/includes/blastData.asp/doc\\_id=1733/Ballast%20Water%20-%20Pughuic.pdf](http://www.imo.org/includes/blastData.asp/doc_id=1733/Ballast%20Water%20-%20Pughuic.pdf)
- [12.] Techcross, California state land commission, <[http://www.slc.ca.gov/Spec\\_Pub/MFD/Ballast\\_Water/Documents/2009CSLC\\_TechUpdate\\_final.pdf](http://www.slc.ca.gov/Spec_Pub/MFD/Ballast_Water/Documents/2009CSLC_TechUpdate_final.pdf)>
- [13.] „Business System Analysis of Ballast Water Treatment System Market“ – Hochschule Emden, 2010, Master Thesis Vivart Kapoor
- [14.] „Pilot Testing of Hydrocyclones for Ballast Water treatment Systems“ – Hochschule Emden 2010, Master Thesis Ufuk Oktav
- [15.] „Hydrocyclone Comparison-Study on Ballast Water Treatment“ – Hochschule Emden, 2011, Master Thesis Elif Yildiz Arli
- [16.] „Offshore-Pilotversuche zur Ballastwasseraufbereitung“ – Hochschule Emden, 2011, Diplomarbeit Christopher Hemmke
- [17.] „Vortests im Zuge einer Vorab-Zertifizierung der Ballastwasser-Behandlungsanlage“ – Hochschule Emden, 2011, Master Thesis Lars Spangemacher
- [18.] „Aufbau und Betrieb eines Prüfstands zur Untersuchung kavitierende Düsenströmungen“, TU Kaiserslautern, Institut für Strömungsmaschinen und Strömungstechnik, 2011, Studienarbeit Nico Schwarz
- [19.] „Ballastwasserbehandlung – Möglichkeiten und Einsatzgebiete einer Anlage nach dem Upscaling von 5 m<sup>3</sup>/h auf 250 m<sup>3</sup>/h“ – Hochschule Emden 2012, Bachelorarbeit Mark Grauerholz
- [20.] Interne Berichte zur Modellierung der Schallausbreitung in wässrigen Medien, 2012, 2013, Industrial Science Aninstitut der TU Kaiserslautern
- [21.] „Anlagenplanung“ –Vorlesungsfolien Prof. Dr. Siegmund R. Fröhlich im Master-Studiengang der Hochschule Emden-Leer (2016/17)
- [22.] „Interne Berichte der Arbeitsgruppe Schiffsballastwasser-Behandlung“ – Prof. Dr. Siegmund R. Fröhlich, Hochschule Emden 2010 – 2016
- [23.] Interne Berichte zur Modellierung der Strömungsausbreitung in verfahrenstechnischen Apparaten, 2012, 2013, Institut für Strömungsmaschinen und Strömungstechnik der TU Kaiserslautern
- [24.] Carnival Cruise Lines Homepage: [Carnival Cruise Lines Fact Sheets](http://www.carnivalcruiselines.com). Stand 06.01. 2017 und interne Informationen der Lloyd-Werft / Bremerhaven