

Schriftenreihe Umweltingenieurwesen

Band 92

Dissertation

Marcus Siewert

Bewertung der Ölhavarievorsorge im deutschen Seegebiet auf Grundlage limitierender Randbedingungen – Ein Beitrag zur Verbesserung des Vorsorgestatus

Professur

Geotechnik und Küstenwasserbau

Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät

**Universität
Rostock**



Traditio et Innovatio

Dissertation

HERAUSGEBER

Prof. Dr.-Ing. Fokke Saathoff
Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Professur Geotechnik und Küstenwasserbau
18051 Rostock

CIP-KURZTITELAUFNahme

Dissertation Marcus Siewert
Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Rostock, 2019

© Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät,
18051 Rostock

BEZUGSMÖGLICHKEITEN

Universität Rostock
Universitätsbibliothek, Schriftentausch,
18051 Rostock
Tel.: 0381/498-8639, Fax: 0381/498-8632
E-Mail: tausch.ub@uni-rostock.de

Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Professur Abfall- und Stoffstromwirtschaft
Justus-von-Liebig-Weg 6, 18059 Rostock
Tel.: 0381/498-3401, Fax: 0381/498-3402

ISBN 978-3-86009-492-1

Universität Rostock
Geotechnik und Küstenwasserbau

Gedruckt in Deutschland auf Recyclingpapier.

Universität Rostock



Traditio et Innovatio

Aus der Professur Geotechnik und Küstenwasserbau
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

Bewertung der Ölhavarievorsorge im deutschen Seegebiet auf Grundlage limitierender Randbedingungen – Ein Beitrag zur Verbesserung des Vorsorgestatus

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Rostock

vorgelegt von
M.Sc. Marcus Siewert
Am Walde 3, 18311 Ribnitz-Damgarten

Rostock, den 04.07.2018

GUTACHTER

Prof. Dr.-Ing. Fokke Saathoff

Professur Geotechnik und Küstenwasserbau
Universität Rostock

Prof. Dr.-Ing. habil. Birgitt Brinkmann

Fakultät Nachhaltigkeit
Leuphana Universität Lüneburg

Dr. rer. nat. Martin Powilleit

Lehrstuhl Meeresbiologie
Universität Rostock

Datum der Einreichung: 4. Juli 2018

Datum der Verteidigung: 11. Dezember 2018

Vorwort

Die vorliegende Publikation ist die gedruckte Fassung der Dissertation von Herrn

Dr.-Ing. Marcus Siewert,

die er am 11. Dezember 2018 an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock mit **cum laude** verteidigt hat.

Die Arbeit wurde von **Herrn Prof. Dr.-Ing. Fokke Saathoff**, dem Inhaber der Professur Geotechnik und Küstenwasserbau der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock, betreut und begutachtet. Weitere Gutachter waren **Frau Prof. Dr.-Ing. habil. Birgitt Brinkmann**, Professorin für Wasserbau an der Fakultät Nachhaltigkeit der Leuphana Universität Lüneburg und **Dr. rer. nat. Martin Powilleit** vom Lehrstuhl Meeresbiologie am Institut für Biowissenschaften der Universität Rostock.

Die von Herrn Dr. Siewert vorgelegte Dissertation hat die Untersuchung und Bewertung der deutschen Ölhavarievorsorge im marinen Bereich der Nord- und Ostsee zum Thema. Seit der ersten durch Menschen verursachten Ölhavarie (aus dem Jahr 1967) hat sich viel verändert. Signifikante Verbesserungen wurden erzielt, um die Anzahl an Havarien und die Menge des ausgetretenen Öls zu reduzieren. Im Falle einer Havarie stehen unterschiedliche Methoden und Werkzeuge zur Bekämpfung zur Verfügung. Die mechanische Aufnahme von Öl auf der Wasseroberfläche ist die älteste, aber auch häufigste Methode zur Bekämpfung von Ölhavarien. Auch wenn diese Methode seit mehreren Jahrzehnten angewendet wird, gibt es erhebliche Schwierigkeiten in der praktischen Anwendung. Der vorherrschende Seegang beeinflusst die Effektivität der Methode erheblich.

Vor dem Hintergrund dieser Tatsache wurde der Status der Ölhavarievorsorge in Deutschland bewertet. Existierende Wind- und Seegangsdaten für die Nord- und Ostsee wurden geprüft und für statistische Analysen verwendet. Im Ergebnis wurden für die deutsche Ostsee und deutsche Nordsee jeweils 68 Karten mit unterschiedlichen statistischen Parametern erarbeitet. Für eine große Anzahl an Stationen wurden diese Daten punktuell ausgewertet. Anschließend wurden diese Daten benutzt, um existierende Ölhavarie-notfallpläne in Deutschland zu bewerten. Dies beinhaltet ebenfalls rechtliche und organisatorische Aspekte.

Die im Rahmen der Arbeit erstellten Karten und Graphen zeigen die starken lokalen und jahreszeitlichen Schwankungen der mittleren Wellenhöhen. Diese Informationen verknüpft Herr Dr. Siewert zur Beurteilung der Einsatzfähigkeit der zuvor erläuterten Methoden. Es wird aufgezeigt, dass die von den deutschen Behörden eingesetzte Methode der mechanischen Ölhavariebekämpfung aufgrund der lokalen und jahreszeitlichen Überschreitung der zulässigen Wellenhöhen nur von sehr eingeschränkter Effizienz ist.

Das Konzept der luftgestützten Ölbinderabbringung und seeseitigen und landseitigen Bergung als Alternative zu vorhandenen Methoden wird erklärt und in Bezug zu den identifizierten Problemen gesetzt. Die dazugehörigen Komponenten werden erläutert und drei unterschiedliche Einsatzszenarien beschrieben. Schlussendlich wird ein konkretes Beispiel für den Einsatz der Methode im Rahmen der deutschen Randbedingungen erläutert. Dieses Beispiel wird durch Erfahrungen aus dem praktischen Einsatz der Methode im südlichen Ostseeraum untermauert.

Eine Diskussion zum Thema Bindemittel, deren einsatzrelevante Besonderheiten und den Mangel an Alternativen schließen die Dissertation ab. Für eine unkomplizierte und nachhaltige Nutzung der Daten

wurde eine Website erstellt, auf der alle erzeugten Karten und Abbildungen für die Nord- und Ostsee für jedermann abrufbar sind (www.seegang.info).



Prof. Dr.-Ing. Fokke Saathoff

Danksagung des Verfassers

In der vorgelegten Dissertation werden die deutschen Ölhavarievorsorge im marinen Bereich der Nord- und Ostsee untersucht und bewertet. Die Arbeit ist im Rahmen der Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur Geotechnik und Küstenwasserbau der Universität Rostock in unterschiedlichen Forschungsprojekten auf deutscher und internationaler Ebene entstanden. Im Folgenden möchte ich mich bei einigen Personen bedanken, die mich auf meinem Weg begleitet und unterstützt haben.

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Fokke Saathoff für die Unterstützung und das entgegengebrachte Vertrauen bedanken. Die mir gegebenen Freiheiten zur Entwicklung dieser Arbeit sind keine Selbstverständlichkeit. Gleichwohl haben sie substanziiell dazu beigetragen, dass diese Arbeit entstehen konnte. Diese Freiheit, in Verbindung mit konstruktiver Kritik, waren mir Stütze und Ansporn über viele Jahre hinweg.

Ich bedanke mich bei Frau Prof. Dr.-Ing. Birgitt Brinkmann und Herrn Dr. rer. nat. Martin Powilleit für die bereitwillige Übernahme der Koreferate und die wertvollen Anregungen, die zur Verbesserung der Arbeit beigetragen haben. Des Weiteren gilt mein Dank den heutigen und ehemaligen Kolleginnen und Kollegen der Professur Geotechnik und Küstenwasserbau, die in vielfältiger Art und Weise meinen wissenschaftlichen Werdegang begleitet haben.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Projekte BioBind und SBOIL. Die gemeinsamen Labor- und Freilandversuche waren eine große Herausforderung und haben ebenso große Freude bereitet.

Mein Dank gilt auch den vielen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der unterschiedlichen Behörden, mit denen ich im Zuge meiner Arbeit in Kontakt gekommen bin. Dazu gehören insbesondere das Staatliche Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg, das Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern (Referat 410 Gewässer- und Meeresschutz), das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie und das Havariekommando sowie das Amt für Umweltschutz der Hanse- und Universitätsstadt Rostock.

Ein besonderer Dank gebührt meiner Familie, die mir immer Halt und Motivation gibt.

Sie alle haben zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen, vielen Dank.



Dr.-Ing. Marcus Siewert

Abstract

Almost 80 % of the goods traded worldwide are transported at sea. The resulting traffic is the backbone of the world's economy. At the same time it creates serious threats to the marine environment and related economies. One of these threats is marine oil pollution. Since the first man made oil spill in 1967 significant improvements have been achieved to reduce the number of spills and the amount of spilled oil. Due to increasing traffic and the multipurpose use of the sea, the risk for oil spills still exists.

Several concepts to deal with marine oil spills are described in this publication. The mechanical recovery of oil from the water surface is the oldest but most common method. Even though this concept is used since many decades, there are still significant shortcomings in the practical application. The sea state conditions influence the effectiveness significantly. Based on this knowledge, the oil spill response preparedness of the German coast is assessed.

Existing wind and wave data for the North Sea and Baltic Sea have been verified and used for statistical analysis. A matrix of different parameters was defined, including significant wave height and frequency of occurrence for different wave heights. The parameters of this matrix were calculated for different periods of time. As a result 68 maps with different statistical parameters have been created for the German North Sea and the German Baltic Sea (www.seegang.info). These maps show the spatial distribution of the calculated data. For a large number of individual locations this data was also summarized for individual locations to show the temporal distribution of the parameters. Subsequently this data was used to assess the state of preparedness for oil spill response in Germany including legal and administrative aspects.

The concept of airborne sorbent application and seaborne and onshore recovery is introduced to address the identified problems in marine oil spill response. A description of the individual components is followed by the development of three different spill response scenarios. Finally an example for the possible integration and application of the spill response system within the German framework was developed. This is followed by experiences gained from the practical implementation of the technology in the South Baltic area.

A discussion about sorbents, their logistical peculiarities and missing alternatives are wrapping up this publication.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Motivation.....	1
1.3	Vorgehensweise.....	2
2	Der globale Schiffsverkehr und die Bedeutung für die marine Umwelt.....	3
2.1	Warentransport auf dem Seeweg.....	3
2.2	Öl auf dem Meer – Öl im Meer	4
2.3	Internationale Mechanismen zur Havarievorsorge und Bekämpfung	6
3	Kapazitätsplanung zur Ölhavariebekämpfung.....	8
3.1	Notfallpläne	8
3.2	Risikobewertung und Vorsorgemaßnahmen im deutschen Seegebiet (Bundesebene).....	9
3.3	Regionale Vorsorgemechanismen (Landesebene)	10
4	Methoden und Konzepte zur Ölhavariebekämpfung	12
4.1	Mechanische Bekämpfungsmethoden	13
4.2	Chemische Bekämpfungsmethoden.....	16
4.3	In-situ Verbrennung.....	17
4.4	Bioremediation	18
4.5	Grenzen herkömmlicher Bekämpfungstechnik.....	19
5	Statistische Auswertung von Seegangsdaten für die Deutsche Nord- und Ostseeküste als Grundlage der vorsorgenden Notfallplanung	21
5.1	Seegang.....	21
5.2	Datengrundlage.....	21
5.2.1	Ostsee.....	21
5.2.2	Nordsee.....	23
5.3	Grundlagen der statistischen Seegangsanalyse	24
5.3.1	Deskriptive Statistik	24
5.3.2	Extremwertstatistik	25
5.4	Auswertemethodik.....	25
5.4.1	Flächige Seegangsauswertung	26
5.4.2	Zeitliche Seegangsauswertung	27

Inhaltsverzeichnis

5.5	Ergebnisse	28
5.5.1	Seegangskarten	28
5.5.2	Karten Eintrittshäufigkeiten	29
5.5.3	Lokationsauswertung	30
5.5.4	Website	30
6	Bewertung vorhandener Methoden und Mittel zur Ölhavariebekämpfung in Deutschland auf Basis limitierender Randbedingungen	31
6.1	Mechanische Ölhavariebekämpfung in der Ostsee	31
6.2	Mechanische Bekämpfung Nordsee.....	35
6.3	Einordnung der Ergebnisse.....	37
7	Bindemittel als Ergänzung der mechanischen Ölhavariebekämpfung.....	39
7.1	Das System BioBind	39
7.1.1	Lowcost Ölerkennung und Überwachung.....	40
7.1.2	Biogene Ölbinder	41
7.1.3	Ölabbauende Mikroorganismen	42
7.1.4	Ölanalyse und ökotoxikologische Bewertung	42
7.1.5	Luftgestützte Ausbringung von Ölbindern	42
7.1.6	Seeseitige Bergung	43
7.1.7	Landseitige Bergung	44
7.1.8	Prozessmanagement BioBind	44
7.1.9	Weiterführung BioBind – SBOIL.....	44
7.2	Szenarien für den Einsatz von Bindemitteln.....	46
7.2.1	Mehrstufige Bekämpfung	46
7.2.2	Szenario lokale Verschmutzung (Stufe 1)	47
7.2.3	Szenario lokale bis regionale Verschmutzung (Stufe 2).....	47
7.2.4	Szenario Ölverschmutzung von nationaler oder internationaler Bedeutung (Stufe 3)	47
7.2.5	Einsatzbeispiel Ostsee	48
7.3	Praktische Umsetzung	53
7.3.1	Stabsübung zum grenzüberschreitenden Geräteeinsatz.....	53
7.3.2	Nautische Simulation zum strategischen Einsatz von Schiffskapazitäten	55
7.3.3	Praktische Übung zur Anwendung der Netzsperr.....	55

Inhaltsverzeichnis

7.4	Diskussion der Ergebnisse.....	56
7.4.1	Logistik.....	57
7.4.2	Bindemittel – Einsatz und Verwertung.....	58
7.4.3	Alternativlosigkeit.....	59
8	Zusammenfassung.....	60
9	Literaturverzeichnis.....	61
	Verzeichnisse.....	73
	Abbildungsverzeichnis.....	73
	Tabellenverzeichnis.....	75
	Anhang.....	77

Thesen

Lebenslauf

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Das 21. Jahrhundert steht im Zeichen der erneuerbaren Energien. Insbesondere bei der Erzeugung von Strom haben Wind, Sonne und Biomasse als Energielieferant enorm an Bedeutung gewonnen. Gleichzeitig ist aber auch der Bedarf nach fossilen Brennstoffen weiterhin hoch. Der weltweite Rohölverbrauch pro Tag lag im Jahr 2015 bei 95,3 Millionen Fass (1 US Barrel = 159l), Tendenz steigend (U. S. Energy Information Administration 2018). Rohöl wird vor allem in großen Tankschiffen und Pipelines über große Distanzen transportiert. Zusätzlich fährt ein Großteil der weltweiten Handelsschiffe mit Schweröl als Treibstoff, was die Menge auf See befindlichen Öls erhöht. Im Falle eines Schiffsunfalls auf See besteht die Gefahr eines Ölaustritts in großen Mengen. Damit einher geht ein erhebliches Risiko für die marine Umwelt und die maritime Wirtschaft.

Seit der ersten großen Ölhavarie im Jahr 1967 wurden eine Vielzahl von Methoden und Technologien entwickelt, um ausgetretenes Öl von der Wasseroberfläche zu entfernen. Aufwand und Nutzen standen und stehen dabei nicht immer in einem ausgewogenen Verhältnis. Der Zustand des Öls und die herrschenden meteorologischen und hydrodynamischen Randbedingungen beeinflussen die Reinigungsleistung maßgeblich. Keine der verfügbaren Technologien ist uneingeschränkt anwendbar. Jedem Einsatz sollte eine sachliche Bewertung der Situation vorangestellt sein. In der Realität ist das nicht immer der Fall und falsche Technik am falschen Ort führt zu ungenügenden Ergebnissen. Vor allem starker Seegang und lange Anfahrtszeiten sorgen für eine geringe Reinigungsleistung.

1.2 Motivation

Die Herstellerangaben zur potentiellen Reinigungsleistung einzelner Geräte beziehen sich häufig auf Messungen im Labor. Im Falle einer echten Havarie können sich die Randbedingungen auf See erheblich von den Randbedingungen im Labor unterscheiden. Das führt zu einer signifikanten Abnahme der Reinigungsleistung in der Praxis. Ungeachtet des Wissens über die Seegangsabhängigkeit werden die Kennzahlen der vorhandenen Geräte kumuliert und daraus nationale und internationale Bekämpfungskapazitäten abgeleitet. Die so ermittelten Zahlen dienen zur Aufstellung von Notfallplänen, welche eigentlich nur bei ruhiger See gültig sind. Die Vielfalt der Hersteller und Geräte sowie fehlende Standards zur Bewertung der Reinigungsleistung haben diese Praxis weiter gefestigt. Auf Seiten der Industrie sind keine Aktivitäten zu erkennen, die technischen Kennzahlen ihrer Geräte in Abhängigkeit des Seegangs anzupassen. Die dafür erforderlichen aufwändigen und teuren Tests würden vor allem dazu führen, dass die Geräte schlechter bewertet werden als bisher. Auf Seiten der Behörden gibt es erste Bemühungen, die Kalkulationspraxis der vergangenen Jahrzehnte auf den Prüfstand zu stellen. Die US-Behörden haben im Nachgang zur Explosion der Bohrplattform *DEEPWATER HORIZON* die Reinigungsleistung mit dem tatsächlich auf der Wasseroberfläche verfügbaren Öl verknüpft (Caplis 2018). Die alten Kennzahlen basierten häufig auf Laboruntersuchungen mit Ölschichtdicken von mehreren Dezimetern. In der Realität ist das Öl aber häufig nur wenige Millimeter dick. Auch eine seegangsbedingte Reduzierung der Reinigungsleistung wird angesprochen, aber nicht in die Kalkulationen einbezogen. Aufgrund der negativen Öffentlichkeitswirksamkeit scheuen sich die Behörden Grenzwerte für die sinnvolle Bekämpfung zu formulieren. Persönliche Gespräche mit den Besatzungen von Bekämpfungsschiffen haben aber gezeigt, dass der Zusammenhang von Reinigungsleistung und Seegang zumindest in der Praxis bekannt ist (Kurras 2018).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist

- die statistische Auswertung von Seegangsdaten für die deutsche Ostsee und Nordsee,
- die Verknüpfung der Statistik mit vorhandenen Notfallplänen und
- die Identifikation alternativer Bekämpfungsmethoden.

1.3 Vorgehensweise

Nach einer Einführung in den globalen Schiffsverkehr (Kapitel 2) werden die Grundsätze der Ölhavariebekämpfung beschrieben (Kapitel 3). Kapitel 4 beschreibt die Prozesse zur Aufstellung von Notfallplänen auf nationaler und internationaler Ebene. Den Abschluss der Grundlagen bildet die Festlegung von Grenzen der Havariebekämpfung.

Für die statistische Auswertung von Seegangsdaten (Kapitel 5) wurden verfügbare Mess- und Modelldaten für einen möglichst langen Zeitraum gesucht. Die identifizierten Modelldaten stammen aus einem abgeschlossenen europäischen Forschungsprojekt. Ihre Qualität wurde durch Vergleiche mit Messdaten validiert. Die anschließend durchgeführte statistische Auswertung ist unterteilt in flächige und punktuelle Darstellungen. Als Ergebnis der flächigen Auswertung werden jeweils 68 Karten für die Ostsee und die Nordsee erzeugt, welche unterschiedliche statistische Parameter darstellen. An mehreren hundert Lokationen wurden punktuelle Auswertungen durchgeführt. Für eine unkomplizierte und nachhaltige Nutzung der Daten wurde eine Website erstellt, auf der alle erzeugten Karten und Abbildungen abrufbar sind. Kapitel 6 bewertet diese Seegangsstatisik mit Bezug auf technische Kennwerte der Ölhavariebekämpfung für die Ostsee und Nordsee.

Eine mögliche Alternative zur Ölhavariebekämpfung bei starkem Seegang wird in Abschnitt 7.1 beschrieben. Dem folgen theoretische Einsatzszenarien für die neue Technologie und ein konkretes Beispiel für die deutsche Ostseeküste unter Einbeziehung der zuständigen Behörden und dem Einsatz vorhandener Kapazitäten. Der positive Effekt praktischen Übens auf die Wahrnehmung der Technologie wird in Abschnitt 7.3 beschrieben. Den Abschluss der Arbeit bildet Abschnitt 7.4. Hier werden die abgeleiteten Ergebnisse mit Bezug auf die rechtlichen, administrativen und logistischen Randbedingungen in Deutschland diskutiert.

2 Der globale Schiffsverkehr und die Bedeutung für die marine Umwelt

2.1 Warentransport auf dem Seeweg

Die Globalisierung hat in den vergangenen 50 Jahren zu einem erheblichen Anstieg der weltweit transportierten Waren und Personen geführt. Der Abbau von Handelsbeschränkungen und das Inkrafttreten von Freihandelsabkommen waren maßgeblich an dieser Entwicklung beteiligt (world ocean review 2010). Durch die Einführung des Standardseecontainers wurde der Grundstein dafür gelegt, dass heute über 90 % des weltweiten Handels auf dem Seeweg durchgeführt wird (Suhr 2016). Neben Konsumgütern und Industrieerzeugnissen werden auch Rohstoffe auf dem Seeweg transportiert. Dazu gehören neben Eisenerz, Kohle und Getreide vor allem Rohöl und ölbasierte Produkte.

Die weltweite Handelsflotte umfasst etwa 90.000 Schiffe, 80 % davon sind kleine und mittlere Schiffe mit einer Bruttoreaumzahl BRZ (engl. gross tonnage gt) von < 25.000 gt (Klein: 100 – 499 gt, Mittel: 500 – 24.999 gt). Schiffe innerhalb dieser beiden Größenklassen transportieren etwa 20 % der weltweit vorhandenen gross tonnage. Im Umkehrschluss wird deutlich, dass 80 % der weltweiten gross tonnage auf 20 % der Schiffsflotte verteilt sind, welche in die Kategorie groß (25.000 < gt < 60.000) oder sehr groß (gt > 60.000) eingestuft werden (Equasis 2018). Der Warentransport auf dem Seeweg wird demnach durch große Schiffe geprägt. Dies gilt sowohl für Containerschiffe als auch für Massengutfrachter. Das größte Containerschiff, welches 2015 in Dienst gestellt wurde, hat ein gross tonnage von über 190.000 gt und kann 19.224 Standardcontainer (TEU) transportieren. Dies entspricht einer Verdreifachung der Ladekapazität pro Schiff innerhalb der vergangenen 20 Jahre (Adams 2015). Der größte Öltanker hat eine gross tonnage von 234.000 gt und kann 440.000 t Rohöl transportieren (Equasis 2016).

Die Verteilung der Handelsflotte auf unterschiedliche Schiffstypen sortiert nach deren Anteil an der weltweiten gross tonnage ist in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Verteilung der Anzahl und gross tonnage der weltweiten Handelsflotte auf unterschiedliche Schiffstypen ((Equasis 2018)

Rang	Schiffstyp	Anzahl [-]	Anteil [%]	gross tonnage [1000 gt]	Anteil [%]
1	Massengutfrachter	11.748	13	447.892	34,3
2	Öl- und Chemikalienanker	13.431	15	334.738	25,7
3	Containerschiffe	5.202	6	232.877	17,9
4	Stückgutfrachter	16.264	18	58.429	4,5
5	Gastanker	1.979	2	73.588	5,6
6	Ro-Ro Schiffe	1.493	2	49.815	3,8
7	Passagierschiffe	7.155	8	40.453	3,1
8	Offshoreschiffe	8.330	9	43.102	3,3
9	Serviceschiffe	5.233	6	11.032	0,8
10	Schlepper	18.510	20	5.199	0,4
11	Spezialschiffe	318	0	4.834	0,4
12	Andere Tanker	1032	1	2.346	0,2
Σ	Summe	90.695	100	1.304.305	100

Der resultierende Schiffsverkehr ist regional sehr unterschiedlich ausgeprägt. Die Haupthandelsrouten für Konsumgüter verlaufen von Asien nach Europa und Amerika. Die Finanz- und Wirtschaftskrise aus den Jahren 2007 bis 2009 führte nur temporär zu einer Verringerung der Export- und Handelsbilanzen und den dazugehörigen Schiffsbewegungen (World Trade Organization 2015). Wirtschaftliche Entwicklungen, politische und technische Veränderungen führen aber immer wieder zu Veränderungen der weltweiten Handelsrouten. Die Öffnung Chinas und der Beitritt zur Welthandelsorganisation 2001 haben zu einem enormen Wachstum der Schiffsbewegungen im asiatischen Raum geführt.

Abb. 1 zeigt eine Weltkarte mit Schiffsbewegungen von Handelsschiffen aus dem Jahr 2015. Daraus wird deutlich, wie intensiv einige Regionen der Welt von der Handelsschifffahrt genutzt werden. Ein derart hohes Verkehrsaufkommen, auf teilweise sehr beengtem Raum, birgt ein hohes Potential für Unfälle auf See. Diese Tatsache kann neben wirtschaftlichen auch ökologische Konsequenzen haben.

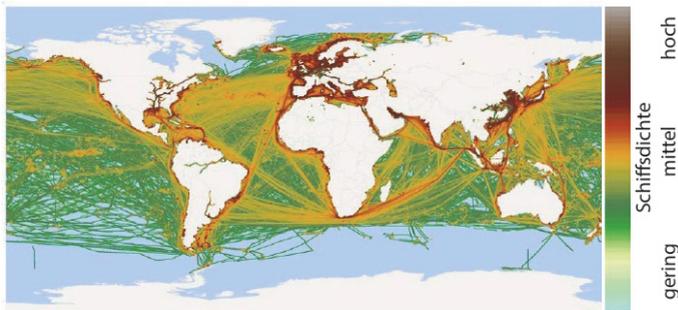


Abb. 1: Globale Schiffsdichte im April 2015 (Wu et al. 2017)

2.2 Öl auf dem Meer – Öl im Meer

Im Jahr 2017 waren mehr als ein Viertel der weltweit auf dem Seeweg transportierten Güter Rohöl oder ölbasierte Produkte (z.B. Kraftstoffe). In den Tankern der Welt wurden fast 2 Mrd. Tonnen Rohöl verschifft (Verband für Schiffbau und Meerestechnik e. V. 2018). Das entspricht etwa 40 % der weltweiten Produktion (Brinkmann 2012). Klassische Exporteure sind Länder aus dem arabischen Raum (z.B. Saudi-Arabien, Iran und Kuwait), Russland, Kanada, Brasilien oder Westafrika, während Europa, USA, China und Japan große Mengen an Rohöl importieren (The World Factbook 2016). Beim Transport von Rohöl kommt es aufgrund politischer Entwicklungen immer wieder zu Veränderungen der Warenströme. Die USA sind z.B. durch Öl aus nicht konventionellen Lagerstätten (so genanntes Fracking) vom Rohölimporteur zum Exporteur geworden (U. S. Energy Information Administration 2015). Der Ölexporteur Nummer eins bleibt aber unangefochten Saudi-Arabien gefolgt von Russland (Intelligence Agency 2016). Russisches Rohöl wird seit der Eröffnung des Umschlagterminals in Primorsk durch die Ostsee in die ganze Welt exportiert (Baltic Press 2013). Abb. 2 zeigt den weltweiten Transport von Rohöl und ölbasierten Produkten mit Tankern aus dem Jahr 2011. Die transportierte Menge hat sich in den vergangenen 30 Jahren fast verdoppelt (ITOPF 2018).

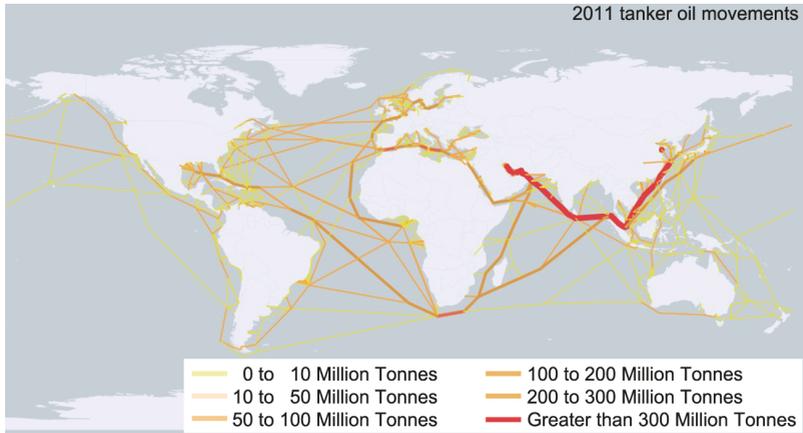


Abb. 2: Weltweiter Öltransport auf dem Seeweg im Jahr 2011 (Stevens 2014)

Trotz stetiger Bemühungen zur Verringerung von Risiken wie z.B. durch die Einführung der Doppelhüllenpflicht für Öltanker (IMO 1997; Brinkmann 2005), ist es in der Vergangenheit immer wieder zu Unfällen gekommen, bei denen erhebliche Mengen Rohöl ins Meer geflossen sind. Derartige Unfälle besitzen aufgrund der toxischen Eigenschaften bestimmter Rohölkomponenten ein enormes Schädigungspotential für die marine Umwelt und die dazugehörigen Wirtschaftszweige.

Rohöl ist ein Stoffgemisch aus über 15.000 unterschiedlichen und z.T. hochgiftigen Substanzen. Der größte Anteil entfällt auf unterschiedliche Kohlenwasserstoffe (z.B. Aromaten und Alkane). Weitere Bestandteile sind Wasser, Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff und Spuren vieler anderer Elemente (Bernem und Lübbe 1997). Die genaue Zusammensetzung des Rohöls ist sehr stark vom Ort der Förderung abhängig. Neben der chemischen Zusammensetzung sind Dichte, Viskosität sowie Flamm- und Stockpunkt des Öls von großer Bedeutung für die Förderung, den Transport, die Verarbeitung und das Verhalten im Wasser. Die Auswirkungen von Öl auf die marine Umwelt sind abhängig von der Art des Öls, dessen Konzentration sowie der Verweildauer des Öls im Wasser.

Natürliche Öleinträge aus submarinen Lagerstätten gibt es seit vielen Millionen Jahren. In Abhängigkeit der geologischen Randbedingungen wird unterschieden in Gebiete mit hohem und mittlerem Leckage-potential. Jüngste Schätzungen gehen davon aus, dass etwa 47 % des jährlich eingetragenen Öls aus natürlichen Quellen stammt. Jährlich fließen also zwischen 200.000 t und 2.000.000 t Rohöl ins Meer. Die so genannte „beste Schätzung“ beträgt 600.00 t jährlich (Kvenvolden und Cooper 2003). Die „erste“ große Ölhavarie wurde durch die Strandung des Schiffes *TORREY CANYON* im Jahr 1967 vor der Küste von Südengland verursacht. Damals flossen 119.000 t Rohöl ins Meer und verschmutzten über 200 km englischer und 150 km französischer Küste (Zuckerman 1967). Die größte Ölhavarie durch einen Öltanker (287.000 t Rohöl) war der Untergang der *ATLANTIC EMPRESS* im Jahre 1979 vor Tobago, die allerdings nur zu einer geringen Verschmutzung der Küste führte (Hooke 1997). Der Ort der Ölhavarie sowie die herrschenden meteorologischen und hydrodynamischen Randbedingungen, sind von enormer Bedeutung für die Art und Schwere der Verschmutzung (ITOPF 2011c). Die Anzahl großer Ölhavarien durch Tanker ist seit über dreieinhalb Jahrzehnten rückläufig.

Daraus die Tatsache abzuleiten, dass das Risiko für Meeresverschmutzungen durch Öl nicht mehr vorhanden ist, wäre ein fataler Irrglaube. Die Explosion der Bohrinsel *DEEPWATER HORIZON* im Golf von Mexico im Jahr 2010 hat zu einem Eintrag von ungefähr 660.000 t Rohöl geführt (United States 2011). Neben den Ölverschmutzungen im Persischen Golf während des Irakkrieges 1990 (Hayes et al. 1995) ist das die größte Menge an Rohöl, die durch anthropogene Einflüsse je ins Meer gelangt ist. Die ökologischen Konsequenzen einer derartigen Havarie sind von erheblichem Ausmaß und von langer Dauer. Die daraus resultierenden wirtschaftlichen Konsequenzen können ebenso erheblich sein (ITOPF 2011b).

Schiffe, die kein Rohöl transportieren, aber selber mit Schweröl oder Diesel betrieben werden, stellen eine weitere signifikante Quelle für marine Ölverschmutzungen dar. Dies betrifft nahezu alle Schiffe weltweit, da die Zahl der Schiffe mit alternativen Antrieben verschwindend gering ist (Graugaard 2013). Die Tankvolumina für den Schiffstreibstoff reichen von 1.200 t bei kleineren Container-Schiffen (Rohde 2016), über 2.500 t bei modernen Kreuzfahrtschiffen bis zu 15.000 t bei großen Containerschiffen (American Shipper 2015). Das resultierende Schadenspotential bei einer Kollision oder Strandung ist enorm. Weitere Quellen anthropogener Öleinträge sind z.B. schadhafte Pipelines, verunfallte Tankzüge, Probleme beim Betanken von Schiffen oder Fehler beim Schiff-zu-Schiff-Umschlag von Rohöl.

Die räumliche und die zeitliche Verteilung einer Öleinleitung entscheiden maßgeblich über die Intensität einer Ölhavarie, die Art des betroffenen Ökosystems, die Anzahl verschmutzter Bauwerke, Fahrzeuge und beeinträchtigte Industrien sowie über die Dauerhaftigkeit und die wirtschaftlichen Konsequenzen (Bernem und Lübke 1997; ITOPF 2011c). Zusätzlich zu den tatsächlich auftretenden Schäden entsteht durch unsachliche mediale Darstellungen häufig der Eindruck, die Ölhavarie bedeutet das Ende für alle marinen Lebewesen ohne Aussicht auf Erholung sowie den Verlust der kompletten maritimen Wirtschaft (Perry und Pantou 2011). Dass dieses nicht der Fall ist, zeigt eine Vielzahl von Untersuchungen im Nachgang großer Havarien. Dennoch sollte dem Vorsorgeprinzip Rechnung getragen werden (Arndt 2009) und das Risiko für Ölhavarien minimiert sowie Pläne für deren Bekämpfung entwickelt werden.

2.3 Internationale Mechanismen zur Havarievorsorge und Bekämpfung

Die Havarie der *TORREY CANYON* im Jahr 1967 gab den Anstoß für die Entwicklung des ersten internationalen Abkommens zum Schutz der Meeresumwelt. Im Jahr 1973 bzw. 1978 wurde die „International Convention for the Prevention of Pollution from Ships“ kurz MARPOL verabschiedet (IMO 1997). Neben allgemeinen Verpflichtungen zum Schutz der Meeresumwelt enthält die Konvention eine Vielzahl von konkreten Regeln, welche bestimmten Verschmutzungskategorien zugeordnet sind (z.B. „Annex I Regulations for the Prevention of Pollution by Oil“ oder „Annex V Prevention of Pollution by Garbage from Ships“). Mittlerweile gibt es einige Konventionen und Abkommen, welche sich ausschließlich dem Thema Ölhavarien widmen. Die „International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation“ aus dem Jahr 1990 benennt u.a. den Bedarf angepasster Notfallpläne, standardisierter Schadensberichte, nationaler Bekämpfungskapazitäten, internationaler Kooperationen sowie gemeinsamer Forschung und Entwicklung (IMO 1991). Weitere wichtige Institutionen auf diesem Gebiet sind die 1968 gegründete International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF) sowie der 1971 gegründete International Oil Pollution Compensation Funds (IOPC Funds). ITOPF ist eine gemeinnützige Organisation, deren Hauptziel die Verbreitung von Wissen zur Havariebekämpfung ist.

Dies geschieht u.a. über die Veröffentlichung von Handbüchern sowie über Vor-Ort-Beratung im Falle einer echten Havarie (ITOPF 2015b). Der IOPC Funds wurde mit dem Ziel gegründet, die Beseitigung ölbefindiger

Schäden zu bezahlen und beteiligte Personen bzw. Institutionen finanziell zu entschädigen, falls die Schäden die Mittel des Verursachers überschreiten. Die verfügbaren Mittel stammen aus den Beiträgen der 114 Mitgliedsländer, die sich an der Summe des über den Seeweg importierten Öls eines jeweiligen Landes bemisst (International Oil Pollution Compensation Funds 2012). In erster Instanz greift aber die „Civil Liability and Fund Conventions“, welche den Besitzer eines Tankschiffes in Abhängigkeit der transportierten Ölmenge in Haftung nimmt (International Oil Pollution Compensation Funds 2011). Die weltweiten Konventionen werden durch eine Vielzahl von nationalen Gesetzen und multilateralen Abkommen ergänzt. Zu den wichtigsten zählen u.a. der Oil Pollution Act der USA (United States Environmental Protection Agency 1990), das Bonn Agreement für die Nordsee (Bonn Agreement 2001a), die Helsinki Convention für die Ostsee (Helcom - Baltic Marine Environment Commission November 2008), das Gesetz der europäischen Kommission zur Einrichtung der European Maritime Safety Agency EMSA (European Parliament 2002) und das Gesetz der deutschen Bundesregierung zur Einrichtung des Havariekommandos (Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2002b).

Um im Falle einer Havarie Bekämpfungsmaßnahmen zeitnah durchführen zu können, gibt es sowohl staatliche als auch private Institutionen, die die praktische Ölberäufung übernehmen. Die europäischen Küstenstaaten haben unter der Führung der EMSA ein Netzwerk von Bekämpfungsschiffen im gesamten europäischen Raum aufgebaut (Abb. 3). Diese kommerziell betriebenen Schiffe und weiteres Equipment an Land können kurzfristig mobilisiert werden und sind in der gesamten EU einsetzbar (European Maritime Safety Agency 2014b). Eine Vielzahl von Verträgen zwischen der EU, den Mitgliedsländern und den Schiffsbetiebrern sichert einen reibungslosen Einsatz in nationalen und internationalen Gewässern sowie die anschließende Übernahme von Kosten. Ergänzend dazu gibt es globale Netzwerke von Firmen, welche ihren Kunden globalen Service zur Ölhavariebekämpfung anbieten (Global Response Network 2014). Vor allem die erdölfördernde Industrie sowie große Tankschiffreedereien machen von diesem Angebot Gebrauch.

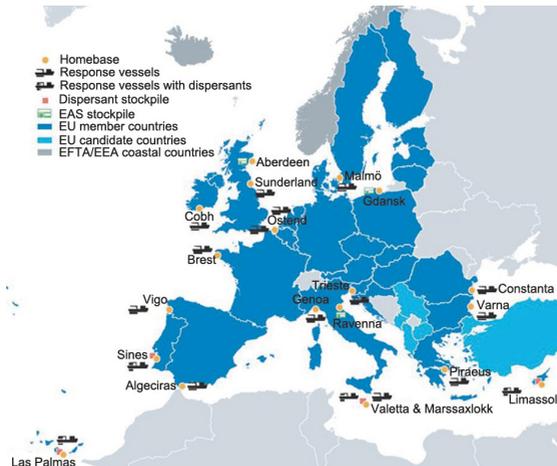


Abb. 3: Netzwerk der Ölhavariebekämpfungsschiffe und Gerätedepots der EU (European Maritime Safety Agency 2015).

3 Kapazitätsplanung zur Ölhavariebekämpfung

3.1 Notfallpläne

Um im Falle einer Ölhavarie angemessen vorbereitet zu sein, ist es wichtig, dass vorhandene Risiko richtig einzuschätzen, angepasste Kapazitäten anzuschaffen, vorzuhalten und Abläufe und Zuständigkeiten klar zu definieren. Notfallpläne (eng. contingency plans) können für Gebiete unterschiedlicher räumlicher Ausdehnung und administrativer Ebenen entwickelt werden (ISO 16165). Das Ziel jedes Notfallplans ist es, auf definierte negative Ereignisse bestmöglich vorbereitet zu sein, um deren Auswirkungen unter optimalem Ressourceneinsatz zu minimieren. Die Entwicklung eines Notfallplans kann in vier Teilschritten erfolgen (ITOPF 2011a):

1. Risikobewertung – Festlegung des Risikos unterschiedlicher Ölhavarien und deren Auswirkung
2. Strategische Ausrichtung – Festlegung von Zuständigkeiten und Bekämpfungsmitteln
3. Betriebsabläufe – Festlegung von Handlungsabläufen im Falle einer Ölhavarie
4. Informationsverzeichnis – Zusammentragen von Hintergrundinformationen

Die Festlegung der relevanten Parameter ist, aufgrund ihrer Vielschichtigkeit und des z.T. sehr großen Kreises an Beteiligten, ein komplexer Prozess und im Ergebnis nicht immer unumstritten. Angefangen bei der unterschiedlichen Interpretationen des Begriffes Risiko (ISO/Guide 73:2009) über die Vielfalt an Bekämpfungsmethoden (S.L. Ross Environmental Research Limited 2013) bis hin zum Umgang mit der Öffentlichkeit (Walker et al. 2014). Ein Notfallplan ist häufig auch der kleinste gemeinsame Nenner aller Beteiligten. Neben der Entwicklung und dem Einführen eines Notfallplans ist die Übung der darin festgelegten Abläufe und die anschließende Bewertung von großer Bedeutung. Notfallpläne müssen von Zeit zu Zeit angepasst oder gegebenenfalls völlig neu konzipiert werden (IPIECA-IOGP 2015a). Wichtig ist außerdem, dass Notfallpläne nicht im leeren Raum geplant werden und wichtige Randbedingungen berücksichtigen. Die Einbeziehung anderer maritimer Aktivitäten und gültiger nationaler und internationaler Abkommen spielt dabei eine sehr wichtige Rolle (Frazão Santos et al. 2013). International wird in vielen Notfallplänen das Konzept einer 3-stufigen Bekämpfung angewendet (engl. tiered approach) (Tabelle 2). Die Einteilung gliedert sich nicht nur nach der Menge des ausgetretenen Öls, sondern vor allem nach dem Bedarf an Bekämpfungsgeräten und den beteiligten Institutionen (Santner et al. 2008). Bedingt durch die eigene Größe hat nicht jedes Unternehmen, welches Öl transportiert oder verarbeitet, oder jede Gemeinde einen Notfallplan bis Stufe 3, mindestens aber für Stufe 1.

Tabelle 2: Dreistufiger Ansatz zur Entwicklung von Notfallplänen zur Ölhavariebekämpfung (Santner et al. 2008)

Stufe 1	Lokale Verschmutzung, häufig entstanden aus dem operationellen Betrieb, ausgetretene Ölmenge relativ gering, einfache Reinigung, ausschließlich durch den Verursacher oder lokale Behörden
Stufe 2	Lokale bis regionale Verschmutzung, ausgetretene Ölmenge übersteigt die Reinigungskapazität des Verursachers, Anwendung regionaler Vereinbarung zur Unterstützung bei der Havariebekämpfung
Stufe 3	Ölverschmutzung von nationaler oder internationaler Bedeutung, Einsatz aller lokalen und regionalen Bekämpfungsmittel sowie Inanspruchnahme internationaler Hilfe zur Havariebekämpfung

Die OPRC Konvention verpflichtet die Mitgliedsstaaten zur Entwicklung von Notfallplänen zur Ölhavariebekämpfung (IMO 1991). Seit dem Inkrafttreten ist diese Vorgabe in unterschiedlichem Maße berücksichtigt worden. Auch 27 Jahre später gibt es noch immer Regionen, die Teil der Konvention sind, aber nur über unzureichende Notfallpläne verfügen (ITOPF 2015a). Einen internationalen Standard für Ölhavarienotfallpläne gibt es bis heute nicht. Somit unterscheiden sich die Pläne in Umfang und Ausführung erheblich, was deren Anwendung im Fall einer internationalen Kooperation zusätzlich erschwert.

3.2 Risikobewertung und Vorsorgemaßnahmen im deutschen Seegebiet (Bundesebene)

Verschiedene Forschungsprojekte haben die Risiken für größere Ölhavarien in der Nord- und Ostsee ermittelt. Die Ergebnisse zeigen ein erhebliches Risiko für das Auftreten einer Ölhavarie sowie großes Schädigungspotential an den Küsten (Information office of the Nordic Council of Ministers 2013; Bonn Agreement 2014; BRISK 2011). Beide deutsche Seegebiete sind geprägt durch hohes Schiffsaufkommen mit Kreuzungsverkehr und zum Teil komplizierten Seewegen mit hohen navigatorischen Anforderungen. Während für die Einfahrt in die Elbe eine Lotsenpflicht existiert, gibt es eine derartige Verpflichtung z.B. für die Kadettrinne in der Ostsee nicht (WSV 2014). Demgegenüber stehen ökologisch wertvolle Gebiete wie der Nationalpark Wattenmeer, der Nationalpark Vorpommersche Boddenlandschaft und eine erhebliche Wertschöpfung und Beschäftigung in der Tourismusindustrie entlang der Küsten (van Bernem et al. 2007).

Die Havarie des Holzfrachters *PALLAS* im Jahr 1998 in der Nordsee offenbarte enorme Defizite in Bezug auf Zuständigkeit und Befehlsgewalt der deutschen Behörden bei der Bekämpfung von marinen Schadensfällen (Grobeck et al. 2000). Als Konsequenz aus diesem Ereignis wurde im Jahr 2003 das Havariekommando als gemeinsame Einrichtung des Bundes und der fünf Küstenbundesländer Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Hamburg und Bremen gegründet (Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2002a). Diese Behörde ist dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) unterstellt und koordiniert durch ein gemeinsames Systemkonzept u.a. die Bekämpfung von maritimen Schadenslagen, die vorsorgende Kapazitätsplanung, die Anschaffung und Stationierung von Geräten sowie die Durchführung von Übungen (Havariekommando 2008). Im Havariekommando ist auch das Maritime Lagezentrum angesiedelt, welches den Seeverkehr in deutschen Hoheitsgewässern überwacht und täglich ein maritimes Lagebild veröffentlicht. Zusätzlich betreiben Bund und Länder das elektronische Geoinformationssystem „Vorsorgeplan Schadstoffunfallbekämpfung VPS“, das alle relevanten Informationen über Küstenabschnitte, Zuständigkeiten, Ansprechpartner und Bekämpfungsgeräte zusammenfasst und online verfügbar macht (GICON 2012). Organisatorisch ist die Schadstoffunfallbekämpfung aufgeteilt in die Fachbereiche See und Küste. Der Fachbereich See ist eine Organisationseinheit des Bundes, der Fachbereich Küste eine Organisationseinheit der Länder. Beim Eintritt einer Havarie mit großem Schädigungspotential kann von den Bundesländern die Ausrufung einer „komplexen Schadenslage“ beantragt werden. In diesem Fall wird ein Havariestab einberufen und das Havariekommando übernimmt die Einsatzleitung. Zur Schadstoffunfallbekämpfung werden dann sowohl regionale als auch überregionale Geräte herangezogen. Dabei wird auf die Geräte aller fünf Küstenbundesländer zurückgegriffen (Abb. 4). Entstehende Kosten werden dann zu gleichen Teilen von Bund und Küstenbundesländern getragen.

Das Havariekommando verfügt auch über ein Selbsteintrittsrecht, es kann also die komplexe Schadenslage auch selbst ausrufen. Die Kriterien für eine komplexe Schadenslage sind in Bezug auf die ausgetretene Ölmenge klar definiert (Tab. 3).

Tabelle 3: Eintrittskriterien für eine komplexe Schadenslage (Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2002a)

Gebiet	Ausgetretene Ölmenge
Im freien Seeraum (seeseitig der 10 m-Tiefenlinie)	$\geq 50 \text{ m}^3$
Am Ufer- und Küstensaum (landseitig der 10 m-Tiefenlinie)	$\geq 10 \text{ m}^3$
Auf den Seeschiffahrtsstraßen	$\geq 5 \text{ m}^3$

Die Eintrittskriterien, bezogen auf gefährdete Gebiete, sind weniger eindeutig. So heißt es im nächsten Abschnitt der Bund-Länder-Vereinbarung „sensible Gebiete: Nationalparks, Naturschutzgebiete, Seehundbänke, Muschelbänke, Rast-, Brut- und Nistplätze, Fremdenverkehrsgebiete“ (Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2002a). Durch die Einbeziehung von Fremdenverkehrsgebieten erfasst die Vereinbarung nahezu die gesamte deutsche Küste. In der Vergangenheit kam es mehrfach zur Ausrufung der komplexen Schadenslage. Ursache dafür waren Schiffskollisionen, das Aufgrundlaufen von Schiffen oder die Anlandung von Paraffin. Eine komplexe Schadenslage aufgrund eines Ölaustritts gab es seit der Gründung des Havariekommandos bisher nicht.



Abb. 4: Übersicht Stationierung der Bekämpfungsschiffe und -geräte (Havariekommando 2007).

Die internationale Zusammenarbeit und der korrekte Technikeinsatz werden bei regelmäßigen Übungen geübt und verbessert. Dazu gehören u.a. die jährlichen Übungen in der Ostsee und Nordsee (Baltic Marine Environment Protection Commission 2018; Bonn Agreement 2018).

3.3 Regionale Vorsorgemechanismen (Landesebene)

Bei kleineren Havarien, welche nicht als komplexe Schadenslage eingestuft werden, sind die regionalen Umweltämter der Länder (z.B. StALU, NLWKN, MELUND etc.) für die Bekämpfung auf See zuständig. Diese Ämter verfügen daher über Schiffe zur Bekämpfung von Verschmutzungen auf See. Der koordinierte Einsatz von Seefahrzeugen wird aber in der Regel im Zuge einer komplexen Schadenslage durchgeführt. Erreicht das Öl die Küste, ist zuerst das Ordnungsamt der jeweiligen Gemeinden zuständig. Im Sinne einer ressourcenschonenden Vorsorgeplanung ist es nicht sinnvoll, für einzelne Gemeinden Spezialgeräte anzuschaffen und vorzuhalten. Daher organisieren sich die Gemeinden auf Landkreisebene in Kooperation mit lokalen Feuerwehren und dem Technischen Hilfswerk. Städte mit bedeutenden Wasserwegen (z.B.

3 Kapazitätsplanung zur Ölhavariebekämpfung

Hamburg und Rostock) verfügen über eigene Notfallpläne (Hansestadt Rostock 2014). Dies trifft aber für die wenigsten Landkreise bzw. Gemeinden zu. Das Thema Gefahr durch Ölverschmutzung oder Ölhavariebekämpfung wird sehr häufig ausgeblendet. Die Rolle des Havariekommandos und die Verantwortlichkeiten und die Pflichten der Gemeinden und Landkreise sind auf regionaler Ebene nur unzureichend bekannt. Das kann im Ernstfall zu Missverständnissen, Verzögerungen, stärkeren Verschmutzungen und zusätzlichen Kosten führen.

4 Methoden und Konzepte zur Ölhavariebekämpfung

Im Falle einer Ölhavarie stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, diese zu beseitigen. Um einen möglichst hohen Wirkungsgrad bei der Bekämpfung zu erzielen, ist es von großer Wichtigkeit, das Öl und die vorherrschenden Randbedingungen richtig einzuschätzen und die entsprechende Bekämpfungsmethode auszuwählen. Unter bestimmten Umständen kann das auch bedeuten, keine aktiven Maßnahmen zu ergreifen, da die vorhandenen Methoden nur mit unzureichenden Wirkungsgraden arbeiten oder eine weitere Schädigung des Ökosystems verursachen würden. Die eingesetzte Bekämpfungsmethode sollte an die vorherrschenden Randbedingungen angepasst sein und muss in regelmäßigen Abständen neu bewertet werden. Dieser Abwägungsprozess wird international als Net Environmental Benefit Analysis (NEBA) bezeichnet und beinhaltet das Zusammentragen und Bewerten der verfügbaren Daten, die Vorhersage des weiteren Havarieverlaufs, die Abwägung der ökologischen Konsequenzen und die Auswahl der besten Bekämpfungsstrategie (IPIECA-IOGP 2015b).

Das ausgetretene Öl unterliegt ständigen Veränderungsprozessen, zu den wichtigsten gehören die Verdunstung leicht flüchtiger Bestandteile, die Verringerung der Schichtdicke durch Verdriftung auf der Wasseroberfläche, die Aufnahme von Schwebstoffen aus dem Wasser, die Durchmischung mit Wasser, die Lösung im Wasser sowie die Alterung durch natürliche UV-Strahlung (Abb. 5). Während der ersten 24 Stunden nach dem Ölaustritt sind die Veränderungen am stärksten (Gros et al. 2014). Durch diese Prozesse verändert sich neben der Toxizität auch die Möglichkeit, das Öl aus der marinen Umwelt zu entfernen (Fingas 2011b).

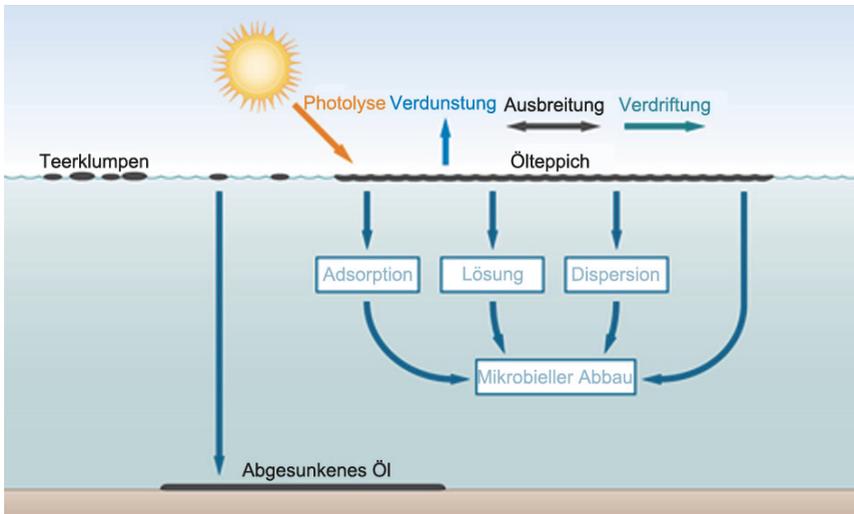


Abb. 5: Veränderung von Öl im Meer (world ocean review 2010)

4.1 Mechanische Bekämpfungsmethoden

Die am weitesten verbreitete Methode zur Bekämpfung einer Ölverschmutzung ist die räumliche Eindämmung mit schwimmenden Barrieren und die anschließende Entfernung des konzentrierten Öls. Ölsperren (engl. booms) existieren in vielen unterschiedlichen Ausführungen. Sie unterscheiden sich in Bezug auf Größe, Material und Handhabung; das Wirkungsprinzip ist aber bei allen gleich. Die Sperre besteht aus einem Schwimmkörper mit einem Freibord oberhalb und einer Tauchwand unterhalb der Wasserlinie, welche die horizontale Ausdehnung des an der Wasseroberfläche befindlichen Öls verhindern soll (Abb. 6).

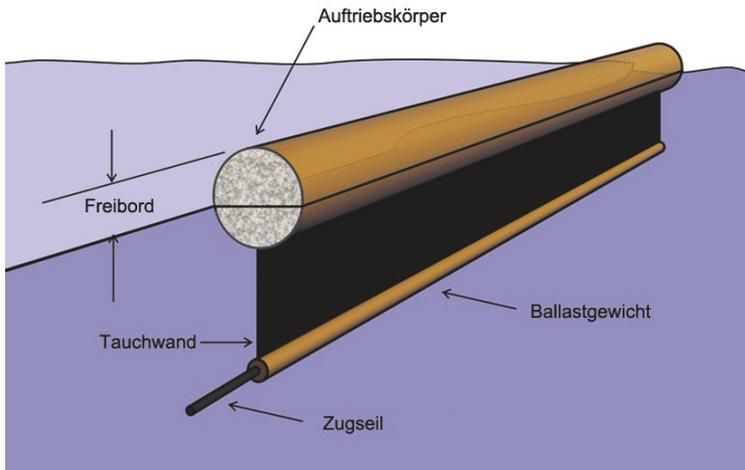


Abb. 6: Schematischer Aufbau einer schwimmenden Ölsperre bestehend aus einem Schwimmkörper mit Freibord und einer Tauchwand mit Ballastgewicht und Zugseil (Fingas 2011d)

In Abhängigkeit vom Einsatzgebiet kann die räumliche Ausdehnung der Sperre stark variieren. Hochseetaugliche Ölsperren können eine vertikale Gesamtausdehnung von $> 1,5$ m aufweisen (z.B. Lamor Heavy Duty Oil Boom: Tauchtiefe: 1,16 m, Freibord: 0,56 m). Ölsperren für den Einsatz in Häfen sind bedeutend kleiner (z.B. Lamor Auto Boom Harbor Model: Tauchtiefe 0,46 m, Freibord: 0,30 m) (LAMOR 2015). Der Schwimmkörper ist häufig mit Luft gefüllt, es existieren aber auch Modelle mit festen Auftriebskörpern. Die horizontale Ausdehnung ist durch die Verbindung mehrerer Sektionen frei wählbar und kann somit an die lokalen Bedingungen angepasst werden. Ölsperren können mobil und stationär eingesetzt werden. Im stationären Einsatz werden Ölsperren als "Zaun" eingesetzt, um nicht verschmutzte Gebiete zu schützen oder als Leiteinrichtung, um das Öl an einen bestimmten Ort zu transportieren. Im mobilen Einsatz werden die Sperren von einem oder mehreren Schiffen geschleppt. Überhöhte Schleppgeschwindigkeiten bzw. zu große Strömungsgeschwindigkeiten in Kombination mit wellenbedingten Vertikalbewegungen führen zum Über- bzw. Unterspülen und somit zum Versagen der Ölsperre. Eine angepasste Materialauswahl und Schleppgeschwindigkeit kann dieses Versagen verhindern. Unter bestimmten hydrodynamischen Randbedingungen ist der Einsatz von Ölsperren aber nicht mehr sinnvoll (Muttin 2008; Castro et al. 2010; Fingas 2011d; Nash und Molsberry 1995).

Da die meisten Ölsperren das Öl nur konzentrieren und nicht aus dem Wasser entfernen, werden sie häufig in Kombination mit so genannten Skimmern verwendet. Skimmer sind mechanische Geräte, die das Öl von der Wasseroberfläche entfernen und in einen Tank leiten. Größe, Form und Wirkungsprinzip der Skimmer unterscheiden sich erheblich voneinander. Die beiden häufigsten Typen werden nachfolgend kurz beschrieben.

Oleophile Skimmer arbeiten nach dem Adhäsionsprinzip. Scheiben, Bürsten oder andere Elemente werden durch das Öl bewegt, welches auf deren Oberfläche haften bleibt. Anschließend wird das Öl über einen Abstreifer vom Festkörper getrennt (Abb. 7 links). Da nur sehr wenig Wasser an den mechanischen Elementen haften bleibt, ist das Öl-zu-Wasser-Aufnahmeverhältnis dieser Skimmer relativ hoch. Daraus einen Wirkungsgrad des Gerätes abzuleiten wäre aber fehlerhaft, da neben den hydrodynamischen Randbedingungen vor allem die Viskosität des Öls maßgeblich für diese Skimmer ist. Wehrskimmer trennen das Öl über eine Wehrkante von der Wasseroberfläche (Abb. 7 rechts). Die Ölschichtdicke und die Lage der Wehrkante beeinflussen maßgeblich den Wirkungsgrad dieser Skimmer. Typischerweise haben diese Geräte ein geringeres Öl-zu-Wasser-Aufnahmeverhältnis. Dieses sinkt insbesondere bei Seegang erheblich. Mit technischen Mitteln ist es möglich, die Wasseroberfläche um das Wehr zu beruhigen, aber auch dann ist diese Reinigungsmethode nur bei relativ ruhiger See sinnvoll (Fingas 2011d; Genwest & Spiltec 2012; GICON 2012; Schultz 1998). Um einen vergleichbaren Wert zur Bestimmung der Reinigungsleistung unterschiedlicher Skimmer verwenden zu können, wurde die „Effective Daily Recovery Capacity (EDRC)“ eingeführt. Dieser Wert beschreibt die tägliche Aufnahmekapazität eines Gerätes, welche in Abhängigkeit der lokalen Randbedingungen ermittelt werden kann (Genwest & Spiltec 2012; Casey und Caplis 2014).



Abb. 7: Disk Skimmer (links) und Wehr Skimmer (rechts) beim Einsatz in ruhigen Gewässern (DESMI A/S 2018)

Die Kombination von Ölsperren und Skimmern wird am häufigsten in zwei unterschiedlichen Konfigurationen angewendet:

- Geschleppte Ölsperre in Kombination mit einem Skimmer und einem Schiff zur Aufnahme des abgeschöpften Öls (Abb. 8 links).
- Fest installierte Sperre an der Seite eines Schiffes (sweeping arm) mit einem im Schiff verbauten Skimmer und Tank (Abb. 8 rechts).



Abb. 8: Geschleppte Ölsperren in Kombination mit einer Ölaufnahmeeinrichtung am Ende der Ölsperre (links) sowie fest installierte Ölsperre und Aufnahmeeinrichtung an der Seite eines Bekämpfungsschiffes (rechts) (Oil Spill Response 2011)

Bindemittel stellen eine weitere Möglichkeit zur Gewässerreinigung dar. Diese werden nach ihrem Ursprungsmaterial sowie der Ausbringungsform unterschieden. Es gibt Bindemittel aus natürlichen organischen, mineralischen und organisch synthetisierten Materialien (Krawi 2006). Sie sind sowohl in loser (Granulat, Pulver, Fasern etc.) als auch in gebundener Form (Kissen, Rollen, Matten etc. (Abb. 9)) verfügbar. Eine weitere Unterteilungsmöglichkeit ist das Bindungsprinzip. Adsorption beschreibt den Prozess der Anhaftung einer Flüssigkeit an der Oberfläche eines Festkörpers und Absorption beschreibt das Eindringen in die Matrix eines Körpers (ITOPF 2012). Auf dem Gebiet der Ölhavariebekämpfung ist der Prozess der Adsorption von größerer Bedeutung. Bindemittel können bei sachgemäßer Anwendung einen wichtigen Beitrag zu Bekämpfung von Ölhavarien leisten. Die Vielfalt der angebotenen Produkte und die damit verbundenen Besonderheiten in der Anwendung stellen den Anwender aber vor große Herausforderungen. Insbesondere die Bergung ölgesättigter Bindemittel kann bei falscher Anwendung oder bei falschem Bergegerät zu ungewollten Ergebnissen führen. Das hat dazu geführt, dass Bindemittel in der Vergangenheit falsch eingesetzt wurden und ihr Ruf dadurch erheblich gelitten hat. Als Konsequenz werden Bindemittel derzeit nur für den Einsatz an der Küste oder zur Aufnahme dünner Ölfilme empfohlen (GICON 2012; ITOPF 2012). Eine weitere Hürde für den Einsatz von Bindemitteln ist das Gebot zur Abfallvermeidung, welches auch in Deutschland gilt (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 2012). Demnach ist der Einsatz von Bindemitteln nur dann vertretbar, wenn die anzunehmende Schutz- bzw. Reinigungswirkung das entstehende Abfallaufkommen rechtfertigen.



Abb. 9: Rollen und Matten gefüllt mit Adsorptionsmaterial (Green Ocean 2015)

4.2 Chemische Bekämpfungsmethoden

Auf dem Markt existiert eine große Vielfalt an Chemikalien, welche im Falle einer Ölhavarie angewendet werden kann. Dazu gehören u.a. Detergenzien (Reinigungsmittel), Emulsionshemmer und Härtemittel. Die wichtigste Gruppe sind die Dispergatoren. Sie verringern die Oberflächenspannung des Öls, was zur Bildung kleiner Öltröpfen führt, welche sich anschließend in der Wassersäule verteilen. Dadurch verschwindet das Öl von der Wasseroberfläche, stellt keine Gefahr für auf dem Wasser schwimmende Lebewesen (v.a. Vögel) dar und kann nicht mehr durch Winddrift an die Küste getrieben werden. Zusätzlich wird die effektive Oberfläche des Öls vergrößert, was die Verfügbarkeit für den biologischen Ölabbau durch natürlich im Meer vorkommende Bakterien verbessert (Fingas 2011e). Durch die luft- oder schiffsgestützte Ausbringung ist eine schnelle und großflächige Anwendung dieser Methode möglich (Abb. 10). Das theoretische Reinigungspotential ist im Vergleich zu anderen Methoden sehr hoch. Der Einsatz von Dispergatoren ist aber umstritten.

Seit dem ersten Einsatz von Chemikalien zur Ölhavariebekämpfung beim Untergang der *TORREY CANYON* 1967 ist die Toxizität der Dispergatoren durch Forschung und Entwicklung signifikant reduziert worden (Fingas 2011c). Dennoch können die eingesetzten Chemikalien in hoher Konzentration toxisch wirken. Von größerer toxischer Bedeutung ist das Öl, welches in der Wassersäule verteilt wird (European Maritime Safety Agency 2014a, 2010).



Abb. 10: Luftgestützte (links) und schiffsgestützte Applikation von Dispergatoren (ITOPF 2011d)

Während der Havarie im Golf von Mexiko im Jahr 2010 wurden große Mengen an Dispergatoren eingesetzt (Gass et al. 2011). Studien über die Auswirkungen dieses Einsatzes kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Die Bandbreite der Berichte reicht von nicht feststellbaren Effekten (BenKinney et al. 2011) bis hin zu massiven Schädigungen des Ökosystems (Almeda et al. 2014; Ortmann et al. 2012). Auch fünf Jahre nach der Havarie wurden noch gegenläufige Resultate publiziert (Kleindienst et al. 2015; Lewis 2015). Das verdeutlicht die hohe Komplexität der chemischen Ölhavariebekämpfung, welche sich auch in der unterschiedlichen internationalen Anwendung von Dispergatoren zeigt (Chapman et al. 2007). Während in England Dispergatoren als primäres Bekämpfungsmittel eingestuft sind, ist der Einsatz in der deutschen Nordsee wassertiefenabhängig und erfordert eine Einzelfallprüfung (European Maritime Safety Agency 2014a; Bonn Agreement 2001b; Grote et al. 2018). Der Einsatz in der Ostsee ist nur in Ausnahmen möglich und bedarf ebenfalls der Einzelfallprüfung (Helcom - Baltic Marine Environment Commission November 2008, 2001).

4.3 In-situ Verbrennung

Die kontrollierte Verbrennung von ausgetretenem Öl stellt eine weitere Möglichkeit zur Bekämpfung dar. Ursprünglich bei Havarien auf dem Festland eingesetzt zeigte sich, dass diese Methode unter bestimmten Umständen auch auf der Wasseroberfläche funktioniert. Daraus resultiert die Möglichkeit, in kürzester Zeit große Mengen an Öl von der Wasseroberfläche zu entfernen. Die bestimmenden Parameter der Verbrennung sind vor allem die Ölschichtdicke, der Emulsionsgrad und das Verdampfungsverhalten (Buist et al. 1999). Zur Erhöhung der Schichtdicke und Verbesserung der Verbrennung werden feuerfeste Ölsperren eingesetzt (Abb. 11). Anschließend wird das Öl durch eine externe Quelle entzündet. Unter optimalen Bedingungen werden über 95 % der Kohlenwasserstoffe verbrannt (Wang et al. 1999). Die unterschiedliche Zusammensetzung von Rohöl und ölbasierter Produkte beeinflusst das Verbrennungsverhalten maßgeblich. Als Reaktionsprodukte der Verbrennung sind vor allem Öklumpen und Ruß zu nennen. Durch die höhere Dichte sinken die Öklumpen auf den Meeresgrund (Buist et al. 1997). Die Toxizität der Öklumpen ist vernachlässigbar, dennoch können sie den Meeresboden flächig bedecken, was zu einem Absterben des Benthos führt (Fingas 2011a). Die massive Rauchentwicklung mit hohen Rußanteilen kann zu erheblichen Gesundheitsschäden für Menschen und Tiere führen. Der entstehende Ruß kann in Abhängigkeit der lokalen Winde sehr weit transportiert werden, was bei der Festlegung von Mindestabständen zur Küste berücksichtigt werden muss. Die Gesundheit des Bekämpfungspersonals und der Menschen auf der Zugbahn der Rußwolke darf zu keinem Zeitpunkt gefährdet werden. Grenzwerte für die Luftreinheit in besiedelten Gebieten dürfen auch im Falle der Havariebekämpfung nicht überschritten werden (Fingas 2011a). Während der Havarie im Golf von Mexiko wurden durch über 400 Feuer auf See etwa 6 % des ausgetretenen Öls verbrannt (Allen et al. 2011). In Europa wurde diese Methode bisher nur sehr selten eingesetzt. Die im Golf von Mexiko erzielten Resultate haben dieser Methode aber neuen Auftrieb verschafft (European Maritime Safety Agency 2013).



Abb. 11: In-situ Verbrennung von Öl auf der Wasseroberfläche innerhalb der Grenzen einer Ölsperre im Golf von Mexiko (Allen et al. 2011)

4.4 Bioremediation

Bestimmte Mikroorganismen sind in der Lage, Öl auf natürlichem Wege abzubauen (Abb. 12). Der Abbaugrad sowie dessen Geschwindigkeit sind vom Öl und den lokalen Randbedingungen abhängig. Bei ausreichender Verfügbarkeit von Sauerstoff, Stickstoff und Phosphor und in Abhängigkeit der Temperatur zersetzen vor allem Bakterien bestimmte Teile des Öls. Alkane und Aromaten werden wirksam abgebaut, während Asphaltene und Harze durch den biologischen Ölabbau nahezu unverändert bleiben (Macnaughton et al. 2003; Harayama et al. 1999; Fingas 2011c). Das natürliche Vorkommen ölabbauender Organismen ist auf natürliche Öleinträge und damit verbundene langfristige Anpassungsprozesse der lokalen Flora und Fauna zurückzuführen. Im Falle einer Havariebekämpfung finden zwei unterschiedliche Methoden Anwendung. *Biostimulation* beschreibt die Verbesserung der Abbaubedingungen durch die Veränderung einer limitierenden Komponente. Der Einsatz von Düngemitteln zur Erhöhung der Stickstoff- und Phosphorkonzentration sowie künstliche Belüftung fallen in diese Kategorie. *Bioaugmentation* beschreibt die Applikation ölabbauender Mikroorganismen in großer Konzentration zur Erhöhung der Zellzahlen und somit zur Erhöhung der Abbauraten (International Maritime Organization 2004). Weltweit wurden verschiedene ölabbauende Mikroorganismen identifiziert und der Versuch unternommen die jeweiligen Ölabbaukapazitäten zu quantifizieren (Macnaughton et al. 2003; Schneiker et al. 2006; Pasumathi et al. 2013; Wang et al. 2011). Dies geschah häufig im Nachgang einer anthropogen verursachten Ölhavarie (z.B. *EXXON VALDEZ*, *PRESTIGE*, *DEEPWATER HORIZON*).

Die unterschiedlichen Randbedingungen erschweren eine objektive Bewertung der Abbauleistung erheblich (Harayama et al. 2004). Das natürliche Vorkommen ölabbauender Mikroorganismen führt zu einem globalen Einsatzpotential der Bioremediation, da unterschiedliche Küstentypen durch endemische Mikroorganismen gereinigt werden können. Der Einsatz ortsfremder Mikroorganismen wird nicht empfohlen, da diese nicht an die lokalen Randbedingungen angepasst sind, woraus vergleichsweise geringere Abbauraten resultieren. Im Vergleich zu anderen Bekämpfungsmethoden ist Bioremediation ein langwieriger Prozess (einige Tage bis wenige Wochen) (McKew et al. 2007). Bedingt durch die Abbauezeiten wird die Methode häufig nicht als primäre Bekämpfungsmethode ausgewählt. Für die langfristige Reinigung verölter Ökosysteme spielt die Bioremediation aber eine signifikante Rolle. Dies gilt sowohl für den Wasserkörper als auch für verölte Küsten (Atlas und Hazen 2011).



Abb. 12: Biostimulation durch Nährstoffzugabe nach der Havarie der *EXXON VALDEZ* in Alaska (International Maritime Organization 2004)

4.5 Grenzen herkömmlicher Bekämpfungstechnik

Der effektiven Bekämpfung von Ölhavarien auf See sind Grenzen gesetzt. Diese Grenzen sind physikalischer, ökologischer und wirtschaftlicher Natur und unterscheiden sich in Abhängigkeit von der gewählten Bekämpfungsmethode. Physikalische Grenzen sind von Bedeutung, wenn die Reinigung aufgrund der vorherrschenden Randbedingungen nicht oder nur unzureichend möglich ist. Wirtschaftliche Grenzen sind von Bedeutung, wenn nur geringe Ölmengen mit erheblichem Aufwand geborgen werden können. Ökologische Grenzen sind von Bedeutung, wenn die Reinigung mehr ökologischen Schaden anrichtet als das Öl selbst. Häufig bedingt die physikalische Grenze die wirtschaftliche und ökologische Grenze. Die Wahl der Bekämpfungsmethoden und die damit verbundenen Grenzen sind fallspezifisch und bedürfen einer objektiven Analyse und Bewertung (IPIECA-IOGP 2015b). In den meisten Fällen sind physikalische Grenzen die dominierenden Komponenten dieses Abwägungsprozesses. Tabelle 4 zeigt eine Übersicht unterschiedlicher Bekämpfungsmittel, dazugehörige limitierende Randbedingungen (physikalische Grenzen) sowie die auftretenden Versagensmechanismen.

Der tatsächliche Grenzwert eines Bekämpfungsmittels ist nicht pauschal zu bestimmen und variiert um Größenordnungen. Die Literaturangaben zum Einfluss von meteorologischen und hydrodynamischen Randbedingungen auf die Effizienz von Ölhavariebekämpfungsmethoden unterscheiden sich teilweise erheblich voneinander (Fingas 2011f). Das liegt vor allem daran, dass es keine allgemein gültige Definition von Effizienz gibt. Die angegebenen Werte sind häufig im Labor ermittelt und basieren auf subjektiven Eingangsgrößen. Die Kombination aus eingesetztem Bekämpfungsgesetz, Geräteträger (Schiff, Flugzeug etc.) und den Wetterbedingungen vor Ort ergeben die tatsächliche Reinigungsleistung. Trotz unterschiedlicher Versagensmechanismen zeigt, dass ein Parameter bei zwei Drittel der Bekämpfungsmittel als limitierende Randbedingung wirksam werden kann: Die Wellenhöhe begrenzt den Einsatz ALLER mechanischen Bekämpfungsmittel, der In-situ Verbrennung und verbessert die Wirksamkeit der Bioremediation. Daher ist zur Erstellung neuer Ölhavarie-Notfallpläne bzw. zur Bewertung vorhandener Pläne die Kenntnis von Seegangdaten und ihrer räumlichen und zeitlichen Verteilung von erheblicher Bedeutung.

Die Integration statistischer Seegangskennwerte bei der Entwicklung von Notfallplänen ist bisher aber nicht gängige Praxis. Aus diesem Grund wurde vom Verfasser der vorliegenden Arbeit der Weg gewählt, verfügbare Seegangdaten zu identifizieren, auf ihre Qualität zu prüfen (Abschnitt 5.2), statistisch auszuwerten (Abschnitt 5.4) und mit dem Thema Ölhavariebekämpfung zu verknüpfen (Kapitel 6 und 7).

Tabelle 4: Übersicht verschiedener Bekämpfungsmethoden und dazugehöriger limitierender Randbedingungen (Allen und Ferek 1993; Fauvre 1995; Reed et al. 1994; Trudel et al. 2005; van Gelderen et al. 2015; Violeau et al. 2007)

Bekämpfungsmittel	Limitierende Randbedingung	Versagensmechanismus
Ölsperre	Wellenhöhe	Überspülen der Ölsperre, da sich diese nicht oder nur unzureichend an den Seegang anpassen kann.
	Strömungsgeschwindigkeit	Kippen der Ölsperre durch hohe Strömungsgeschwindigkeit und anschließendes Über- und Unterspülen.
	Strömungsgeschwindigkeit	Bruch der Haltevorrichtung durch Überbelastung.
Skimmer	Viskosität	Verwittertes Öl haftet nicht mehr an den Kontaktflächen der Adhäsionsskimmer und verklumptes Öl schwimmt nicht über die Wehrkante des Skimmers.
	Wellenhöhe	Signifikante Wasseraufnahme durch Wellenbewegung am Wehrskimmer und große lokale Orbitalgeschwindigkeit am Adhäsionsskimmer reduziert die Ölaufnahme.
Bindemittel	Strömungsgeschwindigkeit	Verdriften des Bindemittels kann dazu führen, dass es nicht mehr geborgen werden kann.
	Wellenhöhe	Auspressen des Öls durch Wellenschlag.
Dispergatoren	Verwitterungsgrad	Dispersion des Öls bei vorangeschrittener Verwitterung nicht möglich.
In-situ Verbrennung	Emulsionsgrad	Zu hoher Wasseranteil in der Öl-Wasser-Emulsion verringert die Brennbarkeit.
	Schichtdicke	Zu dünne Ölfilme brennen nicht, da zu viel Verbrennungsenergie durch den Wasserkörper aufgenommen wird.
	Wellenhöhe	Überspülen der feuerfesten Ölsperre, da sich diese nicht oder nur unzureichend an den Seegang anpassen kann, woraus eine unzureichende Schichtdicke resultiert.
Bioremediation	Sauerstoff- und Nähstoffmangel	Mikroorganismen benötigen Sauerstoff, Stickstoff und Phosphor, um Öl abzubauen. Fehlt eines dieser Elemente, findet kein Abbau statt.
	Temperatur	Biologische Abbauprozesse sind stark temperaturabhängig, je geringer die Temperatur ist, umso geringer ist die Abbaurrate.

5 Statistische Auswertung von Seegangsdaten für die Deutsche Nord- und Ostseeküste als Grundlage der vorsorgenden Notfallplanung

5.1 Seegang

„Seegang ist definiert als die durch Wind hervorgerufene zeitliche und örtliche veränderliche unregelmäßige Auslenkung der Oberfläche des Meeres und kann gedanklich als Überlagerung oder Folge von Wellen unterschiedlicher Amplitude (Höhe), Periode und Anlaufriechung aufgefasst werden“ (Fröhle 2000). Seegangsinformationen können direkt gemessen oder aus Winddaten berechnet werden. Die Unregelmäßigkeit des Seegangs erfordert eine Reduktion der Seegangsinformationen auf bestimmte Grundparameter, um diese z.B. für ingenieurtechnische Entwurfsprozesse anwenden zu können. Die wichtigsten Seegangparameter sind die Wellenhöhe H , die Wellenperiode T und die Wellenanlaufriechung θ . Durch die Auswertung von Rohdaten lassen sich diese Kennwerte auf zwei Arten darstellen (Zeitbereich & Frequenzbereich). Abb. 13 zeigt die Darstellung von Seegangsinformationen im Zeitbereich und im Frequenzbereich (EAK 2007).

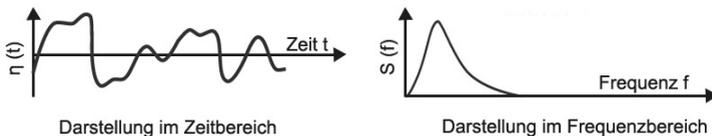


Abb. 13: Darstellung von Seegangsinformationen im Zeitbereich (links) und Frequenzbereich (rechts) (EAK 2007).

Zeitbereichsparameter werden aus einer diskreten Zeitreihe unregelmäßiger Wellen abgeleitet. Dafür ist die Definition von Einzelwellen erforderlich. Anschließend können aus der gesamten Zeitreihe über verschiedene Mittelwertbildungen unterschiedliche Wellenhöhen- und Wellenperiodenparameter berechnet werden (z.B. mittlere Wellenhöhe und mittlere Periode einer Zeitreihe) (EAK 2007). Die Auswertung im Frequenzbereich beruht auf der zuvor beschriebenen Annahme von Seegang als Überlagerung unterschiedlicher Einzelwellen. Durch die Anwendung einer FOURIER-Transformation wird diese Überlagerung aufgelöst und ein Seegangsspektrum erzeugt, welches einzelnen Wellenfrequenzen ($1 / \text{Wellenperiode}$) die entsprechende Energiedichte zuordnet. Voll ausgereifter Seegang weist im Tiefwasser ein charakteristisches Spektrum auf. Beim Übergang in flaches Wasser ändern sich die Wellenparameter (Wellengeschwindigkeit, Wellenanlaufriechung und Wellenhöhe) und somit auch das Spektrum, daher wird in Tiefwasser- und Flachwasserspektren unterschieden. Eine verlustfreie Übertragung vom Zeitbereich in den Frequenzbereich und umgekehrt ist jederzeit möglich. Eine ausführliche Beschreibung von Wellentheorien, die Darstellung im Zeit- und Frequenzbereich und weiterführende Literatur ist in „Die Küste“ (EAK 2007) zu finden.

5.2 Datengrundlage

5.2.1 Ostsee

Ausgangspunkt für die deutsche Ostseeküste sind Winddaten aus dem EU – Forschungsprojekt HIPOCAS – Hindcast of Dynamic Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe. In diesem Forschungsprojekt wurde das regionale Atmosphärenmodell REMO benutzt, welches von den globalen Reanalyseläufen des U.S. National Center for Environmental Prediction (NCEP) angetrieben wird.

Im Ergebnis wurde ein Hindcast der stündlichen Windgeschwindigkeiten für große Teile Nordeuropas im Zeitraum von 1948 bis 1999 erstellt (Weisse et al. 2001; Soares et al. 2002). Die räumliche Ausdehnung der Winddaten erstreckt sich über das Gebiet $9,5^{\circ} - 22^{\circ}$ E und $53,5^{\circ} - 58^{\circ}$ N mit einer räumlichen Auflösung $\Delta x \approx \Delta y \approx 0,5^{\circ}$. Im Forschungsprojekt MUSTOK (Jensen 2009) wurden unterschiedliche Modelle zur Ermittlung von extremen Wellenhöhen und Wasserständen an der Deutschen Ostseeküste ermittelt. Im Teilprojekt SEBOK B wurden auf Grundlage der zuvor beschriebenen Winddaten die stündliche signifikante Wellenhöhe für die Deutsche Ostsee ermittelt (Schlamkow und Fröhle 2009). Die Seegangssimulationen wurden mit dem Seegangsmodell SWAN erstellt (Booij et al. 2001). Für die Simulationen wurde eine Bathymetrie der Ostsee mit einer Auflösung $\Delta x \approx \Delta y \approx 5,5$ NM verwendet (Seifert et al. 2001). Als Kombination des Seegebietes (südliche Ostsee) und der verwendeten Eingangsdaten (HIPOCAS) trägt die Simulation den Namen SOHIP.

Zur Bewertung der Seegangssimulationen wurden diese mit Seegangsmessungen verglichen, die vom ehemaligen Institut für Wasserbau (heute Professur Geotechnik und Küstenwasserbau) der Universität Rostock in der Vergangenheit durchgeführt wurden (Fröhle 2000). Die Station Darßer Schelle wurde ebenfalls in die Auswertung einbezogen, wird aber vom Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für Material- und Küstenforschung betrieben (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und Deutscher Wetterdienst 2013).

Vom Autor der vorliegenden Arbeit wurden fünf Messpunkte in der westlichen Ostsee ausgewählt und mit dem nächstliegenden Punkt der SOHIP Simulation verglichen (siehe Abb. 14). Die Messungen wurden mit Seegangsmessbojen in einer Wassertiefe zwischen 10 m und 35 m durchgeführt. Alle 30 Minuten ermitteln die Messbojen die signifikante Wellenhöhe und Wellenperiode. Die zeitliche Verfügbarkeit der Messdaten ist von Station zu Station unterschiedlich (Tabelle 5).

Tabelle 5: Zeitraum der analysierten Seegangsmessungen in der südlichen Ostsee.

Messpunkt	Schönhagen	Heiligenhafen	Brodten	Rostock Warnemünde	Darßer Schelle
Messzeitraum	1996 - 1999	1996 - 1999	1997 - 1999	1998 - 1999	1991 - 1999



Abb. 14: Wellenmessbojen in der westlichen Ostsee

Anschließend wurde vom Autor der vorliegenden Arbeit für jeden Vergleichspunkt die mittlere signifikante Wellenhöhe für die astronomischen Jahreszeiten Frühling, Sommer, Herbst und Winter errechnet. Die gemessenen Werte wurden mit den modellierten Wellen verglichen (siehe Abb. 15). Die mittlere absolute Abweichung der modellierten Wellenhöhen für alle Vergleichspunkte beträgt 0,05 m. Die maximale Abweichung beträgt 0,13 m am Vergleichspunkt Brodten (Frühling). Die mittleren gemessenen signifikanten Wellenhöhen weisen eine sehr gute Übereinstimmung mit den modellierten Werten auf. Daher wurde entschieden, dass die SOHIP – Daten für weitere statistische Auswertungen geeignet sind.

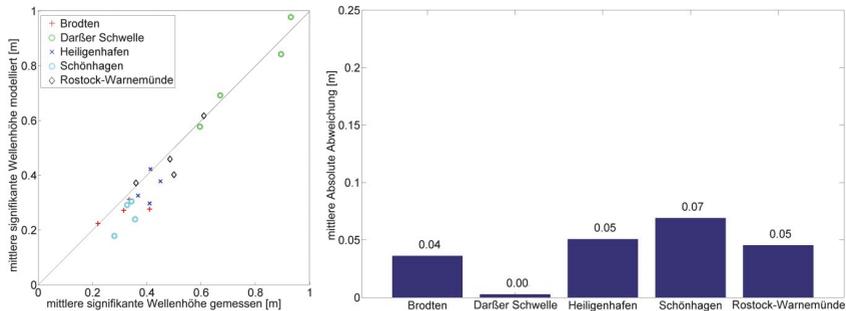


Abb. 15: Vergleich der gemessenen und modellierten Wellenhöhen (links) und mittlere Absolute Abweichungen (rechts). Der Histogrammbalken zeigt den exakten Wert, die Zahlenwerte sind auf zwei Nachkommastellen gerundet (Siewert et al. 2015)

Ein Vergleich der maximalen Wellenhöhen wurde vom Autor ebenfalls durchgeführt. Dieser zeigt eine deutliche Unterschätzung der Modellwerte. Ein Vergleich von gemessenen Winddaten und zur Seegangmodellierung verwendeten Winddaten an fünf Lokationen in der Ostsee zeigt geringere maximale Windgeschwindigkeiten als an allen fünf Vergleichspunkten. Durch die Anwendung extern erzeugter Modelldaten kann über die Gründe für die Abweichungen der Modelldaten nur spekuliert werden. Fehlerhafte Messungen extremer Windgeschwindigkeiten als Eingangsgröße für den Vergleich können ein Grund sein. Es gibt Methoden zur Verringerung von Ungenauigkeiten von Windmodellierung (Weisse und Feser 2003), deren flächige Anwendung birgt aber ein gewisses Fehlerpotential. Auf die Anwendung von Korrekturmethode wurde daher verzichtet. Als Folge der Genauigkeitsuntersuchungen wurden die maximalen Wellenhöhen nicht für die weitere statistische Auswertung verwendet. Die Genauigkeit der simulierten Wellenperioden des Seegangmodells SWAN ist für weitere Auswertungen nicht ausreichend (Schlamkow und Fröhle 2008).

5.2.2 Nordsee

Grundlage für den ausgewerteten Seegang in der deutschen Nordsee bilden die in Abschnitt 5.2.1 beschriebenen Winddaten aus dem Projekt HIPOCAS (Soares et al. 2002). Das Helmholtz-Zentrum Geesthacht hat diese Daten zum Antrieb des Seegangmodells WAM 4.5 verwendet (Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH 2012). Dieses besitzt eine räumliche Ausdehnung in der südlichen Nordsee von 51° - 56.5° N und -3° W - 10.5° E bei einer Gitterweite von $\Delta x \approx \Delta y \approx 5,5$ km. Die Seegangsdaten liegen für den Zeitraum 1958 – 2007 stündlich vor. Die Qualität der Modelldaten wurde bereits umfangreich überprüft (Weisse und Günther 2007). Die räumliche Auflösung im Flachwasserbereich des Seegangmodells führt zu erhöhten Modellwerten bei einer Wassertiefe $d < 10$ m. Dennoch erzeugt das Modell eine akzeptable Übereinstimmung mit Messdaten und die simulierten Wellenhöhen werden zur weiteren statistischen Auswertung verwendet.

5.3 Grundlagen der statistischen Seegangsanalyse

5.3.1 Deskriptive Statistik

Auf Grundlage von Mess- und Simulationsdaten können Mittel- und Maximalwerte errechnet werden. Das arithmetische Mittel (\bar{x}) ist der Quotient aus der Summe aller beobachteten Werte (x_1, x_2, x_n) und der Anzahl (n) der Werte (Gleichung 1).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} * (x_1 + x_2 + \dots + x_n) \quad \text{Glg.1 (Bosch 1998)}$$

Für die Bemessung von Bauwerken im Küsteningenieurwesen werden Mittelwerte von Teilmengen hoher Wellen ausgewählt. $H_{1/3}$ ist das arithmetische Mittel der Wellenhöhe der 33 % höchsten Wellen einer Zeitreihe und wird als signifikante Wellenhöhe bezeichnet. $T_{1/3}$ ist das arithmetische Mittel der Wellenperiode der 33 % höchsten Wellen einer Zeitreihe und wird als signifikante Wellenperiode bezeichnet. Analog finden z.B. auch $H_{1/10}$ oder $T_{1/10}$ Anwendung. Das Maximum beschreibt den höchsten Wert einer Zeitreihe. H_{\max} ist die höchste Welle, sie ist abhängig von der Anzahl der Wellen innerhalb der Zeitreihe (Fröhle 2000; EAK 2007). Unter bestimmten Voraussetzungen kann Seegang mit der RAYLEIGHschen Verteilungsfunktion (Abb. 16) wiedergegeben werden (Longuet-Higgins und Sajjadi 2013). Daraus folgen bestimmte Zusammenhänge zwischen einzelnen Wellenhöhen z.B. $H_{1/10} / H_{1/3} = 1,27$. Bei einem Stichprobenumfang von $N = 1000$ Wellen ist $H_{\max} / H_{1/3} = 1,86$ (EAK 2007).

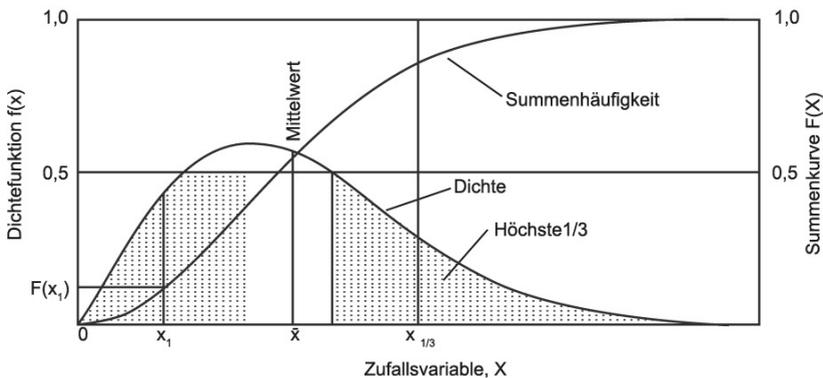


Abb. 16: Dichtefunktion und Summenhäufigkeit der RAYLEIGH Verteilung (U.S. Army Corps of Engineers 2002)

Eine weitere Möglichkeit der Seegangsauswertung liegt in der Ermittlung von Häufigkeiten für das Eintreten bestimmter Ereignisse. Die relative Häufigkeit (r_n) stellt den Anteil der Werte $h_n(A)$ einer Grundgesamtheit (n) dar, bei denen das zuvor definierte Ereignis (A) eingetreten ist (Gleichung 2).

$$r_n(A) = \frac{h_n(A)}{n} \quad \text{Glg. 2 (Bosch 1998)}$$

Diese Methode findet z.B. Anwendung durch die Festlegung von Mindestwellenhöhen und der anschließenden Ermittlung der Wellen, die dieses Kriterium erfüllen. Zum Beispiel gibt $H_{0,75}$ den prozentualen Anteil der Wellen einer Zeitreihe an, die größer oder gleich 0,75 m sind (EAK 2007).

5.3.2 Extremwertstatistik

In einigen Ingenieurdisziplinen ist es üblich, Bemessungsgrößen nicht aus Mittelwerten, sondern aus Extremwerten abzuleiten. Dies ist in der Tatsache begründet, dass ein Versagen von Konstruktionen großer Wichtigkeit (z.B. Hochwasserschutzdeich oder Ölbohrplattform) nur mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit akzeptiert wird. Um diese Wahrscheinlichkeiten zu ermitteln, muss aus den vorhandenen Daten (Stichprobe) auf die Grundgesamtheit des Merkmals (z.B. Wellenhöhe) geschlossen werden. Dies geschieht über die Bestimmung der Verteilungsfunktion. Anhand dieser Funktion können Merkmalsausprägungen Eintrittshäufigkeiten und somit Wiederkehrintervallen zugeordnet werden. Die Häufigkeit eines Extremwertes mit definierter Größe (z.B. Häufigkeit Windstärke = 12 Bft.) sowie der zu erwartende Extremwert in einem definierten Zeitraum (z.B. Wasserstand eines 200-jährlichen Hochwassers), lassen sich dadurch ablesen. Zur statistischen Auswertung von Extremwerten ist folgende Reihenfolge einzuhalten: Datenerfassung, Prüfung, Plausibilitätskontrolle – Auswahl und Bewertung der Stichprobe – Auswahl geeigneter Verteilungsfunktionen – Anpassung der Verteilungsfunktion an die Stichprobe – Bewertung der Anpassung und Ermittlung von Konfidenzintervallen – Extrapolation der Daten auf geringe Eintrittswahrscheinlichkeiten – Wahl von Eingangsdaten für die Bemessung (EAK 2007). Abb. 17 zeigt eine Auswahl unterschiedlicher Verteilungsfunktionen. Daraus wird deutlich, dass die gewählte Verteilungsfunktion und die Anpassung an die Messwerte sehr großen Einfluss auf die ermittelten Extremwerte haben.

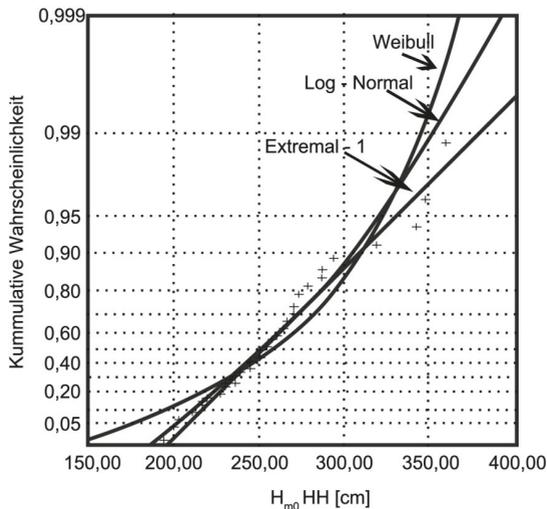


Abb. 17: Unterschiedliche Verteilungsfunktionen (Weibull, Log-Normal, Extremal-1) ausgewertet nach HAZEN und die Auswirkungen auf die ermittelten Extremwerte (signifikante Wellenhöhe) und die dazugehörigen Häufigkeiten (Fröhle 2000)

5.4 Auswertemethodik

Wie in Abschnitt 4.3 beschrieben, variieren die Angaben zur Effizienz von Ölhavariebekämpfungsmethoden erheblich. Eine Festlegung von einem einzelnen Grenzwert im Zuge einer statistischen Seegangsauswertung ist demnach willkürlich und der Komplexität des Themas unangemessen.

Um der großen Bandbreite an Geräten und dazugehörigen Methoden der Effizienzbestimmung Rechnung zu tragen, wurde im Rahmen der eigenen Auswertungen nicht ein einzelner Grenzwert zur Ermittlung von Eintrittshäufigkeiten festgelegt, sondern unterschiedliche Klassen. Dadurch können die Einsatzgrenzen und die daraus resultierenden Einsatzmöglichkeiten miteinander verglichen werden. Die erzeugten Daten können außerdem als Werkzeug zur eigenständigen Bewertung weiterer seegangsabhängiger Aktivitäten verwendet werden. Als objektiver Wert (ohne vorgegebene Werte oder Klassen) wird weiterhin die mittlere signifikante Wellenhöhe ermittelt. Die in Abschnitt 5.3 beschriebenen Daten wurden mit der Software MATLAB (MathWorks 2018) und speziell für diesen Zweck geschriebenen m-files statistisch ausgewertet (Anhang 1).

5.4.1 Flächige Seegangsauswertung

Die flächige Auswertung der Modelldaten wurde auf unterschiedlichen zeitlichen Ebenen durchgeführt:

- Für den gesamten Zeitraum,
- für die astronomischen Jahreszeiten (Frühling, Sommer, Herbst und Winter) und
- für jeden Monat einzeln.

Die dabei ermittelten Parameter sind:

- Die mittlere signifikante Wellenhöhe [m],
- die Eintrittshäufigkeit für Wellen $H_s > 0,5$ m [%],
- die Eintrittshäufigkeit für Wellen $H_s > 1,0$ m [%] und
- die Eintrittshäufigkeit für Wellen $H_s > 1,5$ m [%].

Durch die Anwendung dieser Auswahlmatrix wurden für die Ostsee und die Nordsee jeweils 68 Karten mit statistischen Seegangsinformationen erzeugt (siehe Tab. 6).

Tabelle 6: Matrix der erzeugten flächigen Seegangsauswertungen für Nord- und Ostsee

	Mittlere Signifikante Wellenhöhe [m]	$H_s > 0,5$ m [%]	$H_s > 1,0$ m [%]	$H_s > 1,5$ m [%]
Gesamtzeitraum	x	x	x	x
Frühling	x	x	x	x
Sommer	x	x	x	x
Herbst	x	x	x	x
Winter	x	x	x	x
Januar	x	x	x	x
Februar	x	x	x	x
März	x	x	x	x
April	x	x	x	x
Mai	x	x	x	x
Juni	x	x	x	x
Juli	x	x	x	x
August	x	x	x	x
September	x	x	x	x
Oktober	x	x	x	x
November	x	x	x	x
Dezember	x	x	x	x

5.4.2 Zeitliche Seegangsauswertung

Für die einzelnen Gitterpunkte der Modelldaten sind nachfolgend Monatswerte der in Abschnitt 5.4.1 beschriebenen Parameter als Jahresverlauf grafisch dargestellt. Zusätzlich sind die Parameter für den Gesamtzeitraum und die astronomischen Jahreszeiten tabellarisch dargestellt. Für die Ostsee wurde jeder fünfte Gitterpunkt nach dieser Methode ausgewertet (Abb. 18), für die Nordsee jeder dritte (Abb. 19).

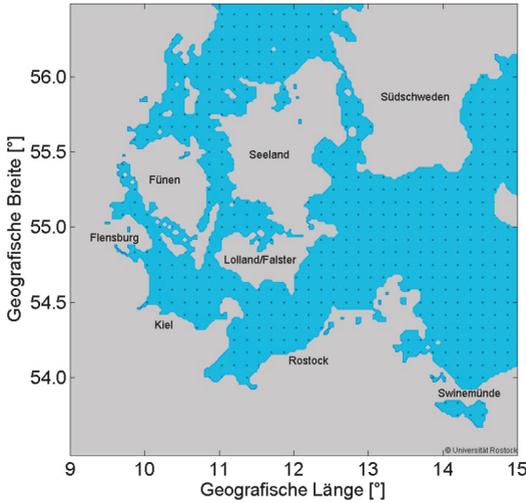


Abb. 18: Übersicht Lokationen in der Ostsee mit monatlicher Seegangsauswertung

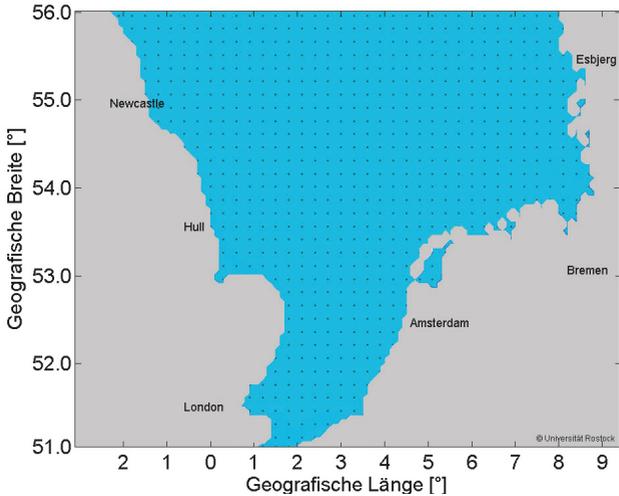


Abb. 19: Übersicht Lokationen in der Nordsee mit monatlicher Seegangsauswertung

5.5 Ergebnisse

In den folgenden beiden Abschnitten werden nur ausgewählte Ergebnisse beispielhaft vorgestellt. Die vollständigen Ergebnisse können dem digitalen Anhang entnommen werden und sind auf der Website www.seegang.info abrufbar. Ein Auszug von 20 Karten zum Seegang in der Ostsee und deren potentielle Anwendung ist in der Fachzeitschrift *Ocean Engineering* veröffentlicht (Siewert et al. 2015). In Kapitel 6 werden die Ergebnisse ausführlich mit dem Thema Ölavariebekämpfung verknüpft.

5.5.1 Seegangskarten

Die Hauptwindrichtung für die südliche Ostsee ist Süd – West. Daraus resultiert eine Zunahme der mittleren signifikanten Wellenhöhe von West nach Ost. Der jahreszeitliche Verlauf zeigt eine Abnahme der Wellenhöhen vom Frühling zum Sommer und eine Zunahme der Wellenhöhe vom Sommer zum Winter (Abb. 20).

Auch die Nordsee wird vor allem durch Wind aus der Richtung Süd-West beeinflusst. Die britischen Inseln sorgen für eine Abschattung der westlichen Nordsee und zunehmende Wellenhöhen in Richtung Norden (Abb. 21). Der Jahreszeitliche Verlauf ist analog zu dem der Ostsee. Die höchsten mittleren Wellenhöhen treten jeweils im Winter auf.

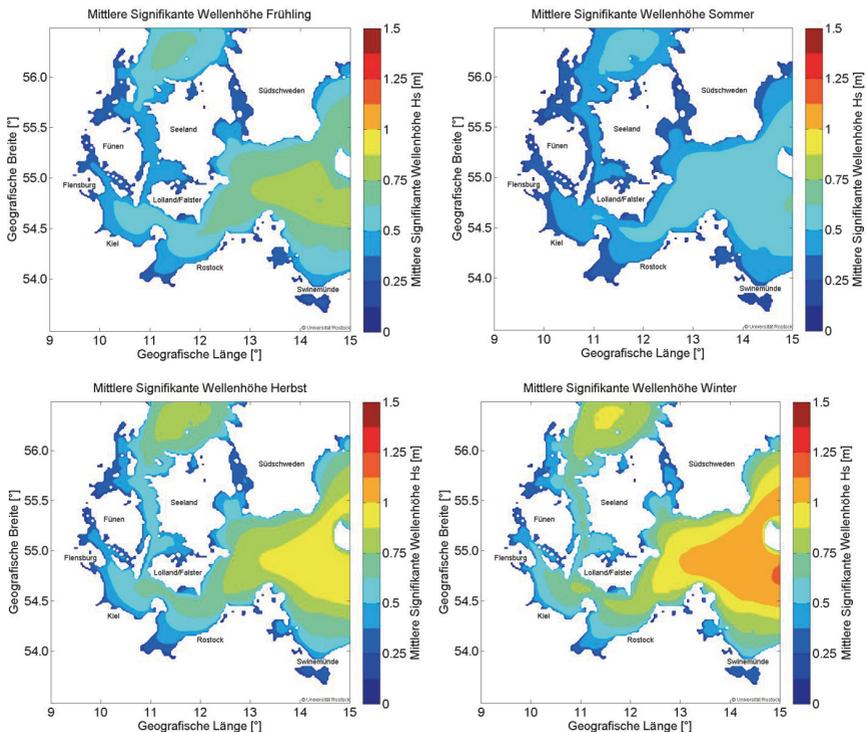


Abb. 20: Jahreszeitlicher Verlauf der mittleren signifikanten Wellenhöhen der südlichen Ostsee im Frühling, Sommer, Herbst und Winter

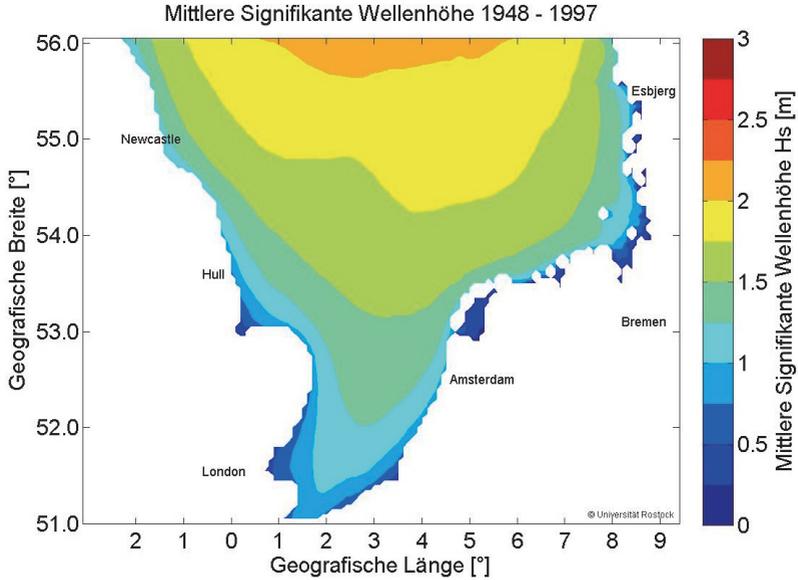


Abb. 21: Mittlere signifikante Wellenhöhe in der Nordsee (1948 – 1997)

5.5.2 Karten Eintrittshäufigkeiten

Abb. 22 zeigt die Eintrittshäufigkeit von Wellen in der südlichen Ostsee, die das Kriterium $H_s > 1,0$ m erfüllen (Jahreszeit Winter).

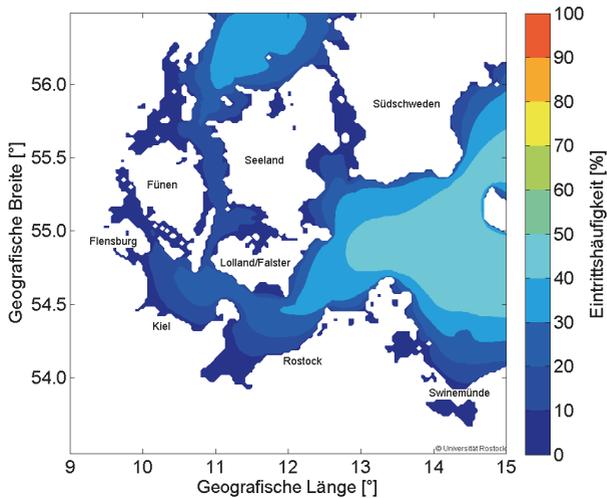


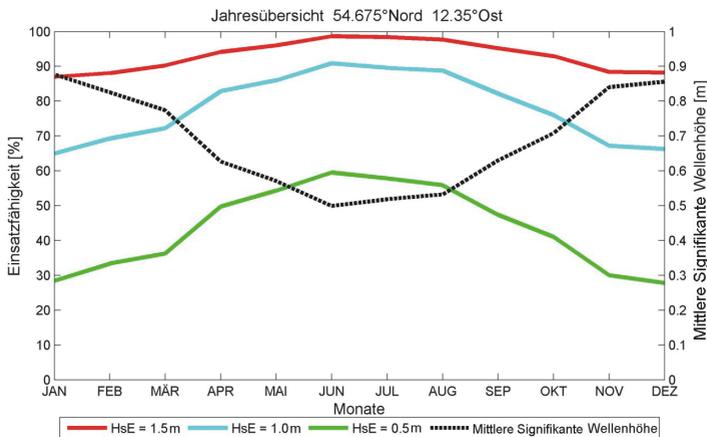
Abb. 22: Eintrittshäufigkeit von Wellen $H_s > 1,0$ m für die Jahreszeit Winter

5.5.3 Lokationsauswertung

Abb. 23 zeigt beispielhaft die Jahresübersicht der ausgewählten statistischen Parameter am Gitterpunkt 54,675°N und 12,35°E. Dieser Punkt liegt in der Kadetrinne in der Ostsee. Diese Abbildung ist eine Zusammenfassung der Informationen aus den zuvor beschriebenen Kartentypen (Wellenhöhen und Eintrittshäufigkeiten). Die gestrichelte Linie zeigt die mittlere signifikante Wellenhöhe und bezieht sich auf die rechte Y-Achse. Analog zu den Seegangskarten nimmt die mittlere signifikante Wellenhöhe im Sommer ab. Die farbigen Linien zeigen die Einsatzfähigkeit (E_x) für Geräte mit einer festgelegten maximal zulässigen Wellenhöhe (0,5 m, 1,0 m und 1,5 m). Die Einsatzfähigkeit berechnet sich nach Glg.3:

$$E_x = 1 - r_n(A) \quad \text{Glg. 3}$$

Besitzt ein Gerät beispielsweise eine maximal zulässige Wellenhöhe von $H_s = 0,5$ m und die Eintrittshäufigkeit für $H_s > 0,5$ m beträgt 70 %, liegt die Einsatzfähigkeit $H_s E_{0,5}$ bei 30 %. Mit abnehmender Wellenhöhe im Sommer nimmt die Einsatzfähigkeit zu.



	1948-1997	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
..... mittlere Signifikante Wellenhöhe [m]	0,69	0,66	0,52	0,73	0,86
..... Einsatzfähigkeit bis $H_s = 0,5$ m [%]	43,5	46,8	57,7	39,5	29,6
..... Einsatzfähigkeit bis $H_s = 1,0$ m [%]	78,1	80,5	89,7	75,1	66,6
..... Einsatzfähigkeit bis $H_s = 1,5$ m [%]	93,0	93,5	98,3	92,1	87,7

© Universität Rostock

Abb. 23: Jahresübersicht Seegangsauswertung und Einsatzfähigkeiten in der Kadetrinne in der Ostsee

5.5.4 Website

Auf der Website www.seegang.info sind alle in diesem Kapitel beschriebenen Karten und Abbildungen abrufbar. Die Startseite enthält Informationen zu den verwendeten Daten und angewendeten statistischen Methoden sowie die komplette Dissertation als Datei. Die in Tab. 6 erläuterten Parameter sind in einem Drop Down Menü auswählbar. Die Lokationen aus Abb. 18 und Abb. 19 sind einzeln anklickbar. Abbildungen und Karten sind alle als Bilddatei (jpg, tif, png) hinterlegt. Auf der Website werden keine statistischen Auswertungen durchgeführt. Diese wurden, wie in Abschnitt 5.4 erläutert, bereits mit MATLAB durchgeführt und sind abgeschlossen.

6 Bewertung vorhandener Methoden und Mittel zur Ölhavariebekämpfung in Deutschland auf Basis limitierender Randbedingungen

Im „Gemeinsamen Systemkonzept des Bundes und der Küstenländer zur Bekämpfung von Meeresverschmutzungen“ (Havariekommando 2008) und dem daraus abgeleiteten „VPS Bekämpfungshandbuch“ (GICON 2012) wird die mechanische Bekämpfung von Ölverschmutzungen als die primäre Bekämpfungsmaßnahme benannt. Die In-situ-Verbrennung ist in Deutschland theoretisch möglich, wurde bisher jedoch nie angewendet (BfG 2011). Der Einsatz von Dispergatoren ist für die Ostsee nicht vorgesehen. Für die Nordsee wurden Gebiete festgelegt, in denen ein Dispergatoreinsatz mit Einzelfallgenehmigung möglich ist (Grote 2016). Deutschland verfügt aber weder über Dispergatoren noch über Geräte zur Ausbringung. Ausgehend von diesen Randbedingungen müssen zur Bewertung der Ölhavariebekämpfung in Deutschland vor allem die mechanischen Methoden berücksichtigt werden.

Auf die Angaben zur Effektivität bzw. zur Reinigungsleistung unterschiedlicher Ölhavariebekämpfungsmethoden wurde in den Kapiteln 3 und 4 bereits hingewiesen. Der Versuch einen allgemein gültigen Standard zu definieren, ist unter Berücksichtigung der vielschichtigen Eingangsgrößen nicht möglich. Dies hat mehrere Gründe. Die Übertragung von Laborergebnissen auf die Realität ist nur eingeschränkt möglich, da die gewählten Randbedingungen im Labor (wie z.B. Ölschichtdicke, Zustand des Öls, Wellenhöhe oder Temperatur) in der Realität nur sehr selten angetroffen werden. Die in der Realität erreichten Reinigungsleistungen sind ebenfalls nicht für eine Verallgemeinerung anwendbar, da die vorherrschenden Randbedingungen in den meisten Fällen nicht gemessen werden. Ein Vergleich von theoretischen und praktischen Werten ist daher nicht möglich. Zur Bewertung der existierenden Notfallpläne und der darin eingesetzten Methoden ist es aber erforderlich, Grenzwerte festzulegen. Nur so ist es möglich, Handlungsabläufe im Falle einer Havarie vorab zu definieren und zügiges Handeln zu ermöglichen. Im Folgenden werden Bewertungen für unterschiedliche Grenzwerte durchgeführt. Damit soll dem potentiellen Nutzer die Möglichkeit gegeben werden, eigene Erfahrungen in den Bewertungsprozess einzubeziehen und das Potential der ausgewerteten Daten auszuschöpfen.

6.1 Mechanische Ölhavariebekämpfung in der Ostsee

Durch die Festlegung eines Grenzwertes als Ausschlusskriterium für den Einsatz bestimmter Geräte lassen sich durch die Zusammenfassung der Werte weitere Karten ableiten. Abb. 24 zeigt die mittlere signifikante Wellenhöhe und davon abgeleitete Karten. Als Grenzwerte wurden die Wellenhöhen $H_{smax} = 0,5 \text{ m} / 0,75 \text{ m} / 1,0 \text{ m}$ festgelegt. Anschließend wurden die Gebiete mit Seegang kleiner als der Grenzwert grün eingefärbt und die Gebiete mit Seegang größer als der Grenzwert rot eingefärbt. Für den Grenzwert $H_{smax} = 0,5 \text{ m}$ (Abb. 24 oben rechts) sind große Teile der deutschen Ostsee rot eingefärbt. Die Wismarer Bucht und Teile der Kieler Bucht sind noch grün. Ebenso wie die küstennahen Gebiete vor Rostock und Usedom. Die am stärksten befahrenen Gebiete der südlichen Ostsee (Kadetrinne und Fehmarnbelt) sind schon bei diesem Grenzwert rot eingefärbt. Eine Anhebung des Grenzwertes auf $H_{smax} = 0,75 \text{ m}$ (Abb. 24 unten links) führt erwartungsgemäß zu einer Zunahme der grün eingefärbten Flächen. Das deutsche Seegebiet im Norden der Insel Rügen bleibt aber rot eingefärbt. Für den Grenzwert $H_{smax} = 1,0 \text{ m}$ (Abb. 24 unten rechts) gibt es keine roten Flächen mehr auf der Karte. Das liegt daran, dass es keine Gebiete mit einer mittleren signifikanten Wellenhöhe größer $H_{smax} = 1,0 \text{ m}$ gibt.

6 Bewertung vorhandener Methoden und Mittel zur Ölvariebekämpfung in Deutschland auf Basis limitierender Randbedingungen

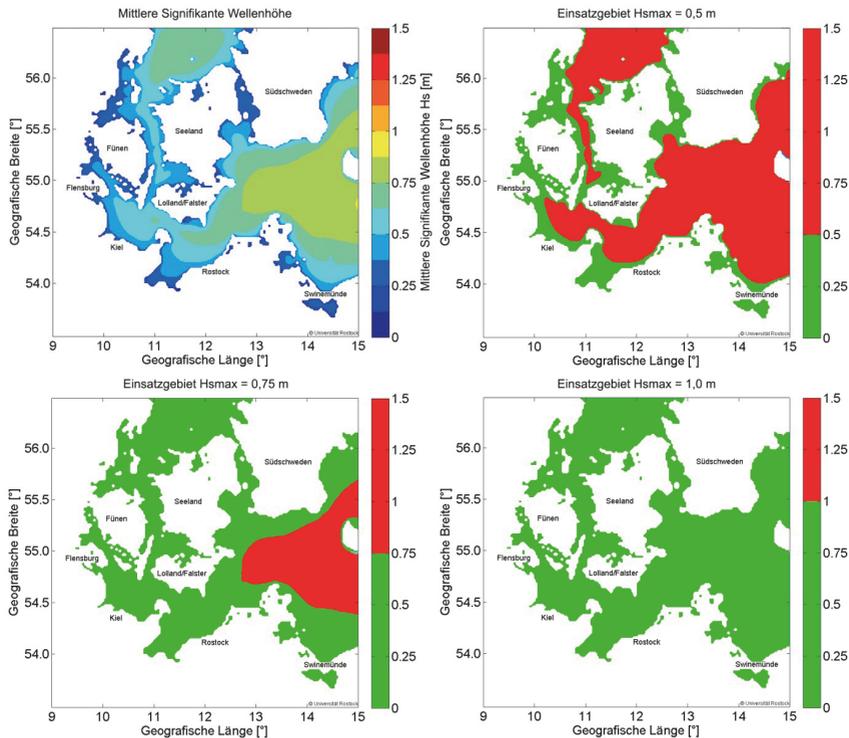


Abb. 24: Mittlere Signifikante Wellenhöhe in der Ostsee und Einsatzgebiete für unterschiedliche Einsatzmaxima (grüne Fläche kleiner als Grenzwert, rote Fläche größer als Grenzwert)

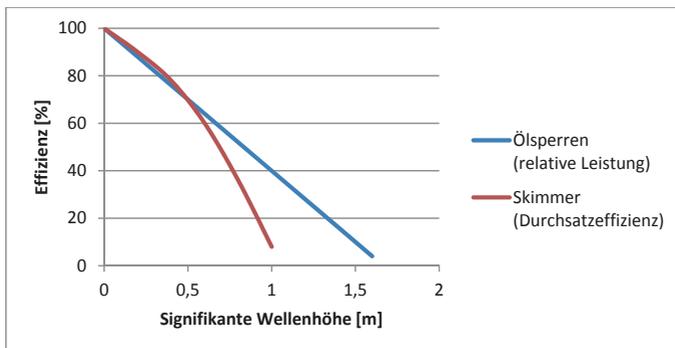


Abb. 25: Effizienz von Ölsperren und Skimmern in Abhängigkeit von der signifikanten Wellenhöhe (nach (Fingas 2011f))

Die tatsächliche Festlegung von Einsatzgrenzwerten kann nur mit viel Erfahrung und vor allem geräteabhängig durchgeführt werden. Eine erste Orientierung gibt Abb. 25. Die darin abgeleiteten Funktionen basieren auf Messungen einer Vielzahl unterschiedlicher Einrichtungen über einen Zeitraum von fast 30 Jahren (Fingas 2011f). Durchschnittliche Ölsperren und Skimmer haben bei einer signifikanten Wellenhöhe von $H_s = 0,5\text{ m}$ bereits ein Drittel ihrer Effizienz eingebüßt. Während durchschnittliche Ölsperren bei einer signifikanten Wellenhöhe von $H_s = 1,0\text{ m}$ noch eine Effizienz von etwa 40 % haben, sind Skimmer bei dieser Wellenhöhe völlig unbrauchbar. Ohne einen Skimmer, der das Öl von der Wasseroberfläche entfernt, ist aber auch der Einsatz von Ölsperren nur begrenzt möglich. Wird die Schichtdicke des Öls innerhalb der Ölsperre zu groß, wird Öl durch Über- oder Unterspülen aus der Sperre ausgetragen.

Neben dem Einfluss der Wellenhöhe auf die Effizienz spielt auch die Wellenperiode eine wichtige Rolle. Die große horizontale Ausdehnung von Ölsperren führt zu einer gewissen Trägheit und somit zu einer begrenzten Anpassungsfähigkeit an die Wasseroberfläche. Bei voll ausgeprägtem Seegang mit großen Wellenlängen und geringer Richtungsstreuung (Dünung) ist das weniger von Bedeutung. In der Ostsee dominiert aber die so genannte Windsee mit kurzen Wellenlängen und einer großen Richtungsstreuung. Dies führt zu einer weiteren Abnahme der Effizienz von Ölsperren und Skimmern.

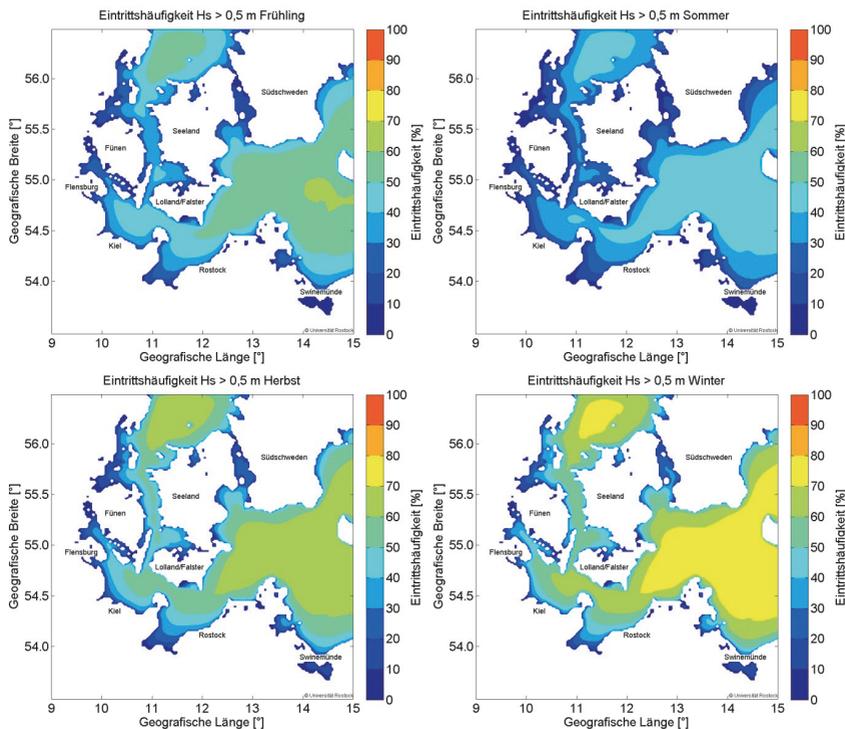
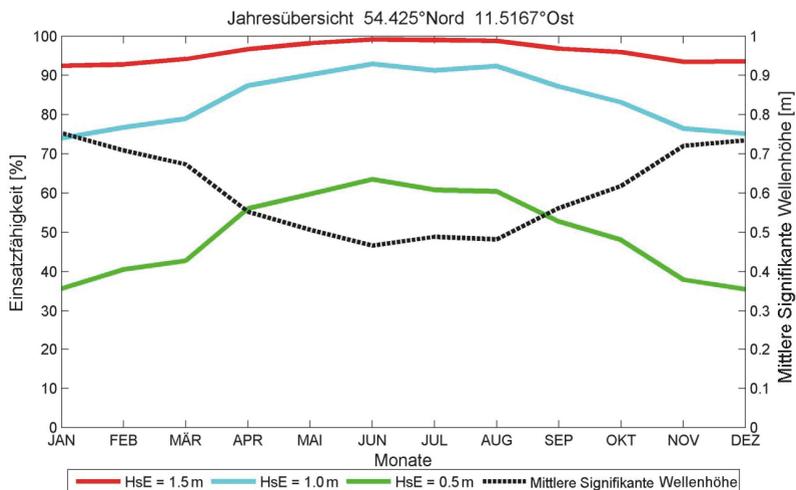


Abb. 26: Eintrittshäufigkeit für Wellen $H_s > 0,5\text{ m}$ für die vier Jahreszeiten

Für Bindemittel ist die Wellenhöhe nur indirekt von Bedeutung. Der Prozess der Adsorption wird durch die Wellenbewegung nicht negativ beeinflusst. Die Wellenbewegung führt zu einer Bewegung der Bindemittel auf der Wasseroberfläche, dadurch wird die Kontakthäufigkeit von Bindemittel und Öl erhöht. Die Wellenenergie führt aber auch zu einer Durchmischung des Öls. Dadurch kommt es zu einer Zunahme der Viskosität und zu einer stärkeren Verwitterung des Öls. Beides wirkt sich negativ auf die Adsorption aus. Allgemeine Aussagen zur Veränderung des Öls über die Zeit sind nicht möglich. Aber der Öltyp und die meteorologischen und hydrodynamischen Randbedingungen beeinflussen die Sorptionsprozesse maßgeblich. Dabei ist zu beachten, dass die Verwitterung des Öls ein Prozess ist der sich über mehrere Tage erstreckt (Nordvik 1995).

Ein detaillierter Blick auf die jahreszeitliche Verteilung zeigt eine große Streubreite der mittleren signifikanten Wellenhöhen und der daraus abgeleiteten Eintrittshäufigkeiten. Abb. 26 zeigt die Eintrittshäufigkeit von Wellen mit $H_s > 0,5$ m in den vier Jahreszeiten. Lediglich im Sommer liegt die Eintrittshäufigkeit für $H_s > 0,5$ m bei unter 50 %. Im Herbst und vor allem im Winter liegt die Eintrittshäufigkeit für $H_s > 0,5$ m in großen Gebieten weit über 50 %.

Die in Abschnitt 5.5.3 beschriebene Stationsauswertung fasst die davor erzielten Bewertungen zusammen. Beispielhaft wird nun folgend in Abb. 27 der Fehmarnbelt betrachtet. Ausgehend von existierenden Risikobewertungen (BRISK 2011) gehört dieses Seegebiet zusammen mit der Kadetrinne zu den deutschen Seegebieten mit dem höchsten Risiko für eine Ölhavarie durch Schiffsunfall (Kollision und / oder



	1948-1997	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
..... mittlere Signifikante Wellenhöhe [m]	0.61	0.58	0.48	0.63	0.73
— Einsatzfähigkeit bis $H_s = 0,5$ m [%]	49.5	53.0	61.5	46.2	36.9
— Einsatzfähigkeit bis $H_s = 1,0$ m [%]	83.8	85.6	92.1	82.2	75.2
— Einsatzfähigkeit bis $H_s = 1,5$ m [%]	95.9	96.3	99.0	95.3	92.9

© Universität Rostock

Abb. 27: Jahresübersicht statistische Seegangsauswertung und Einsatzfähigkeiten im Fehmarnbelt

auf Grund laufen). In den Monaten Dezember und Januar liegt die Einsatzfähigkeit für Bekämpfungsgeräte mit einem Einsatzmaximum $H_s = 0,5$ m bei ca. 35 %. Dieser Wert steigt bis zum Juni auf 60 % an.

6.2 Mechanische Bekämpfung Nordsee

Analog zum Abschnitt 6.1 werden folgend drei Grenzwerte für die Ableitung potentieller Einsatzgebiete festgelegt (Abb. 28). Die mittlere signifikante Wellenhöhe ist in der Nordsee signifikant höher als in der Ostsee. Die abgeleiteten Karten sind dementsprechend auch viel stärker durch ungeeignete Gebiete und die Farbe Rot geprägt. Für das Einsatzmaximum $H_{smax} = 0,5$ m sind nur die Mündungsgebiete von Elbe und Weser geeignet sowie die Wattgebiete landseitig der Ost- und Nordfriesischen Inseln. Die Erhöhung des Einsatzmaximums auf $H_{smax} = 0,75$ m führt im deutschen Seegebiet nur zu unwesentlichen Zunahmen der Eignungsflächen. Das gilt analog auch für ein Einsatzmaximum von $H_{smax} = 1,0$ m.

Jahreszeitliche Schwankungen treten in der Nordsee ebenso auf wie in der Ostsee. Die Eintrittshäufigkeit für Wellenhöhen größer als 0,5 m in der Deutschen Bucht ist aber für alle vier Jahreszeiten größer als 50 %. Die Mündungsbereiche von Elbe und Weser weisen kleinere Wellenhöhen und somit auch niedrigere Eintrittshäufigkeiten auf.

Für eine beispielhafte Stationsauswertung wurde eine Lokation gewählt, die sich etwa auf halber Strecke zwischen Cuxhaven und Helgoland befindet. Die mittlere signifikante Wellenhöhe liegt dort im Sommer bei $H_s = 0,85$ m (Abb. 30). Der Jahresmittelwert liegt bei $H_s = 1,08$ m. Die Einsatzfähigkeit für das Gerätemaximum $H_{smax} = 0,5$ m liegt zu keinem Zeitpunkt über 30 %.

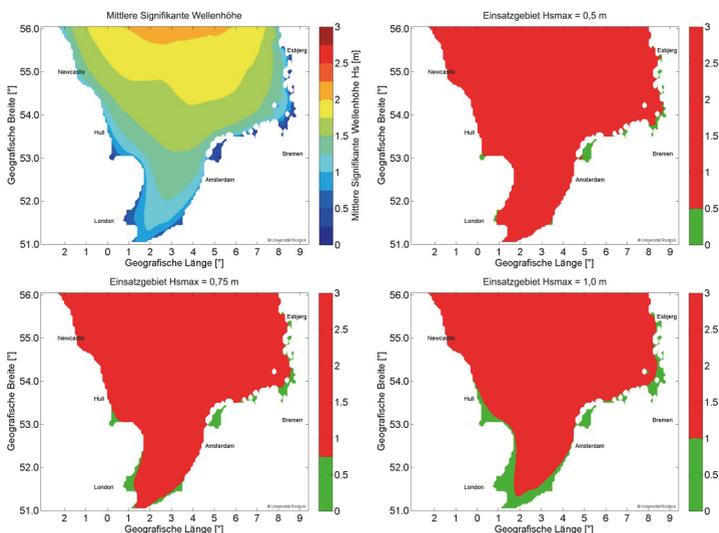


Abb. 28: Mittlere signifikante Wellenhöhe in der Nordsee und Einsatzgebiete für unterschiedliche Einsatzmaxima

6 Bewertung vorhandener Methoden und Mittel zur Ölvariebekämpfung in Deutschland auf Basis limitierender Randbedingungen

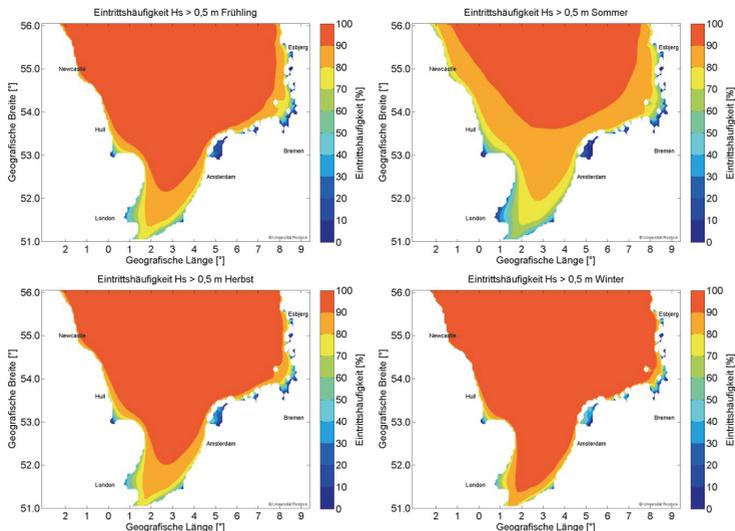
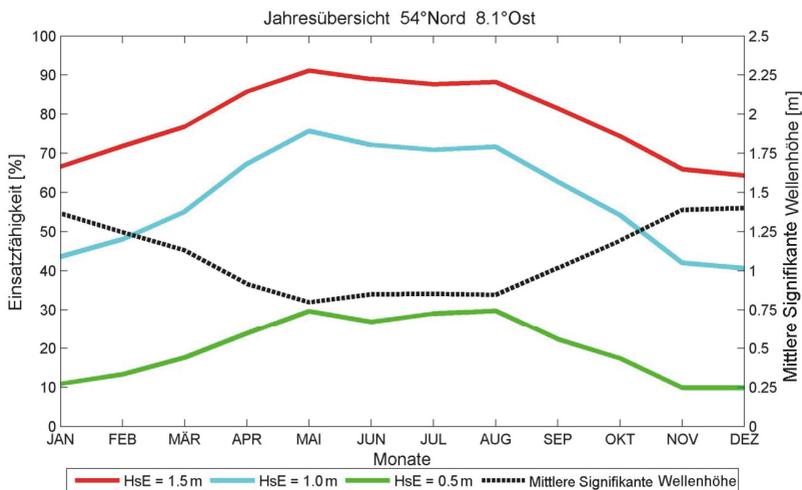


Abb. 29: Eintrittshäufigkeit für Wellen $H_s > 0,5$ m für die vier Jahreszeiten in der Nordsee.



	1958-2007	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
..... mittlere Signifikante Wellenhöhe [m]	1.08	0.95	0.85	1.20	1.35
— Einsatzfähigkeit bis: $H_s = 0,5$ m [%]	20.1	23.5	28.6	16.6	11.2
— Einsatzfähigkeit bis: $H_s = 1,0$ m [%]	20.1	65.9	71.7	53.0	43.7
— Einsatzfähigkeit bis: $H_s = 1,5$ m [%]	78.6	84.6	88.2	74.0	67.2

© Universität Rostock

Abb. 30: Statistische Auswertung von Seegangdaten und Einsatzfähigkeiten zwischen Cuxhaven und Helgoland.

6.3 Einordnung der Ergebnisse

Die Zusammenfassung der Ergebnisse aus Abb. 24 bis 30 führt zu dem Schluss, dass die mechanische Ölhavariabekämpfung auf der Ostsee mit Ölsperren und Skimmern in weiten Teilen nur mit einer geringen Effizienz durchführbar ist. Für die Nordsee sind die Ergebnisse aufgrund der höheren Wellenhöhen noch schlechter als in der Ostsee. Die von den Behörden vorgesehene primäre Bekämpfungsmethode ist demnach nur mit unzureichender Effizienz einsetzbar.

Es ist somit festzustellen, dass die deutschen Gewässer und die deutschen Küsten nur unzureichend vor der Verschmutzung durch Ölhavarien geschützt sind!

Die Investitionen in neue Mehrzweckschiffe in den vergangenen Jahren (Landtag Mecklenburg-Vorpommern 2017) legen nahe, dass auch in Zukunft auf mechanische Bekämpfung als primäre Bekämpfungsstrategie gesetzt wird. Dies geschieht, obwohl die Seegangsabhängigkeit dieser Methoden bekannt ist. Das Havariekommando und die Küstenbundesländer erklären im gemeinsamen Systemkonzept: *„Entscheidend für die Wirksamkeit von Vorsorgemaßnahmen sind aber die tatsächlichen Erfahrungen aus dem Unfall- und Übungsgeschehen“* (Havariekommando 2008). Der Blick auf die Öldetektionen in Deutschen Gewässern zeigt aber, dass es seit vielen Jahren keine größeren Ölaustritte gegeben hat (Tab. 7) und das Zitat somit jeglicher Grundlage entbehrt.

Tabelle 7: Durch Fernerkundung detektierte Ölaustritte in Nord- und Ostsee (Helcom - Baltic Marine Environment Commission 2018; Bonn Agreement 2011-2015)

Gebiet	Keine Angaben	<0,1 m ³	0,1-1 m ³	1-10 m ³	10-100 m ³	>100 m ³	Σ
Nordsee (2011-2015)	37,5%	41,3%	15,0%	6,2%	0,0%	0,0%	100 %
Ostsee (1998-2015)	18,3%	58,6%	16,5%	6,3%	0,3%	0,0%	100 %

Aus ökologischer und ökonomischer Perspektive ist das gut. Es führt aber gleichzeitig zu einem Mangel an tatsächlicher Erfahrung aus dem Unfallgeschehen. Weiter heißt es im Systemkonzept: *„Die umfangreichen Erfahrungen aus nationalen und internationalen Bekämpfungseinsätzen sowie den regelmäßigen Übungen zeigen, dass mit der heute erreichten nationalen Geräteausstattung sowie dem etablierten und bewährten System der nachbarstaatlichen Hilfe auf Schadstoffunfälle in der Nord- und Ostsee schnell, flexibel und schlagkräftig reagiert werden kann“* (Havariekommando 2008). Das deutsche und europäische Netzwerk zur Schadstoffunfallbekämpfung ist komplex und gut erprobt. Die nationale Geräteausstattung ist ebenso erprobt. Der sichere und sachgemäße Einsatz ist damit gewährleistet. Eine korrekte Handhabung ändert aber nichts an den technischen Grenzen der Geräte.

Der Status der Ölhavarienvorsorge in Deutschland lässt sich somit folgendermaßen zusammenfassen: Gut organisiertes, geschultes und vernetztes Personal unterhält Technik, welche nur sehr selten sinnvoll eingesetzt werden kann.

Das ist kein Geheimnis, wird aber von allen Beteiligten aufgrund des scheinbaren Mangels an Alternativen weitestgehend akzeptiert. Gleichzeitig wird das, ohnehin schon beengte, befahrbare Seegebiet in Nord- und Ostsee durch die Errichtung von Offshore Windparks immer kleiner und das Risiko für Unfälle steigt weiter an. Neben dem Transport von Rohöl sind es auch die vielen anderen Schiffe und die an Bord befindlichen Kraftstoffe, von denen eine erhebliche Umweltgefahr ausgeht.

6 Bewertung vorhandener Methoden und Mittel zur Ölhavariebekämpfung in Deutschland auf Basis limitierender Randbedingungen

Neben den ökologischen Konsequenzen einer Ölhavarie sind auch die wirtschaftlichen Folgen zu berücksichtigen. Die Wertschöpfung an der deutschen Küste durch den Tourismus ist erheblich. Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein und Niedersachsen hatten im Jahr 2016 etwas mehr als 100 Millionen Übernachtungen. Das entspricht 22,6 % der Übernachtungen in ganz Deutschland. Der Umsatz im Gastgewerbe im Jahr 2015 in den drei genannten Bundesländern liegt bei etwa 18,4 Milliarden Euro (Statistisches Jahrbuch Deutschland 2017). Eine Ölhavarie in den Hochrisikogebieten Kadetrinne oder Fehmarnbelt in Kombination mit dem „richtigen“ Wind hätte für die Deutsche Ostseeküste schwerwiegende Konsequenzen. Dies gilt ebenso für die Deutsche Bucht und die Deutsche Nordseeküste. Aus Mangel an wirksamen Bekämpfungswerkzeugen müssten die zuständigen Behörden der Verölung der Küsten tatenlos zusehen.

7 Bindemittel als Ergänzung der mechanischen Ölhavariebekämpfung

7.1 Das System BioBind

(Saathoff et al. 2014)

Vor dem Hintergrund der in Kapitel 6 beschriebenen Beschränkungen wurde ein neues System zur Ölhavariebekämpfung entwickelt, welches nachfolgend erläutert wird. Im Zuge eines Verbundforschungsprojekts deutscher Partner (2011 – 2014) wurde ein luftgestütztes Ölhavariebekämpfungssystem mit dem Namen BioBind als Ergänzung zu bestehenden Systemen entwickelt (Abb. 31). Der Autor der vorliegenden Arbeit war von Beginn an in den Projekten BioBind und dem Folgeprojekt SBOIL als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektkoordinator an der Entwicklung und Implementierung des Systems beteiligt. BioBind zeichnet sich aus durch eine schnelle Analyse und Überwachung von Ölverschmutzungen auf See sowie eine zeitnahe Bekämpfung und Reinigung insbesondere in Flachwassergebieten und küstennahen Bereichen. Dies geschieht über den Einsatz biologisch abbaubarer Ölbinder, auf denen ölabbauende Mikroorganismen immobilisiert sind. Die Ölbinder werden luftgestützt oder vom Schiff ausgebracht, mit einem im Vorhaben entwickelten Bergesystems (seeseitig und landseitig) geborgen und ihrer Verwertung zugeführt. Die Ölverschmutzung und die ausgebrachten Ölbinder werden mit einem kostengünstigen Ölspezifizierungs- und Überwachungssystem erfasst und überwacht. Um einen effektiven Einsatz der verschiedenen Komponenten zu gewährleisten, wurde ein Unfallmanagementsystem entwickelt. Die Kombination innovativer Einzelkomponenten zu einem integrierten Gesamtsystem erforderte die Erstellung von Anforderungskatalogen, deren Aufgabe es war, die verschiedenen Anforderungen aller Einzelkomponenten miteinander in Einklang zu bringen. Die Auswertung dieser Daten legte den Grundstein für die weitere Konzeptentwicklung.

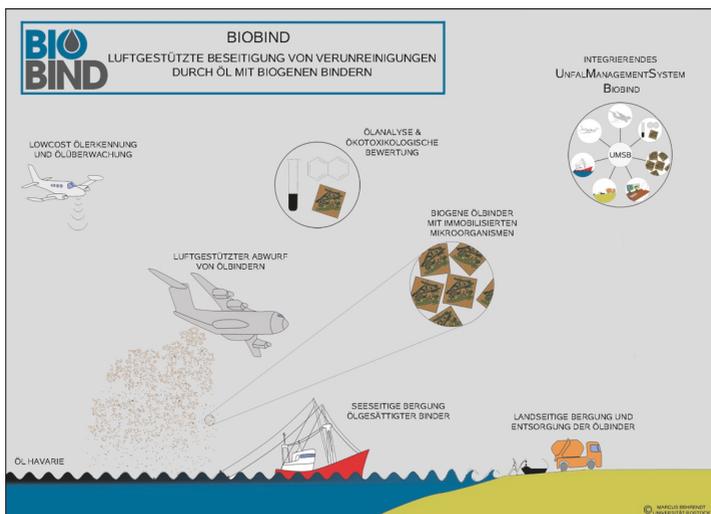


Abb. 31: Übersicht der Einzelkomponenten des Ölhavariebekämpfungssystems BioBind



Abb. 32: Das Forschungsschiff „Elisabeth Mann Borgese“ (links) und der Fischkutter Prerow (rechts) schleppen die Netzsperrre während eines Freilandversuches auf der Ostsee (Foto: FSB Airservice)

Das Konsortium bestand aus folgenden Forschungseinrichtungen und mittelständischen Unternehmen:

- AGRO-SAT Consulting GmbH (Baasdorf)
- Technische Universität Dresden, Institut für Holz- und Papiertechnik
- Universität Leipzig, Institut für Biologie, Abteilung Pflanzenphysiologie
- Leibniz Institut für Ostseeforschung Warnemünde Abteilung Meeresschemie
- FSB Airservice GmbH (Barth)
- Universität Rostock, Lehrstuhl für Meerestechnik
- Universität Rostock, Lehrstuhl für bzw. Professur Geotechnik und Küstenwasserbau (Projektleitung)
- GICON Großmann Ingenieur Consult (Rostock)

Zur Erprobung des Gesamtsystems wurden drei große Freilandversuche auf der Ostsee durchgeführt (Abb. 32). Dafür wurden das Forschungsschiff „Elisabeth Mann Borgese“, ein Schleppfahrzeug und ein Arbeitsboot eingesetzt. Unterstützt wurden die Versuche durch die Kleinflugzeuge Dromedar M-18 zu Binderausbringung und Cessna 172 zur Fernerkundung. An zwei Terminen im Jahr 2013 und einem Termin im Jahr 2014 wurden luftgestützt größere Mengen an Bindern ausgebracht, deren Drift verfolgt und anschließend seeseitig geborgen. Bei unterschiedlichen meteorologischen und hydrodynamischen Randbedingungen konnten wertvolle Ergebnisse zum Verhalten des Gesamtsystems gesammelt werden. Die Erprobung der Kommunikationswege und einsatztaktische Fragestellungen waren weitere wichtige Elemente der Ausfahrten (Siewert et al. 2014).

7.1.1 Lowcost Ölerkennung und Überwachung

Im Falle einer Havarie ist es für eine optimale Einsatzplanung unerlässlich, die räumliche Ausdehnung der Ölverschmutzung und deren Driftverhalten zu kennen. Dies geschieht über den Einsatz eines kostengünstigen Spektrometers. Ein Kleinflugzeug (z.B. Cessna 172) wird mit einer Linse im Rumpf ausgestattet, welche mit einem Spektrometer verbunden wird. Das Spektrometer misst das reflektierte Licht, analysiert die Energiedichte der verschiedenen Wellenlängen und errechnet so für jede Messung ein individuelles Spektrum. Öl auf der Wasseroberfläche verändert das Reflexionsverhalten des Seewassers erheblich und ermöglicht so die Identifikation von ölverschmutztem Wasser. Die Größe des Untersuchungsgebietes pro Messung hängt von der Flughöhe ab, umso höher das Flugzeug fliegt, umso größer kann das Untersuchungsgebiet sein (Dohmen und Möbius 2014).



Abb. 33: Georeferenziertes Luftbild überlagert mit analysierten Messwerten(AGRO-SAT)

Zu Beginn der Entwicklung wurde eine umfangreiche Datenbank mit verschiedenen Messungen im Labor erzeugt. Dafür wurde die Ölkonzentration in kleinen Schritten variiert. Um den Einfluss der Farbe des Messgefäßes zu minimieren, wurden auch hier unterschiedliche Varianten untersucht. Anschließend wurde eine Vielzahl von Messungen im Wellenbecken der Professur Geotechnik und Küstenwasserbau und im Freiland durchgeführt. Der Datenbankumfang beträgt aktuell 8000 Messwerte. Im Einsatzfall wird jede Messung noch im Flugzeug mit der Datenbank verglichen. Als Ergebnis wird eine Aussage darüber getroffen, ob eine Ölverschmutzung vorliegt oder nicht. Durch eine Georeferenzierung der Messungen kann eine Karte mit den Messergebnissen erstellt werden (Abb. 33). Diese Karte ist von gewöhnlichen GPS-Handgeräten lesbar und lässt sich über eine Website abrufen. Eine kontinuierliche Überwachung der Ölhavarie ist dadurch gewährleistet.

7.1.2 Biogene Ölbinder

Zur Aufnahme des Öls sind biogene Ölbinder entwickelt worden. Die Ölbinder bestehen aus Holzfasern und natürlichen Zusatzstoffen und haben nach etlichen Entwicklungsstufen letztlich eine Größe von 50 mm x 50 mm x 4 mm. Das Ölaufnahmevermögen liegt bei etwa 650 kg Öl / m³ Ölbinder. Die Schwimmfähigkeit der Ölbinder beträgt mindestens 20 Tage. Diesen Eckdaten liegen intensive Entwicklungsarbeiten im Labor und auf See zu Grunde (Unbehaun et al. 2014). Neben der stofflichen Zusammensetzung spielt auch die Größe und Form für die Ausbringung und Bergung der Ölbinder eine wichtige Rolle. Untersuchungen zum Sorptionsverhalten der gewählten Ölbinder haben gezeigt, dass die hydrodynamischen Belastungen auf See nicht zu einer Auswaschung des aufgenommenen Öls führen. Eine Prüfung ergab, dass alle umwelttechnischen Anforderungen erfüllt werden (Dunemann 2014). Die offizielle Zertifizierung und Zulassung als geprüftes Ölbinder in Deutschland wurde 2014 erreicht (Dekra Industrial GmbH 2018). Abb. 34 zeigt verschiedene Entwicklungsstufen des Binders.



Abb. 34: Verschiedene Bindertypen (von links) aus Seegrass und Hanf, Holzfaser sowie Holzfaser mit verschiedenen Zusatzstoffen
(Foto: TU Dresden - Professur für Holztechnik und Faserwerkstofftechnik)

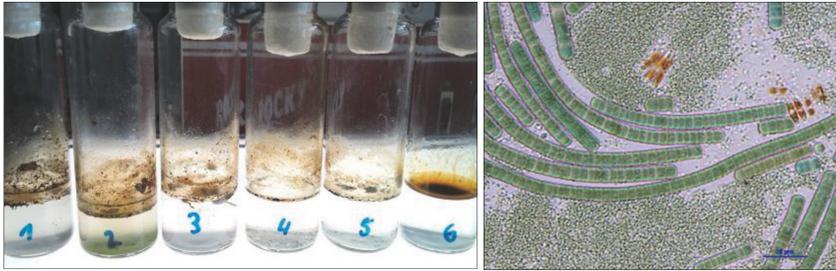


Abb. 35: Ölabbau durch Mikroorganismen nach drei Tagen im Laborversuch (links), Mikroorganismen aus einer Anreicherungskultur unter dem Mikroskop 20-fach vergrößert (rechts) (Fotos: Universität - Leipzig Institut für Biologie).

7.1.3 Ölabbauende Mikroorganismen

Auf den Ölbindern werden zusätzlich ölabbauende Mikroorganismen immobilisiert (Bioaugmentation), welche aus der Ostsee isoliert wurden. Aus unterschiedlichen Wasserproben aus der Ostsee (Kiel, Lübeck, Rostock, Sassnitz und St. Petersburg) wurden verschiedene Mikroorganismen isoliert (Bakterien, Algen und Cyanobakterien) und anschließend auf verschiedenen Ölsorten kultiviert. Dadurch konnte die Resistenz der Mikroorganismen gegenüber den giftigen Ölbestandteilen ermittelt sowie deren Aufnahme bzw. Abbau verschiedener Ölbestandteile bestimmt werden (Safonova und König 2014). Im Ergebnis wurden die leistungsfähigsten Isolate zu einem Konsortium zusammengefügt, vermehrt und anschließend gefriergetrocknet. Die Konsortien können im Einsatzfall verflüssigt und auf die Binder aufgebracht werden, wodurch die natürliche Bioremediation beschleunigt wird. Verschiedene Laboranalysen (Fluorimetrie, gaschromatographische Analysen, Zählung von Zellzahlen) belegen die Wirksamkeit der Konsortien beim Abbau verschiedener Ölkomponenten (Abb. 35). Eine generelle Aussage über den Abbau aller Ölbestandteile kann aufgrund der vielfältigen Zusammensetzung von Rohöl nicht getroffen werden, der positive Effekt angereicherter Mikroorganismenkonsortien ist aber nachgewiesen.

7.1.4 Ölanalyse und ökotoxikologische Bewertung

Zur Bestimmung des Ölabbaus und weiterer Analysen ist eine genaue Kenntnis der Zusammensetzung erforderlich. Aufgrund der physikalischen Eigenschaften von Öl (insbesondere der Viskosität) ist die analytische Verarbeitung sehr komplex. Die Messgeräte (z.B. Gaschromatographen) müssen entsprechend eingerichtet und kalibriert werden, nur so lassen sich belastbare Messergebnisse erzeugen. Nach umfangreichen methodischen Vorbereitungen war es möglich, verschiedene Alkane und polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), deren Konzentration und Abbauverhalten zu analysieren. Das im Vorhaben verwendeten Rohöl REB1 (Russian Export Blend 1) wurde im Gaschromatografen analysiert und für weitere Untersuchungen aufbereitet (Haehnel et al. 2014). Die Binder (inkl. Zuschlagsstoffe) und der mikrobielle Ölabbau (inkl. aller Abbauprodukte) wurden ökotoxikologisch bewertet, ein Gefährdungspotential konnte nicht festgestellt werden. Die Mikroorganismen des Konsortiums wurden taxonomisch bestimmt.

7.1.5 Luftgestützte Ausbringung von Ölbindern

Um eine möglichst kurze Transportzeit der Binder vom Lagerstandort zum Ort der Ölhavarie zu realisieren, werden die Binder per Flugzeug transportiert und luftgestützt ausgebracht. Zu diesem Zweck wurde im Forschungsvorhaben ein Kleinflugzeug vom Typ Dromedar M-18 an die Anforderungen der Binderausbringung angepasst und eine Vielzahl von Probeflügen und Abwürfen absolviert (Abb. 36).



Abb. 36: Binderabwurf aus dem Kleinflugzeug Dromedar M-18 auf der Ostsee (Flughöhe ca. 25 m), (Foto: Safonova)

Der Laderaum des Flugzeugs hat ein Volumen von $1,5 \text{ m}^3$ und kann über eine hydraulische Klappe entleert werden. Im Laufe der Forschungsarbeit wurden folgende Themenbereiche untersucht: Beladung, Flugtaktik, Datenkommunikation, Flughöhe, Abwurfverhalten der Binder, Streudichte, Applikation der Mikroorganismen sowie Transport und Logistik (Diezemann und Munk 2014). Der große Vorteil der Dromedar M-18 gegenüber anderen Flugzeugtypen ist vor allem der günstige Betrieb. Das relativ kleine Ladevolumen kann durch den kombinierten Einsatz mehrerer Maschinen kompensiert werden, die Übertragung des Systems auf größere Flugzeugtypen (z.B. Transall C-160) ist möglich und muss entsprechend der maßgeblichen Havariezenarien angepasst werden.

7.1.6 Seeseitige Bergung

Mit einer neu entwickelten Netzsperrre werden die Ölbinder seeseitig geborgen (Paschen und Semlow 2014). Das Bergemittel kombiniert Elemente gewöhnlicher Ölsperren mit Elementen von Fischereinetzen (Abb. 37).



Abb. 37: Auslegen der Netzsperrre während Freilanduntersuchungen auf der Ostsee (Foto: Universität Rostock – Lehrstuhl für Meerestechnik).

Die Netzsperrung wird von zwei Schiffen geschleppt und kann auch bei starkem Seegang ($H_s > 1$ m) eingesetzt werden. Die Ölbinder werden mit zwei Leitarmen konzentriert und in einem Steert (Netzsaack) am Ende der Sperrung gesammelt. Ist der Steert gefüllt, wird er auf See von den Seitenarmen gelöst und auf ein Transportschiff (z.B. seegängige Schute oder offene Container an Deck von Multifunktionsschiffen) verladen. Ein Auspressen von Öl durch die Belastungen beim Schleppen und Verladen findet nicht statt. Die üblichen Versagensfälle von Ölsperren (Unterströmen und Überspülen) konnten durch den Einsatz des Netzes und dessen hydrodynamischen Verhaltens deutlich minimiert werden. Daraus resultiert ein erheblich größeres Einsatzfenster im Vergleich zu herkömmlichen Sperrungen. Der Einsatz von Spezialschiffen (z.B. mit integrierten Ölauffangeinrichtungen) für die Ausbringung und Bergung ist nicht erforderlich, gewöhnliche Fischkutter bzw. Tonnenleger erfüllen alle Anforderungen. Intensive numerische Modellierungen und hydraulische Laborversuche haben zu einem geringen Schleppwiderstand bei optimalem Auftriebs- und Verdrängungsverhältnis geführt.

7.1.7 Landseitige Bergung

Für den Fall, dass eine seeseitige Bergung nicht möglich ist, da der Seegang zu stark oder die Wassertiefe zu gering ist, können die Ölbinder auch landseitig bergung werden. Die hydrodynamischen Belastungen der Brandungszone überstehen die Ölbinder nahezu schadlos. Durch die Kombination verfügbarer Vakuumtechnologien (industrielle Laub- bzw. Abfallsauger) mit einer fahrbaren Transporteinheit und einer kleinen Zugmaschine (Quad, Kleintraktoren o.ä.) wurde das Konzept für eine küstentaugliche Aufnahmeeinheit entwickelt, mit der größere Bindermengen aufgenommen werden können. Aufnahmeversuche an verschiedenen Küstentypen haben gezeigt, dass nur sehr geringe Mengen Sand, Algen oder Steine aufgesaugt werden. Die Aufnahmeeinheit kann ebenfalls auf Mehrzweckarbeitsbooten (z.B. FASTER 650 Cat) installiert werden. Dadurch können die Ölbinder auch an schwer zugänglichen Küsten wie Bodden- und Schilfküsten bergung werden.

7.1.8 Prozessmanagement BioBind

Das Gesamtsystem BioBind besteht aus den zuvor vorgestellten Einzelkomponenten, die nur in abgestimmter Kombination optimal genutzt werden können. Aus diesem Grund wurde vom Autor der vorliegenden Arbeit ein Prozessmanagement zur Zusammenführung und Integration entwickelt. Dieses System beinhaltet Ablaufdiagramme (Abb. 38) und Checklisten aller Einzelprozesse und des Gesamtsystems (Anhang 2). Der sachgerechte und vor allem schnelle Einsatz ist aber nur dann möglich, wenn die allgemeinen Prozessbeschreibungen an die tatsächlichen Randbedingungen am Stationierungs-ort angepasst werden. Es ist also erforderlich, ein standortspezifisches Prozessmanagement im Vorfeld des Einsatzes zu entwickeln.

7.1.9 Weiterführung BioBind – SBOIL

Das Projekt BioBind wurde im Jahr 2014 abgeschlossen (Saathoff et al. 2019). Im Zuge der Projektarbeit wurden neben dem Havariekommando auch das Staatliche Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg und das Technische Hilfswerk als externe Gutachter einbezogen. Der regelmäßige Kontakt zu den Behörden offenbarte das Ausmaß an offenen Fragen in Bezug auf die praktische Implementierung des BioBind Konzeptes in die bestehenden Strukturen. Die Ausrichtung des Projektes BioBind lag aber vor allem auf technischen Fragestellungen. Aus diesem Grunde wurde im Anschluss ein weiteres Forschungs- und Kooperationsprojekt auf den Weg gebracht. Ziel des Projektes SBOIL (South Baltic Oil Spill Response) ist die Verbesserung des Vorsorgestatus zur Ölhavariebekämpfung im südlichen Ostseeraum (Laufzeit

2016 -2019). Dies geschieht über Bewusstseinsbildung auf unterschiedlichen administrativen Ebenen und in der Öffentlichkeit sowie der Beförderung der Bekanntheit des BioBind Konzeptes durch Schulungen (Siewert und Saathoff 2018).

Die Integration der zuständigen Behörden spielt dabei eine sehr wichtige Rolle. Dazu wurden regionale und nationale Behörden mehrerer Länder im südlichen Ostseeraum als assoziierte Projektpartner gewonnen (Abb. 39). Trotz unterschiedlicher Notfallpläne in den jeweiligen Ländern, ist die Festlegung von Unfall- und Einsatzszenarien eine Gemeinsamkeit aller beteiligten Behörden. Daher wurden definierte Einsatzszenarien im Projekt SBOIL entwickelt (siehe Abschnitt 7.2). Die vom Autor der vorliegenden Arbeit entwickelten Szenarien wurden auf verschiedenen nationalen Workshops diskutiert (Nilsson 2017; Gucoma 2018; Kuzmenko 2018). Trotz unterschiedlicher Gegebenheiten und Zuständigkeiten wurde versucht, internationale Standards bei der Entwicklung der Szenarien einzuhalten.

Neben theoretischen Plänen zur Unfallbekämpfung ist die praktische Handhabung der eingesetzten Geräte ebenso wichtig. Basierend auf den praktischen Erfahrungen aus dem BioBind Projekt wurden Geräte beschafft, Berater engagiert und Pläne für theoretische und praktische Übungen entwickelt (siehe Abschnitt 7.3). Auch hier spielt der Kontakt zu den jeweiligen Behörden bereits während der Entwicklungsphase der Übungen eine große Rolle.

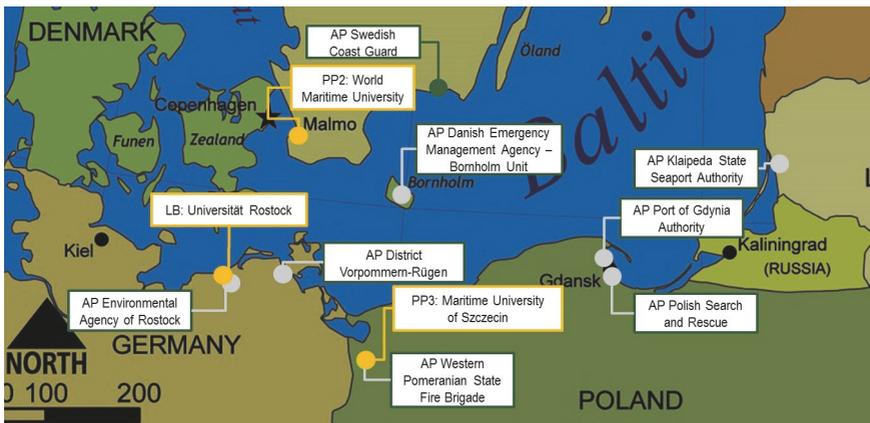


Abb. 39: Projektpartner (gelber Kasten) und assoziierte Partner (grüner Kasten) im Projekt SBOIL

7.2 Szenarien für den Einsatz von Bindemitteln

7.2.1 Mehrstufige Bekämpfung

In Kapitel 4 wurde auf den international anerkannten Ansatz der mehrstufigen Bekämpfung eingegangen. Dieser wurde allgemein für die Bekämpfung von Ölhavarien entwickelt und ist nicht auf eine spezielle Technologie fokussiert. In der aktualisierten Version aus dem Jahr 2015 werden die 15 wichtigsten Aktivitäten und Akteure während einer Bekämpfung in drei unterschiedlichen Stufen erläutert (IPIECA-IOGP 2015c):

- Beobachtung, Modellierung und Visualisierung,
- Dispergatoreinsatz auf der Wasseroberfläche,

- Dispergatoreinsatz unter Wasser,
- In-situ Verbrennung,
- Eingrenzen und Aufnahme auf See,
- Schutz sensibler Gebiete,
- Bewertung potentieller Küstenverschmutzung,
- Reinigung verschmutzter Küstenabschnitte,
- Binnengewässer,
- verschmutzte Tiere,
- Abfallmanagement,
- Einbindung von Beteiligten und Kommunikation mit der Öffentlichkeit,
- wirtschaftliche Bewertung und Kompensation,
- Bewertung von Umweltfolgen und
- Kontrolle der Ölaustrittsquelle.

Manche Gebiete sind unabhängig von der angewendeten Bekämpfungsmethode von übergeordneter Bedeutung und stark situationsabhängig (z.B. wirtschaftliche Bewertung und Kompensation, Bewertung der Umweltfolgen oder Kontrolle der Ölaustrittsquelle). Folgend stehen nur die technischen Aspekte der Bekämpfung mit der Methode BioBind im Vordergrund. Dafür werden die Einbindung von Beteiligten, Beobachtung, Eingrenzen und Aufnahme auf See, Reinigung verschmutzter Küstenabschnitte und Abfallmanagement für drei unterschiedliche Szenarien genauer betrachtet.

7.2.2 Szenario lokale Verschmutzung (Stufe 1)

Beim Bunkern von Schweröl ist es zu einem Ölaustritt in einem Hafen gekommen. Die ausgetretene Menge ist kleiner als 1 m³ und befindet sich in einem Gebiet, welches nicht nennenswert durch Strömung beeinflusst ist. Das BioBind Bekämpfungsmaterial ist vor Ort stationiert und kann sofort eingesetzt werden (Tab. 8).

7.2.3 Szenario lokale bis regionale Verschmutzung (Stufe 2)

Zwei Schiffe auf See sind kollidiert. Es ist zu einem Austritt von etwa 5 m³ Rohöl gekommen. Es wird angenommen, dass eine Havariebekämpfung auf See möglich ist. Gleichzeitig wird aber auch mit einem Anlanden von Ölbindern an der Küste gerechnet. Das BioBind Material (Binder, Netzsperre und landseitige Bergereinheit) ist zentral in Küstennähe stationiert. Für Ausbringung und Bergung sind zusätzliche Fahrzeuge erforderlich (Hubschrauber, Flugzeug, Schleppschiff, Schute) (Tab. 9).

7.2.4 Szenario Ölverschmutzung von nationaler oder internationaler Bedeutung (Stufe 3)

Zwei Schiffe auf See sind kollidiert. Es ist zu einem Austritt von etwa 5.000 m³ Rohöl gekommen. Es wird angenommen, dass eine Havariebekämpfung auf See möglich ist. Gleichzeitig wird aber auch mit einem Anlanden von Ölbindern an der Küste gerechnet. Aufgrund der Größe der Havarie gibt es ein Hilfesuch für Internationale Unterstützung (engl. IOA). In diesem Rahmen wird entschieden, BioBind als eines von mehreren Werkzeugen einzusetzen. Das BioBind Material (Binder, Netzsperre und landseitige Bergereinheit) wird in die Nähe des Einsatzortes transportiert. In Abhängigkeit von der Entfernung geschieht das per LKW oder Transportflugzeug. Für Ausbringung und Bergung sind zusätzliche Fahrzeuge erforderlich (Hubschrauber, Flugzeug, Schleppschiff, Schute) (Tab. 10).

Tabelle 8: Gebiete und Aktivitäten für Ölhavariebekämpfung mit BioBind auf Stufe 1

Gebiet	Aktivität
Einbindung von Beteiligten	Mitarbeiter vor Ort sind für die Bekämpfung verantwortlich. Das beinhaltet Mitarbeiter der Firma, die für den Ölaustritt verantwortlich ist, sowie Mitarbeiter des Hafensbetreibers.
Beobachtung	Die Ausdehnung der Verschmutzung ist räumlich begrenzt. Sie wird durch das Personal vor Ort beobachtet. Eine zusätzliche Modellierung der Verdriftung ist nicht erforderlich.
Eingrenzen und Aufnahme auf See	Wenn möglich, ist das verschmutzte Hafenbecken durch Sperren abzutrennen, um eine Ausbreitung des Öls zu verhindern. Das Bindemittel ist in Bigbags gelagert und kann mit einem Hubwagen oder Gabelstapler zum Einsatzort transportiert werden. Dort wird das Bindemittel per Hand auf die Wasseroberfläche ausgebracht bzw. die Big Bags werden an der Kaikante ausgekippt. Zur Aufnahme der Bindemittel können gewöhnliche Handnetze verwendet werden. Die Aufnahme kann aber auch mit der landseitigen Bergereinheit durchgeführt werden. Diese kann sowohl an Land als auch vom Wasser betrieben werden.
Reinigung verschmutzter Küstenabschnitte	Die verschmutzte Kaimauer muss nach der Entfernung des schwimmenden Öls gereinigt werden. Das abgewaschene Öl kann ebenfalls durch Bindemittel aufgenommen werden.
Abfallmanagement	Der Einsatz von Bindemitteln führt zu einer Zunahme der Abfallmenge. Die BioBinder quellen während des Einsatzes nicht auf. Das Abfallvolumen entspricht dem ausgebrachten Volumen an Bindemitteln. Zur Lagerung der verölten Binder sind flüssigkeitsdichte Behälter erforderlich. Dazu können u.a. spezielle BigBags, Falltanks und Container genutzt werden. Die geborgenen Binder werden anschließend thermisch verwertet (verbrannt). Es ist empfehlenswert, Vereinbarungen mit potentiellen Entsorgungsbetrieben zu schließen, um im Falle einer Havarie eine schnelle Entsorgung zu gewährleisten.

7.2.5 Einsatzbeispiel Ostsee

Das nachfolgende Beispiel beschreibt eine Havarie in der Ostsee und einen möglichen Notfallplan der Stufe 2. Dieser enthält die Stationierungsorte der Bekämpfungskomponenten, logistische Handlungsanweisungen sowie involvierten Behörden und eine chronologische Übersicht der Bekämpfung (Tabelle 11). Sowohl der Unfall als auch die Bekämpfung sind rein hypothetisch. Ein Beispiel für die Stufe 1 ist nur von geringem Anschauungswert, da die Kernpunkte des Szenarios (Wer, Was, Wo, Wieviel?) so unterschiedlich sein können, dass eine Übertragung auf andere Szenarien nicht möglich ist. Ein Beispiel für die Stufe 3 ist nur schwer aufzustellen, da im Falle von grenzüberschreitenden Bekämpfungen zwischenstaatliche Abkommen eine Rolle spielen. Diese Abkommen beinhalten oft Einzelfallentscheidungen, welche für die Entwicklung eines Beispiels nur schwer anzunehmen sind. Unter Einbeziehung aller gültigen Randbedingungen ist es aber möglich, konkrete Szenarien für die Stufe 1 und Stufe 3 zu entwickeln.

Das Staatliche Amt für Landwirtschaft und Umwelt Vorpommern (StALU VP) ist für den Schutz der Küste vom Fischland bis zur polnischen Grenze verantwortlich. Es betreibt u.a. das Ölfangschiff „Strelasund“ und Landungsboote für den Einsatz in flachen Küstengewässern. Die „Strelasund“ ist in Stralsund stationiert.

Tabelle 9: Gebiete und Aktivitäten für Ölhavariebekämpfung mit BioBind auf Stufe 2

Gebiet	Aktivität
Einbindung von Beteiligten	Geschultes Personal regionaler und nationaler Behörden ist erforderlich. Operationen in der Luft und auf dem Wasser werden in Deutschland von nationalen Behörden durchgeführt. Tätigkeiten an Land werden von regionalen Behörden durchgeführt. Zusätzliches Personal vom Katastrophenschutz oder privaten Firmen ist in Abhängigkeit des Unfalls hinzuzuziehen.
Beobachtung	Eine luftgestützte Beobachtung der Öl- und Binderdrift ist sehr wichtig. Diese kann durch Flugzeuge und Drohnen durchgeführt werden. Lokale Strömungen können mit dem Wind verknüpft sein. Dies ist aber nicht zwangsläufig der Fall. Wenn vorhanden, können Modelle zur Vorhersage der Drift eingesetzt werden. Die Genauigkeit der Modellierung ist durch Beobachtungen abzusichern. Zum effektiven Einsatz der Binder ist ein zielgenaues Ausbringen von großer Wichtigkeit. Der Abwurfort muss vom Einsatzstab festgelegt werden.
Eingrenzen und Aufnahme auf See	Größere Bindermengen können luftgestützt ausgebracht werden. In diesem Szenario wird ein Transporthubschrauber eingesetzt, welcher für den Einsatz gechartert wird oder im Besitz der nationalen Behörden ist. Die Binder werden in einen standardisierten externen Abwurfbehälter verladen. Dieser wird dann vom Hubschrauber abgeholt und zum Einsatzort geflogen. Dort wird der Abwurfbehälter per Knopfdruck geöffnet und die Binder abgeworfen. Die Binder und der Abwurfcontainer sind in der Nähe von Hochrisikogebieten stationiert. Der Hubschrauber ist unabhängig vom Binderstandort stationiert. Wenn die Binder ausgebracht sind, ist eine schnelle Bergung empfehlenswert, um eine großflächige Verbreitung der Binder zu vermeiden. Die seeseitige Bergung mit der Netzsperrung ist dem Einsatz gewöhnlicher Ölsperren sehr ähnlich. Die Netzsperrung ist in einem 20 ft Seecontainer gestaut. Ein Schiff ist erforderlich für den Transport des Containers zum Havarieort und zur Vorbereitung der Sperrung. Ein zweites Schiff ist erforderlich, um einen Seitenarm der Netzsperrung zu übernehmen und ein gemeinsames Schleppen in U-Formation durchzuführen. Der Steert am Ende der Netzsperrung sollte so gewählt sein, dass die ausgebrachten Binder komplett aufgenommen werden können. Eine Schute mit Kran ist erforderlich, um den gefüllten Steert aus dem Wasser zu heben und an Land zu transportieren. Kleinere Bindermengen können mit der Vakuumeinheit von einem kleinen Arbeitsboot aufgenommen werden.
Reinigung verschmutzter Küstenabschnitte	Die Binder werden mit der Vakuumeinheit von der Küste entfernt. In Abhängigkeit der angelandeten Bindermengen müssen entsprechende Lagerkapazitäten vorgesehen werden (Bigbags oder Falttanks).
Abfallmanagement	Der Einsatz von Bindemitteln führt zu einer Zunahme der Abfallmenge. Die BioBinder quellen während des Einsatzes nicht auf. Das Abfallvolumen entspricht dem ausgebrachten Volumen an Bindemitteln. Zur Lagerung der verölteten Binder sind flüssigkeitsdichte Behälter erforderlich. Dazu können u.a. spezielle Bigbags, Falttanks und Container genutzt werden. Die geborgenen Binder werden anschließend thermisch verwertet (verbrannt). Es ist empfehlenswert, Vereinbarungen mit potentiellen Entsorgungsbetrieben zu schließen, um im Falle einer Havarie eine schnelle Entsorgung zu gewährleisten.

Tabelle 10: Gebiete und Aktivitäten für Ölhavariebekämpfung mit BioBind auf Stufe 3

Gebiet	Aktivität
Einbindung von Beteiligten	Geschultes Personal wird von Behörden oder speziellen Firmen zur Ölhavariebekämpfung bereitgestellt. Der grenzüberschreitende Materialtransport kann unter Umständen durch die Zollabfertigung verlangsamt werden. Bi- und multilaterale Abkommen sollten dieser Tatsache Rechnung tragen. Speziell versiegelte Transportgebinde können die Zollabfertigung ebenfalls vereinfachen.
Beobachtung	Eine luftgestützte Beobachtung der Öl- und Binderdrift ist sehr wichtig. Diese kann durch Flugzeuge und Drohnen durchgeführt werden. Lokale Strömungen können mit dem Wind verknüpft sein. Dies ist aber nicht zwangsläufig der Fall. Wenn vorhanden, können Modelle zur Vorhersage der Drift eingesetzt werden. Die Genauigkeit der Modellierung ist durch Beobachtungen abzusichern. Zum effektiven Einsatz der Binder ist ein zielgenaues Ausbringen von großer Wichtigkeit. Der Abwurfort muss vom Havariestab festgelegt werden.
Eingrenzen und Aufnahme auf See	Größere Bindermengen können luftgestützt ausgebracht werden. In diesem Szenario wird ein Transportflugzeug eingesetzt, welches für den Einsatz gechartert wird oder im Besitz der nationalen Behörden ist. Die Binder werden ins Heck der Maschine geschoben. Die meisten Flugzeuge dieser Art verfügen über Rollen im Boden, was ein einfaches Verladen der gestapelten Binder ermöglicht. Weiterhin muss das Flugzeug in der Lage sein, sein Heck im Flugbetrieb zu öffnen, um die Binder abzuwerfen. In Abhängigkeit vom Flugzeugtyp können bis zu 200 m ³ Binder mit einem Flug ausgebracht werden. Wenn die Binder ausgebracht sind, ist eine schnelle Bergung empfehlenswert, um eine großflächige Verbreitung der Binder zu vermeiden. Die seeseitige Bergung mit der Netzsperrung ist dem Einsatz gewöhnlicher Ölsperren sehr ähnlich. Die Netzsperrung ist in einem 20 ft Seecontainer gestaut. Ein Schiff ist erforderlich für den Transport des Containers zum Havarieort und zur Vorbereitung der Sperrung. Ein zweites Schiff ist erforderlich, um einen Seitenarm der Netzsperrung zu übernehmen und ein gemeinsames Schleppen in U-Formation durchzuführen. Der Steert am Ende der Netzsperrung ist auswechselbar. Er sollte so gewählt werden, dass ausreichend Hebekapazitäten vorhanden sind, den gefüllten Steert aus dem Wasser zu heben. Ein Steert mit 50 m ³ ölgesättigten Bindern wiegt etwa 50 t. Eine Schute mit Kran ist erforderlich, um den gefüllten Steert aus dem Wasser zu heben und an Land zu transportieren. In Abhängigkeit der gewählten Steertgröße müssen mehrere Fahrten zur Binderaufnahme durchgeführt werden.
Reinigung verschmutzter Küstenabschnitte	Die Binder werden mit der Vakuumeinheit von der Küste entfernt. In Abhängigkeit der angelandeten Bindermengen müssen entsprechende Lagerkapazitäten vorgesehen werden (Bigbags oder Falttanks).
Abfallmanagement	Der Einsatz von Bindemitteln führt zu einer Zunahme der Abfallmenge. Das Abfallvolumen entspricht dem ausgebrachten Volumen an Bindemitteln. Zur Lagerung der verölten Binder sind flüssigkeitsdichte Behälter erforderlich. Dazu können u.a. spezielle Bigbags, Falttanks und Container genutzt werden. Die geborgenen Binder werden anschließend thermisch verwertet (verbrannt). Vereinbarungen mit potentiellen Entsorgungsbetrieben sind empfehlenswert, um eine schnelle Entsorgung zu gewährleisten.

Dort betreibt das StALU VP auch einen Ölwehrstützpunkt, an dem eine Vielzahl unterschiedlicher Geräte gelagert ist. *„Der Stützpunkt liegt zentral in dem Küstenabschnitt vom Darß bis zur polnischen Grenze und schließt die komplizierte Aufgabe der Ölunfallbekämpfung an den zum Teil schwierigen und unzugänglichen Küstenabschnitten der Insel Rügen ein“* (StALU VP 2018). Aufgrund der komplizierten Küstenmorphologie und der daraus resultierenden schwierigen Erreichbarkeit mit großen Schiffen hat das StALU VP entschieden, die luftgestützte Ausbringung biogener Ölbinder und eine kombinierte see- und landseitige Bergung der Bindemittel als eine Bekämpfungsmethode vorzuhalten. Die einzelnen Komponenten der BioBind Technologie sind ebenfalls im Ölwehrstützpunkt Stralsund stationiert. Das Havariekommando als nationale Behörde zur Ölhavariebekämpfung hat 2014 entschieden, BioBind nicht im Falle einer komplexen Schadenslage einzusetzen. Das Land Mecklenburg-Vorpommern macht an dieser Stelle von seinem Recht Gebrauch, Investitionsmaßnahmen im Einzelfall gesondert durchzuführen (Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2002a). Die wirtschaftliche Bedeutung des Küstentourismus und die eingeschränkte Einsetzbarkeit klassischer mechanischer Ölbekämpfungsmethoden rechtfertigen die Mehrkosten für Vorhalt und Einsatz der Methode BioBind.

Im Windpark Baltic 1 (54° 36' 50" N, 12° 40' 0" O) ist ein Offshore Support Vessel durch Maschinenschaden manövrierbehindert und kollidiert um 12:00 Ortszeit mit einer Windkraftanlage. Dabei schlägt ein Treibstofftank leck und es kommt zum Austritt von 5 t Schweröl. Der Windpark befindet sich 16 km nördlich der Halbinsel Fischland-Darß-Zingst. Große Teile der Halbinsel sind als Nationalpark ausgewiesen und ökologisch sensibel. Zum Zeitpunkt der Havarie herrscht Wind aus Richtung NNO (30°) der Stärke 5 Bft. Bei gleichbleibender Wetterlage driftet das Öl Richtung Südsüdwest mit einer mittleren Driftgeschwindigkeit von 0,8 km/h (Makin et al. 1994); (Wendehorst et al. 2009). Nach etwa zehn Stunden Drift passiert das Öl die 10 m - Tiefenlinie. Nach weiteren zehn Stunden ist mit einem Anlanden von Öl in der Kernzone des Nationalparks zu rechnen (Abb. 40). Das StALU VP entscheidet als Sofortmaßnahme, 10 m³ Ölbinder auszubringen. Dies geschieht vor dem Hintergrund, dass im betroffenen Küstengebiet geringe Wassertiefen herrschen und die verfügbaren Bekämpfungsschiffe dadurch ein räumlich stark begrenztes Einsatzgebiet haben. Das Zeitfenster für einen Einsatz bei ausreichender Wassertiefe ist dementsprechend klein. Es ist davon auszugehen, dass der Einsatz von klassischen Ölsperren nicht ausreichen wird, um ein Anlanden von ungebundenem Öl zu verhindern.

Seit 2017 steht dem Havariekommando ein Hubschrauber vom Typ Superpuma zur maritimen Notfallvorsorge in ständiger Rufbereitschaft zur Verfügung (Havariekommando 2017a). Die Hubschrauber sind bei der Bundespolizei in der Fliegerstaffel Fuhlendorf in Schleswig-Holstein stationiert. Dieser Hubschrauber kann Personen, aber auch Lasten transportieren. Er verfügt über eine standardisierte Aufnahme für Außenlastbehälter und ist somit für den Abwurf von Bindemitteln geeignet. Die maximale Zuladung beträgt etwa 6 t. Die maximale Reisegeschwindigkeit liegt bei 280 km/h, muss aber bei Einsatz eines Außenlastbehälters reduziert werden. Die Ölbinder sind auf dem Ölwehrstützpunkt in Stralsund bereits im Abwurfcontainer gelagert. Das bedeutet, sie sind in sehr kurzer Zeit einsatzbereit.

Der Abwurfbehälter fasst 10 m³ geschüttete Ölbinder. Die Schüttdichte der Binder liegt bei 120 kg/m³. Das Gesamtgewicht des gefüllten Abwurfbehälters liegt bei 1,2 t. Der Hubschrauber zur Ausbringung der Bindemittel wird über ein Amtshilfe-Gesuch des Landes Mecklenburg-Vorpommerns an das Havariekommando angefordert. In diesem Fall kann der Bund, vertreten durch das Havariekommando, dem Land MV die Kosten für den Einsatz in Rechnung stellen (Bundesministerium des Inneren 2003).

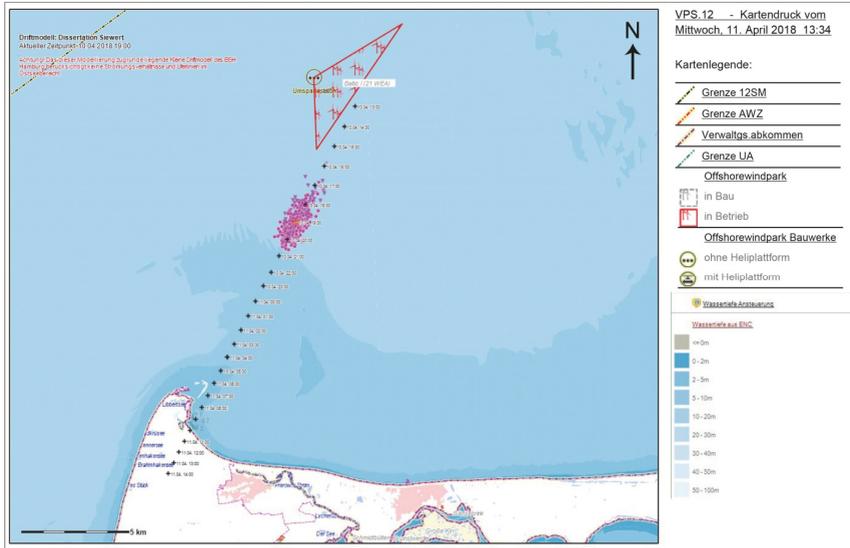


Abb. 40: Die Driftmodellierung zeigt den potentiellen Driftweg (blaue Kreuze) und aktuelle Position des Öls (rosa Punkte). Zeitpunkt der Aufnahme 19:00 Uhr (7 Stunden nach Ölaustritt) (GICON 2012).

Der Hubschrauber hat eine Flugzeit von Fuhlendorf nach Stralsund von etwa einer Stunde. In dieser Zeit werden die Binder vom Lager in den Außenbereich transportiert. Die Flugzeit von Stralsund zum Abwurfort beträgt etwa 15 Minuten. Insgesamt vergehen von der Alarmierung des Hubschraubers bis zum Abwurf etwa 90 Minuten. Dadurch kann sich das ausgetretene Öl auf der Wasseroberfläche noch nicht großflächig ausbreiten und die Binder können konzentriert ausgebracht werden.

Für eine erfolgreiche Anwendung der Ölbinder ist es wichtig, diese möglichst genau über dem Öl abzuwerfen. Dafür ist es erforderlich, die Lage der Ölerschmutzung zum Zeitpunkt des Abwurfs zu kennen. Diese Informationen können aus unterschiedlichen Quellen stammen. Im Idealfall aus der Luft, von einem Ölüberwachungsflugzeug des Havariekommandos (Dornier 228) oder vom Wasser von einem vor Ort befindlichen Schiff. Für den Fall, dass das Überwachungsflugzeug nicht innerhalb von 90 Minuten die Unfallstelle überfliegen kann, wird die aktuelle Position und Ausdehnung der Ölerschmutzung aus dem Abwurfhubschrauber bestimmt. Währenddessen wird die Netzsperrung in einem 20 ft Container auf das ebenfalls in Stralsund stationierte Mehrzweckschiff (MZS) „Arkona“ verladen. Für die Lagerung der geborgenen Binder an Bord wird zusätzlich ein 10 m³ Abfallcontainer an Bord gebracht. Dieser ist flüssigkeitsdicht, sodass kein Öl austreten kann. Vom Eingang der Schadensmeldung bis zum Auslaufen der beladenen „MZS Arkona“ vergehen etwa zwei Stunden. Die Nutzung des Schiffes „MZS Arkona“ und die Überwachungsflüge der DO228 werden ebenfalls auf der Grundlage eines Amtshilfesuchts vom Land MV an den Bund durchgeführt. Die Schiffe *Arkona* und *Strelasund* verlassen den Heimathafen Stralsund und nehmen Kurs auf die Unglücksstelle. Bei einer Marschgeschwindigkeit von 10 Knoten erreichen beide Schiffe das Unglücksgebiet nach drei Stunden. Das Auslegen der Netzsperrung von Bord der *Arkona* und die Übergabe der zweiten Schleppleine an die *Strelasund* dauert eine Stunde. Die anschließende Binderbergung basiert auf Informationen über die aktuelle Position, Ausbreitung und Driftrichtung der

Binder. Durch Wind und Wellen aus Richtung NNO wurden der Öl- und Binderteppich in die Länge gezogen. Die Bergung wird in einer U-Formation gegen den Wind und die vorrangige Driftrichtung durchgeführt. Nach zwei Stunden sind fast alle Binder geborgen. Dann werden beide Seitenarme des Netzes wieder an Bord der *Arkona* geholt. Anschließend wird der mit Bindern gefüllte Netzsack vom Bordkran der *Arkona* aus dem Wasser gehoben und im bereitstehenden Abfallcontainer an Deck abgelegt. Aufgrund einsetzender Dunkelheit wird die Havariebekämpfung für diesen Tag beendet. Die Schiffe *Arkona* und *Strelasund* verlassen das Einsatzgebiet und steuern den Heimathafen Stralsund an. Dort angekommen werden die verölten Binder entladen und der thermischen Verwertung zugeführt. Die Seitenarme der Netzsperrung werden nach Beendigung des Gesamteinsatzes gereinigt und einsatzbereit im 20 ft. Container verstaubt. Bei gleichbleibenden Wetterverhältnissen ist mit einem Anlanden des verbliebenen Öls am Vormittag des Folgetages zu rechnen.

Bei wiederkehrendem Tageslicht wird am nächsten Morgen eine Befliegung der potentiellen Anlandungs-orte durchgeführt. Dabei wird festgestellt, dass ein Großteil der Binder aus dem Wasser entfernt wurde, es aber immer noch freies Öl auf der Wasseroberfläche gibt, welches innerhalb der nächsten zwei Stunden die Küste erreichen wird. Das STALU VP entscheidet eine weitere Charge Binder auszubringen. Der Hubschrauber zum Binderabwurf ist über Nacht in Stralsund geblieben und somit am nächsten Morgen sofort einsatzbereit. Die Binder werden über dem verbliebenen Öl ausgebracht. Zum Zeitpunkt der zweiten Binderausbringung befindet sich das Öl bereits landseitig der 5 - m Tiefenlinie. Eine seeseitige Bergung der Binder ist daher nicht mehr möglich. Die landseitige Bergung wird mit der dafür entwickelten Bergeeinheit durchgeführt. Mit der zweiten Binderausbringung wird versucht, möglichst viel von dem verbliebenen Öl durch die Binder aufzunehmen. Die Reinigung des Strandes von verölten Bindern ist erheblich einfacher als die Reinigung von freiem Öl. Dies gilt für den Strand und vor allem für schwer zugängliche Gebiete wie Schilf und Röhricht. Nachdem alle Binder vom Strand geborgen worden sind, findet eine abschließende Befliegung des Seegebietes und der Küste statt. Die landseitig geborgenen Binder werden ebenfalls thermisch entsorgt. Das manövrierbehinderte Schiff wurde zwischenzeitlich durch einen Notschlepper in den Hafen von Rostock geschleppt. Weitere Ölaustritte haben nicht stattgefunden. Eine auswertende Einsatzbesprechung und eine öffentliche Pressekonferenz schließen den Einsatz ab.

7.3 Praktische Umsetzung

Seit Beginn der Arbeiten zum Thema Ölhavariebekämpfung an der Professur Geotechnik und Küstenwasserbau im Jahr 2011 wurden unter Beteiligung des Autors der vorliegenden Arbeit eine Vielzahl von Gesprächen mit regionalen, nationalen und internationalen Behörden geführt. Dabei wurde deutlich, dass Fotos und Grafiken von Wissenschaftlern nicht ausreichen, um die Behörden tatsächlich von der Einsatztauglichkeit des Systems zu überzeugen. Aus diesem Grund wurde ein multi-perspektivisches Trainingskonzept für die Methode BioBind entwickelt. Seit 2017 wird dieses Konzept im Rahmen des Forschungs- und Kooperationsprojektes SBOIL gemeinsam mit unterschiedlichen Behörden in Deutschland und Europa entwickelt und durchgeführt. Das Konzept basiert auf drei unterschiedlichen Arten des Trainings bzw. Übens.

7.3.1 Stabsübung zum grenzüberschreitenden Geräteinsatz

Die räumliche Nähe von Deutschland, Niederlande, Dänemark, Schweden und Polen macht es zwingend erforderlich, die zwischenstaatliche Kooperation der Havariebekämpfung zu koordinieren. Entsprechende Abkommen gibt es auf bi- und multilateraler Ebene. Vor dem Hintergrund der entwickelten Technologie soll

7 Bindemittel als Ergänzung der mechanischen Ölhavariebekämpfung

Tabelle 11: Chronologischer Ablauf der Ölhavariebekämpfung zwischen dem Windpark Baltic 1 und dem Darßer Ort.

	Uhrzeit	Driftzeit [h]	Driftweg [km]	Aktivität	Ort
Tag 1	12:00	0:00	0,0	Ölaustritt 5 m ³	Windpark Baltic 1
	12:00	0:00	0,0	Eingang Meldung Ölaustritt	Wasserschutzpolizei
	13:00	1:00	0,8	Entscheidung zum Einsatz der BioBind Technologie und Aktivierung aller erforderlichen Komponenten	Umweltministerium Schwerin / StALU VP
	13:00	1:00	0,8	Alarmierung Hubschrauber Superpuma	Fliegerstaffel Fuhendorf
	13:00	1:00	0,8	Alarmierung und Beladung der MZS Arkona	Ölwehrstützpunkt Stralsund
	14:00	2:00	1,6	Ankunft Superpuma am Binderdepot	Ölwehrstützpunkt Stralsund
	14:15	2:15	1,8	Abflug Superpuma mit 10 m ³ Ölbinder im Abwurfcontainer	Ölwehrstützpunkt Stralsund
	14:30	2:30	2,0	Ankunft Superpuma im Zielgebiet & Feststellung der Ölausdehnung	Windpark Baltic 1
	14:45	2:45	2,2	Abwurf der Ölbinder über der Verschmutzung	Windpark Baltic 1
	15:00	3:00	2,4	Auslaufen der beladenen MZS Arkona und Strelasund	Ölwehrstützpunkt Stralsund
	18:00	6:00	4,8	Ankunft von MZS Arkona und Strelasund im Zielgebiet	südlich v. Windpark Baltic 1
	18:00	6:00	4,8	Auslegen Netzsperrung & Übergabe Schleppleine an Strelasund	südlich v. Windpark Baltic 1
	19:00	7:00	5,6	Beginn der Aufnahme von Ölbindern mit dem Schleppverband	südlich v. Windpark Baltic 1
	21:00	9:00	7,2	Ende der seeseitigen Bergung	südlich v. Windpark Baltic 1
	0:00	12:00	9,6	Ankunft von MZS Arkona und Stralsund im Heimathafen	Ölwehrstützpunkt Stralsund
Tag 2	6:00	18:00	14,4	Befliegung der Küste	Darßer Ort
	7:00	19:00	15,2	Abwurf der Ölbinder über der Verschmutzung	Darßer Ort
	8:00	20:00	16,0	Ankunft verölte Binder am Strand Darßer Ort	Darßer Ort
	8:00	20:00	16,0	Entladen von MSZ Arkona und Reinigung der Einsatzgeräte	Ölwehrstützpunkt Stralsund
	9:00	-	-	Beginn landseitige Bergung	Darßer Ort
	12:00	-	-	Ende landseitige Bergung	Darßer Ort
	12:00	-	-	Abschließende Befliegung des Seegebietes und der Küste	
	13:00	-	-	Entladung der landseitig geborgenen Binder	Ölwehrstützpunkt Stralsund
	14:00	-	-	Interne Auswertung des Einsatzes	Ölwehrstützpunkt Stralsund
	16:00	-	-	Pressekonferenz und Einsatzende	Ölwehrstützpunkt Stralsund

der Transfer von BioBind und weiterer Komponenten über die Landesgrenze hinweg erörtert werden. Dazu wurde die international renommierte Spezialfirma Oil Spill Response Ltd. engagiert (Oil Spill Response 2018). Ausgangspunkt der Übung ist ein hypothetisches Unfallszenario vor der deutsch-polnischen Küste. In dieser Stabsübung (engl. Table Top Exercise) werden im Herbst 2018 Vertreter regionaler und nationaler Behörden aus Deutschland und Polen die Fragen des grenzübergreifenden BioBind Einsatzes anhand eines konkreten Szenarios besprechen. Vertreter weiterer Nachbarländer werden ebenfalls eingeladen und können als Beobachter an der Übung teilnehmen. Anhand existierender Notfall- und Alarmierungspläne werden u.a. Fragen zu Kommunikation, Logistik und Zoll geklärt. Ziel der Übung ist die Entwicklung eines Einsatzplanes für den grenzübergreifenden Einsatz von BioBind unter Einbeziehung entscheidungsrelevanter Behörden und gültiger zwischenstaatlicher Abkommen. Die Entwicklung und Durchführung der Übung wird von der World Maritime University in Malmö / Schweden koordiniert.

7.3.2 Nautische Simulation zum strategischen Einsatz von Schiffskapazitäten

Ausgehend von den logistischen Randbedingungen des jeweiligen Einsatzgebietes ist eine optimale Einsatzstrategie zu entwickeln. Zu diesem Zweck müssen Informationen über die Position des Öls und die Verdriftung vorliegen. Anhand der vorliegenden Koordinaten kann die Abwurfposition für die Binder festgelegt und die anschließende Drift des Öls und der Binder simuliert werden. Im Fall von BioBind und vergleichbarer Technologie werden diese Simulationen von der Maritime University Szczecin mit dem Simulator PISCES II entwickelt und durchgeführt (TRANSAS 2015). Neben der Entwicklung von festen Szenarien für verschiedene Seegebiete werden auch Echtzeitsimulationen unter Einbeziehung aktueller Wetter- und Strömungsdaten durchgeführt. Im Driftmodell können Schleppschiffe und Netzsperr eingesetzt werden. Die Schiffsbesatzungen können die navigatorischen Aspekte der Schleppfahrt üben. Gleichzeitig hat die Einsatzleitung die Möglichkeit, den taktischen Einsatz der Netzsperr an die lokalen Randbedingungen anzupassen.

7.3.3 Praktische Übung zur Anwendung der Netzsperr

Die praktische Demonstration einer Methode bzw. einer Technologie ist das wichtigste Mittel, um potentielle Nutzer von der Anwendbarkeit zu überzeugen. Dafür wurden bisher eine Netzsperr und ein 20 ft. Seecontainer im Projekt SBOIL beschafft. Zusätzlich wurden Mittel für das Chartern von Schiffen und Luftfahrzeugen bereitgestellt. Die Beschaffung der landseitigen Bergereinheit und einer größeren Menge Binder steht kurz bevor. In Abstimmung mit unterschiedlichen Behörden wurden bereits Übungsszenarien für bestimmte Seegebiete erstellt. Bei der Entwicklung der Übungsszenarien wurde ein mehrstufiges Konzept verfolgt. Das berücksichtigt den Umstand, dass die potentiellen Nutzer die Technologie noch nie im Einsatz gesehen haben. Es musste also darauf geachtet werden, dass die Übung die Nutzer nicht überfordert. Tab. 12 gibt einen Überblick der bisher durchgeführten praktischen Übungen, die beteiligten Behörden, die eingesetzten Geräte und die in Planung befindlichen Übungen.

Beispielhaft wird das Szenario der Übung im Rostocker Stadthafen vom November 2017 beschrieben (Abb. 41). In Abstimmung mit dem Amt für Umweltschutz der Hansestadt Rostock wurde der Einsatzort für die Netzsperr festgelegt. In der Vergangenheit kam es immer wieder zu Ölaustritten im Stadthafen von Rostock. Mit auslaufendem Strom wird das Öl auf der Warnow nach Westen transportiert, bis diese nach Norden abknickt. Genau an dieser Knickstelle wurde das Netz positioniert. Eine Seite des Netzes war an Land befestigt. Die zweite Seite wurde vom Schleppschiff *CTV Theron* in Position gehalten (Abb. 42). Binder wurden nicht ausgebracht.

Tabelle 12: Übersicht der durchgeführten und geplanten praktischen Übungen mit unterschiedlichen BioBind Komponenten

Datum	Ort	Komponenten und Fahrzeuge	Beteiligte
September 2017	Rostock, Kaikante Unterwarnow	Netzsperr	Universität Rostock
November 2017	Rostock, Unterwarnow	Netzsperr, kleines Arbeitsboot und großer Schlepper	Universität Rostock, Amt für Umweltschutz Rostock, Berufsfeuerwehr Rostock, Offshore Service Firma
Januar 2018	Stettin, Betriebsgelände Industriehafen	Netzsperr und Staucontainer	Universität Rostock, Maritime Universität Stettin
April 2018	Stettin, Nebenkanal Industriehafen	Staucontainer mit Netzsperr, Schwimmponton und Schubschiff	Universität Rostock, Maritime Universität Stettin & Transportunternehmen für Binnenwasserstraßen
Juni 2018	Swinemünde, Stettiner Haff	Staucontainer mit Netzsperr, großes Multifunktionsschiff	Universität Rostock, Maritime Universität Stettin & Polnischer Such und Rettungsdienst
August 2018 (in Planung)	Danzig, 60 km auf der Ostsee	Staucontainer mit Netzsperr, großes Multifunktionsschiff, Hochseeschlepper, Binder	Universität Rostock, Maritime Universität Stettin, Polnischer Such und Rettungsdienst & LOTOS Petrobaltic
Herbst 2018 (in Planung)	Rostock, Ostsee küstennah	Landseitige Bergeeinheit, Hubschrauber, Binder	Universität Rostock, Amt für Umweltschutz Rostock, Berufsfeuerwehr Rostock, Hubschrauberfirma
Frühjahr 2019 (in Planung)	Ostsee	Staucontainer mit Netzsperr, großes Multifunktionsschiff, Hochseeschlepper, Landseitige Bergeeinheit, Hubschrauber, Binder	Nationale und internationale Behörden und maritime Dienstleister

7.4 Diskussion der Ergebnisse

Die Ölhavariebekämpfung mit der Methode BioBind wurde für unterschiedliche Szenarien analysiert und beispielhaft beschrieben. Die Vorteile dieser Methode wurden ausführlich dargelegt. Trotz der beschriebenen Einsatzmöglichkeiten sieht das Havariekommando einen Einsatz dieser Technologie nicht vor. Begründet wird diese Entscheidung mit dem „großen logistischem Aufwand [...] und dem Missverhältnis zu der Menge an Öl, die bekämpft werden kann“ (Havariekommando 2017b). Gestützt wird diese Einschätzung von der international anerkannten Veröffentlichung der International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF). Darin heißt es: „Bindemittel können im küstennahen Bereich bzw. an der Küste eine sinnvolle Rolle spielen. [...] Der Einsatz von Bindemitteln als primäres Bekämpfungswerkzeug bei einer großen Ölhavarie auf See wird aber nicht gutgeheißen“ (ITOPF 2012). Beide Argumentationen sind nachvollziehbar. Bei genauerer Betrachtung sind aber unterschiedliche Wertungen und Interpretationen möglich.

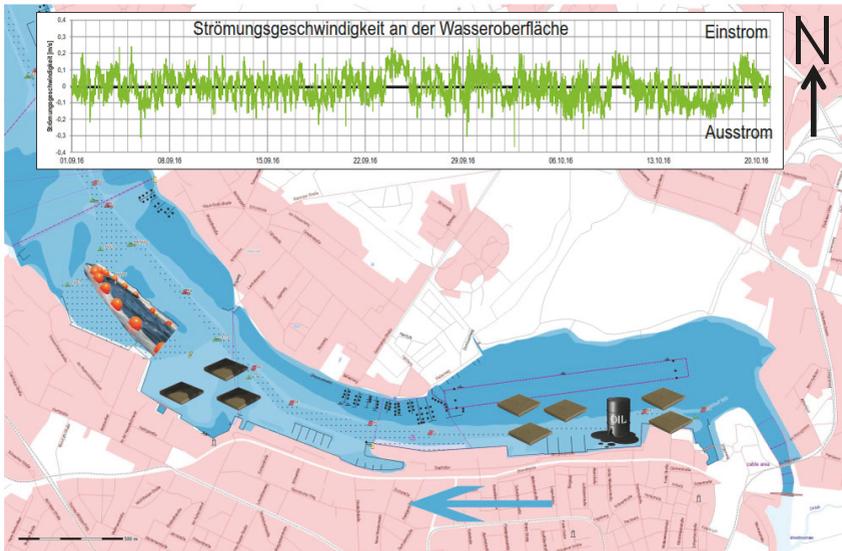


Abb. 41: Übungsszenario auf der Warnow in Rostock.



Abb. 42: Netzperre in der Warnow während einer Übung im November 2017 in Rostock (Foto Fokke Saathoff)

7.4.1 Logistik

Die luftgestützte Ausbringung von Bindemitteln erhöht den logistischen Aufwand der Havariebekämpfung zweifelsohne. Die Festlegung eines Bekämpfungsszenarios und Bereitstellung angepasster Luftfahrzeuge beeinflusst die Logistik aber maßgeblich. Es gibt unterschiedliche Luftfahrzeuge, die in der Lage sind Bindemittel abzuwerfen. Dazu gehören Kleinflugzeuge aus der Landwirtschaft (z.B. Dromedar M 18), Hubschrauber mit Außenlastbehältern (z.B. Superpuma) und große Transportflugzeuge (z.B. Transall C-160 oder Airbus 400M) (Jackson et al. 2004). Diese unterscheiden sich erheblich in Bezug auf Ladevolumen, Fluggeschwindigkeit und Kosten pro Flugstunde. Insbesondere das Ladevolumen ist für die Bekämpfungslogistik maßgeblich (Tab. 13).

Tabelle 13: Vergleich der Ladekapazitäten unterschiedlicher Luftfahrzeuge und der daraus abgeleiteten Flugzahlen für definierte Havarieszenarien (grün – vertretbar, gelb – fraglich, rot – nicht vertretbar)

Ausgetretene Ölmenge [t]	Erf. Binder- volumen [m³]	Anzahl Flüge			
		M 18 Dromedar	Hubschrauber Superpuma	Transall C-160	Airbus 400 M
1	2	2,4	0,4	0,01	0,01
5	8	12,0	1,9	0,07	0,03
10	17	24,0	3,8	0,13	0,06
50	83	120,2	19,2	0,7	0,3
100	167	240,4	38,5	1,3	0,6
500	833	1201,9	192,3	6,6	3,1

Zunächst muss die Frage geklärt werden, welche Menge Ölbinders (z.B. BioBind) erforderlich ist. Davon abgeleitet gibt es passende und unpassende Luftfahrzeuge. In Tab. 13 sind die Einsätze nach ihrer Praxistauglichkeit eingefärbt (grün - vertretbar, gelb - fraglich, rot – nicht vertretbar). Die Kosten pro Flugstunde hängen vor allem davon ab, ob es sich bei dem eingesetzten Luftfahrzeug um ein Fahrzeug mit Mehrfachnutzung handelt. Behördenschiffe werden häufig in Mehrfachnutzung betrieben, da es sich dabei um die wirtschaftlichste Betriebsform handelt. Technische Randbedingungen machen eine Mehrfachnutzung aber nicht immer möglich oder führen zu langen Umbauzeiten, welche im Falle der Havariebekämpfung zu erheblichen Verzögerungen führen.

Der internationale Vergleich zeigt, dass es Länder gibt, die Luftfahrzeuge ausschließlich für die Ölhavariebekämpfung umgebaut haben und vorhalten. Die USA, Großbritannien und die Europäische Behörde für maritime Sicherheit EMSA besitzen große Flugzeuge, die nur für die Applikation von Dispergatoren vorgesehen sind. Wenn Deutschland sich auf Grundlage einer entsprechenden Anpassung des Systemkonzeptes Schadstoffunfallbekämpfung dafür entscheiden würde, z.B. eine Transall C-160 für den Abwurf von Ölbindern umzurüsten, wäre das im internationalen Maßstab weder einzigartig noch technisch unmöglich.

Die Logistik auf See wird durch die luftgestützte Binderausbringung nicht wesentlich aufwendiger. Klassische Ölsperren werden häufig von zwei Schiffen geschleppt. Das gilt auch für das System BioBind. Der Einsatz eines Spreizflügels zur Reduzierung der Anzahl der Schleppschiffe ist für klassische Ölsperren ebenso möglich wie für das System BioBind. Die Mehrzweckschiffe des Bundes verfügen alle über starkes Hebezeug an Bord. Für die Entnahme des Netzsacks nach abgeschlossener Bergung ist demnach kein zusätzliches Schiff erforderlich. Die zur Verfügung stehende Technik zur luftgestützten Fernerkundung wird durch das System BioBind nicht beeinflusst. Eine Veränderung der dazugehörigen Logistik ist nicht erforderlich.

7.4.2 Bindemittel – Einsatz und Verwertung

In Kapitel 3 wurde bereits auf die Vor- und Nachteile beim Einsatz von Bindemitteln eingegangen. Die Vielfalt der angebotenen Bindemittel macht eine pauschale Aussage zur Einsetzbarkeit unmöglich. Die produktangepasste Handhabung ist für den erfolgreichen Einsatz von größter Bedeutung. Die Ausbringung von Bindemitteln sollte nur dann erfolgen, wenn auch deren Wiederaufnahme gewährleistet werden kann.

Viele Bindemittelhersteller haben für dieses Problem aber keine praxistaugliche Lösung. Beim System BioBind wurde von Beginn an auf die seeseitige Bergung großen Wert gelegt. Diese wurde in aufwendigen Feldversuchen auf See untersucht und immer weiter verbessert. Das entwickelte Konzept ermöglicht eine sichere und effektive seeseitige Bergung großer Bindermengen auch bei schwierigen Bedingungen. Die Binder verfügen über gute Ölaufnahmefähigkeiten und stellen im nicht verölten Zustand für das Ökosystem keine Gefahr dar. Ihre mechanische Festigkeit erlaubt lange Schleppfahrten ohne eine Zerstörung der Binder oder ein Auspressen von Öl.

Der Einsatz von Bindemitteln zur Bekämpfung von Ölverschmutzungen in Bereichen, die sonst nicht zugänglich sind, kann als Zugewinn betrachtet werden. Durch die verbesserte Reinigungsleistung lässt sich also auch das erhöhte Abfallaufkommen rechtfertigen. Die thermische Verwertung der Bindemittel ist in modernen Müllverbrennungsanlagen problemlos möglich. Der im Gesetz beschriebene Grundsatz der Abfallvermeidung kann damit zwar nicht eingehalten werden, eine Verwertung des Abfalls ist aber möglich.

7.4.3 Alternativlosigkeit

Die in Kapitel 6 und 7 beschriebenen Seegangsverhältnisse und die daraus abgeleiteten Beschränkungen bei der mechanischen Ölhavariebekämpfung sind bisher nicht Teil der Notfallpläne zur Ölhavarievorsorge in Deutschland. Eine Neubewertung der Pläne unter Berücksichtigung dieser Statistiken offenbart einen ungenügenden Vorsorgestatus. Um den Verpflichtungen aus internationalen Konventionen nachzukommen, müssen vorhandene Technologien verbessert oder neue Technologien in Betracht gezogen werden. Der luftgestützte Einsatz großer Bindermengen kann eine Lücke füllen. Jede Methode hat Vor- und Nachteile und keine der bekannten Methoden ist ohne Einschränkungen einsetzbar. Das gilt auch für das BioBind Konzept. Eine objektive Bewertung der Einsatzmöglichkeiten im Verhältnis zu den eingesetzten Ressourcen führt aber zu einem positiven Ergebnis und einer Verbesserung des Vorsorgestatus. Die mechanische Ölhavarievorsorge wird von wenigen internationalen Unternehmen dominiert. Keiner dieser Hersteller hat in den vergangenen 20 Jahren eine echte Neuerung auf den Markt gebracht. Veränderungen an Produkten finden eher im Detail statt, z.B. durch die Verwendung moderner Kommunikationselektronik oder leistungsstärkere Antriebe. Die physikalischen Prinzipien der Geräte sind aber seit mehreren Jahrzehnten unverändert. Das hat unter anderem dazu geführt, dass auf Seiten der Anwender (insbesondere Behörden) der Eindruck der Alternativlosigkeit entstanden ist. Die seegangsbedingten Einsatzgrenzen sind bekannt, werden aber aus Mangel an Alternativen ignoriert.

8 Zusammenfassung

Die in der Arbeit ausgewerteten Seegangsdaten zeigen räumlich und zeitlich ein sehr unterschiedliches Bild. In der Ostsee ist eine Zunahme der mittleren Wellenhöhen von West nach Ost zu verzeichnen. Dies ist auf eine Zunahme der Windwirklänge (Fetchlänge) von West nach Ost zurückzuführen. In der deutschen Bucht nimmt der Seegang mit dem Abstand zur Küste zu. Das ist durch die Landabschattung bezogen auf die Hauptwindrichtung und die Nähe zur Küste begründet. Jahreszeitlich schwanken die mittleren Wellenhöhen sehr stark, mit einem Minimum im Sommer und einem Maximum im Winter.

Die Seegangsdaten wurden für die Bewertung der Einsatzfähigkeit mechanischer Ölhavarietbekämpfungsgeschütze verwendet. Dafür wurden Einsatzgrenzwerte definiert und die dazugehörigen Eintrittshäufigkeiten ermittelt. Um die Schwankungen des Jahresverlaufes abbilden zu können, wurden die Berechnungen für jeden Kalendermonat, die vier Jahreszeiten und den Gesamtzeitraum durchgeführt. Die Verknüpfung der ausgewerteten Seegangsdaten mit den technischen Randbedingungen der mechanischen Ölhavarietbekämpfung zeigt, dass ein sinnvoller Einsatz der vorhandenen Geräte räumlich sehr unterschiedlich und nur in bestimmten Zeitfenstern möglich ist. Für die Ostsee gibt es im Sommer Gebiete, in denen eine mechanische Ölhavarietbekämpfung durchführbar ist. In der deutschen Bucht sind die mittleren Wellenhöhen auch im Sommer so hoch, dass eine mechanische Ölhavarietbekämpfung nur räumlich sehr begrenzt oder mit erheblichen Effektivitätsverlusten durchführbar ist.

Die deutschen Behörden haben die mechanische Ölhavarietbekämpfung als wichtigste Bekämpfungsmethode definiert. Müsste der Status der Ölhavarietvorsorge in Deutschland mit einer Schulnote bewertet werden, so wäre das Ergebnis „Note 5 - mangelhaft - Die Leistung entspricht nicht den Anforderungen, es ist aber zu erkennen, dass die notwendigen Grundkenntnisse vorhanden sind und die Mängel in absehbarer Zeit behoben werden können“ (Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur 2017).

Um diesen Status zu verändern, wurde im Kooperationsprojekt BioBind eine neue Methode zur Ölhavarietbekämpfung entwickelt. Kern dieser Methode ist die luftgestützte Ausbringung biogener Ölbinders und die anschließende seeseitige Bergung auch bei starkem Seegang. Die Vorteile dieser Methode sind die hohe Einsatzgeschwindigkeit, die seegangsunabhängige Einsetzbarkeit und die ökologische Verträglichkeit. Ziel der Entwicklungen war auch die mögliche Integration der Methode in existierende rechtliche und logistische Randbedingungen. Dafür wurden ein Prozessmanagement und ein abgestufter Logistikplan entwickelt. Im Projekt SBOIL wurde der Fokus auf die Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden gelegt. Darauf aufbauend wurden Notfallpläne für unterschiedliche Havarieszenarien entwickelt. Für die deutsche Ostseeküste wurde ein konkretes Beispiel entwickelt, welches die Einsetzbarkeit des Systems belegt. Gleichzeitig zeigt es aber auch, an welchen Stellen noch Kapazitäten geschaffen bzw. Zuständigkeiten geklärt werden müssen.

Die Erfahrungen und Rückmeldungen aus dem Projekt SBOIL zum praktischen Einsatz der Komponenten wurden für die weitere Optimierung des Systems herangezogen. Im Ergebnis liegt nun eine neue Methode zur Ölhavarietbekämpfung vor, die technisch, logistisch und administrativ eine Vielzahl an Iterationsschritten durchlaufen hat. Die negativen Stellungnahmen des deutschen Havarietkommandos zu der entwickelten Methode konnten durch eine sachliche Betrachtung und internationale Vergleiche entkräftet werden. Die in den Übungen kommunizierten positiven Rückmeldungen der Behörden aus Deutschland und den europäischen Nachbarländern geben Anlass zur Hoffnung, dass die entwickelte Methode eine sinnvolle Ergänzung der verfügbaren Werkzeuge zur Ölhavarietbekämpfung darstellt.

9 Literaturverzeichnis

Adams, Simon David (2015): DNV GL welcomes MSC Oscar, world's largest boxship, to fleet. Hg. v. DNV GL. Online verfügbar unter <https://www.dnvgl.com/news/dnv-gl-welcomes-msc-oscar-world-s-largest-boxship-to-fleet-12250>, zuletzt aktualisiert am 19.02.2015, zuletzt geprüft am 22.01.2016.

Allen, Alan A.; Ferek, Ronald J. (1993): ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF BURNING SPILLED OIL. In: *International Oil Spill Conference Proceedings* 1993 (1), S. 765–772. DOI: 10.7901/2169-3358-1993-1-765.

Allen, Alan A.; Jaeger, Drew; Mabile, Nere J.; Costanzo, Don (2011): The Use of Controlled Burning during the Gulf of Mexico Deepwater Horizon MC-252 Oil Spill Response. In: *International Oil Spill Conference Proceedings* 2011 (1), abs194. DOI: 10.7901/2169-3358-2011-1-194.

Almeda, Rodrigo; Hyatt, Cammie; Buskey, Edward J. (2014): Toxicity of dispersant Corexit 9500A and crude oil to marine microzooplankton. In: *Ecotoxicology and Environmental Safety* 106, S. 76–85. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2014.04.028.

American Shipper (2015): World of giants. Larger companies and bigger ships dominate container shipping. Unter Mitarbeit von Chris Dupin, zuletzt geprüft am 26.06.2018.

Arndt, Birger (2009): Das Vorsorgeprinzip im EU-Recht. Univ., Diss. Bayreuth, 2009. Tübingen: Mohr Siebeck (Recht der nachhaltigen Entwicklung, 3).

Atlas, Ronald M.; Hazen, Terry C. (2011): Oil biodegradation and bioremediation: a tale of the two worst spills in U.S. history. In: *Environmental Science & Technology* 45 (16), S. 6709–6715. DOI: 10.1021/es2013227.

Baltic Marine Environment Protection Commission (2018): BALEX DELTA. Hg. v. HELCOM Response. Online verfügbar unter <http://www.helcom.fi/action-areas/response-to-spills/helcom-balex-delta-and-other-exercises/>, zuletzt geprüft am 26.08.2018.

Baltic Press (Hg.) (2013): BALTIC OIL YEARBOOK 2012/2013. black gold's path across the BSR. *Baltic Transport Journal* 10 (5/2013 (55)). Danzig: Baltic Press.

BenKinney, Marie; Brown, John; Mudge, Stephen; Russell, Marcus; Nevin, Andy; Huber, Charles (2011): Monitoring Effects of Aerial Dispersant Application during the MC252 Deepwater Horizon Incident. In: *International Oil Spill Conference Proceedings* 2011 (1), abs368. DOI: 10.7901/2169-3358-2011-1-368.

Bernem, Carlo von; Lübbe, Thies (1997): Öl im Meer. Katastrophen u. langfristige Belastungen. Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft.

BfG (2011): Deepwater Horizon – Erkenntnisse aus der Havarie und den Maßnahmen für die nationale Vorsorge- und Bekämpfungsstrategie. Unter Mitarbeit von Umweltpertengruppe „Folge von Schadstoffunfällen“, Projektgruppe „Deepwater Horizon“. Hrsg. v. Bundesanstalt für Gewässerkunde.

Bonn Agreement (2001a): Bonn Agreement. Text of the Bonn Agreement in Bonn Agreement Counter Pollution Manual Volume 3, Chapter 29, Agreement for cooperation in dealing with pollution of the North Sea by oil and other harmful substances, 1983 as amended by the Decision of 21 September 2001. London.

- Bonn Agreement (2001b): Counter Pollution Manual. London.
- Bonn Agreement (2011-2015): Aerial Surveillance Fact sheets. Bonn.
- Bonn Agreement (2014): BE AWARE. Summary Report. London.
- Bonn Agreement (2018): Counter Pollution Exercises. Hg. v. Bonn Agreement. Online verfügbar unter <http://www.bonnagreement.org/activities/counter-pollution-exercises>, zuletzt geprüft am 26.08.2018.
- Booij, Nico; Holthuijsen, Leo; Battjes, Jurjen (2001): Ocean to Near-Shore Wave Modelling with SWAN. In: *Coastal Dynamics*, S. 335–344. DOI: 10.1061/40566(260)34.
- Bosch, Karl (1998): Statistik-Taschenbuch. 3., verb. Aufl. München, Wien: Oldenbourg.
- Brinkmann, Birgitt (2005): Seehäfen. Planung und Entwurf. Berlin: Springer.
- Brinkmann, Birgitt (2012): Weltseehandel und seine größten Häfen - Ein Marktüberblick. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 107 (S1), S. 8–14. DOI: 10.1002/best.201210006.
- BRISK (2011): Sub-regional Risk of Spill of Oil and Hazardous Substances in the Baltic Sea. Summary Report. Baltic Sea Regional Programme.
- Buist, Ian; McCourt, James; Potter, Steve; Ross, Sy; Trudel, Ken (1999): In-situ bruning. Review of Oil Spill Countermeasures Technologies and Response Methods. In: *Pure and Applied Chemistry* 71 (1), S. 43–65.
- Buist, Ian; Trudel, Ken; Morrison, Jake; Aurand, Don (1997): LABORATORY STUDIES OF THE PROPERTIES OF IN-SITU BURN RESIDUES. In: *International Oil Spill Conference Proceedings* 1997 (1), S. 149–156. DOI: 10.7901/2169-3358-1997-1-149.
- Bundesministerium des Inneren (2003): Verwaltungsverfahrensgesetz. VwVfG, vom 2003. Fundstelle: BGBl. I S. 102.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2012): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen. Kreislaufwirtschaftsgesetz KrWG, vom 2015.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Deutscher Wetterdienst (2013): Die deutschen Klimabeobachtungssysteme. Inventarbericht zum Global Climate Observing System (GCOS). Unter Mitarbeit von Stefan Rösner. Bearb.-Stand: Januar 2013. Offenbach a. M.: Dt. Wetterdienst.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (2002a): Gesetz zu den Vereinbarungen zwischen der Bundesrepublik Deutschland und den Ländern Freie Hansestadt Bremen, Freie und Hansestadt Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein zur Verbesserung des gemeinsamen Unfallmanagements auf der Nord- und Ostsee. BLV HK. Fundstelle: GVObI. M-V 2002, S. 475.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (2002b): Vereinbarung zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Freien Hansestadt Bremen, der Freien und Hansestadt Hamburg, den Ländern Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein über die Errichtung des Havariekommandos.

- Caplis, John (Hg.) (2018): How Much is Enough? Planning Standards, Preparedness Research, and New Planning Tools for Measuring Response Equipment Capabilities. Interspill. London, 15.03.2018. United States Bureau of Safety and Environmental Enforcement.
- Casey, Drew; Caplis, John (2014): Improving Planning Standards for the Mechanical Recovery of Oil Spills on Water. In: *International Oil Spill Conference Proceedings 2014* (1), S. 1772–1783. DOI: 10.7901/2169-3358-2014.1.1772.
- Castro, A.; Iglesias, G.; Carballo, R.; Fraguera, J. A. (2010): Floating boom performance under waves and currents. In: *Journal of hazardous materials* 174 (1-3), S. 226–235. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.09.040.
- Chapman, Helen; Purnell, Karen; Law, Robin J.; Kirby, Mark F. (2007): The use of chemical dispersants to combat oil spills at sea: A review of practice and research needs in Europe. In: *Marine Pollution Bulletin* 54 (7), S. 827–838. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2007.03.012.
- Dekra Industrial GmbH (2018): Sofortmaßnahmen bei Mineralölnfällen. Liste der geprüften Ölbindemittel Typ I, II, III und IV. Dortmund.
- DESMI A/S (2018): Skimmers. Nørresundby. Online verfügbar unter <https://www.desmi.com/desmi-products/dbd-skimmers.aspx>, zuletzt aktualisiert am 16.02.2018.
- Diezemann, B.; Munk, S. (2014): Entwicklung von Applikationseinrichtungen für Luftfahrzeuge zur Ausbringung von Ölbindern. BioBind Abschlussworkshop. FSB - Airservice. Universität Rostock, Professur Geotechnik und Küstenwasserbau. Rostock, 2014.
- Dohmen; Möbius (2014): Online Oiltracking. Flugzeugbasierte Unterstützung einer gezielten Ölhavariebekämpfung. AGRO-SAT. Rostock, 2014.
- Dunemann, Lothar (2014): Ölbindemittel"Woodsorb marine". Arbeitsmedizinische Bewertung sowie umwelttechnische Prüfung gemäß Ergänzung der Ölbinderrichtlinie vom 16.06.1998. Hg. v. Hygiene-Institut des Ruhrgebiets. Gelsenkirchen.
- EAK (2007): Die Küste. Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken. Korr. Ausg., unveränderter Nachdr. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (Die Küste, 65).
- Equasis (2016): Ship Info. TI EUROPE. Online verfügbar unter <http://www.equasis.org/EquasisWeb/restricted/ShipInfo?fs=ShipList>, zuletzt aktualisiert am 12.01.2016, zuletzt geprüft am 22.01.2016.
- Equasis (2018): The world merchant fleet in 2017. Statistics from Equasis.
- European Maritime Safety Agency (2010): Manual on the Applicability of Oil Spill Dispersants. Version 2.
- European Maritime Safety Agency (2013): Action Plan for Response to Marine Pollution from Oil and Gas Installations. Lissabon.
- European Maritime Safety Agency (2014a): Inventory of national policies regarding the use of oil spill dispersants in the EU Member States. Lissabon.
- European Maritime Safety Agency (2014b): Network of Standby Oil Spill Response Vessels and Equipment. Handbook 2014. Lissabon.
- European Maritime Safety Agency (2015): Network of EMSA Contracted Vessels Supporting the Efforts of Coastal States. Lissabon.

European Parliament (2002): REGULATION (EC) No 1406/2002 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 June 2002 establishing a European Maritime Safety Agency (Text with EEA relevance). (EC) No 1406/2002. Online verfügbar unter <http://www.emsa.europa.eu/about/what-we-do-main/legal-basis.html>, zuletzt geprüft am 12.02.2016.

Fauvre, Daniel (1995): EVALUATION AND LIMITS OF PROTECTIVE BOOM PLANS FOR HIGH TIDAL RANGE AND STRONG CURRENT AREAS. In: *International Oil Spill Conference Proceedings 1995* (1), S. 43–47. DOI: 10.7901/2169-3358-1995-1-43.

Fingas, Merv (2011a): An Overview of In-Situ Burning. Chapter 23. In: *Oil Spill Science and Technology*: Elsevier, S. 737–903.

Fingas, Merv (2011b): Introduction to Oil Chemistry and Properties. Chapter 3. In: *Oil Spill Science and Technology*: Elsevier, S. 51–59.

Fingas, Merv (2011c): Oil Spill Dispersants: A Technical Summary. Chapter 15. In: *Oil Spill Science and Technology*: Elsevier, S. 435–582.

Fingas, Merv (2011d): Physical Spill Countermeasures. Chapter 12. In: *Oil Spill Science and Technology*: Elsevier, S. 303–337.

Fingas, Merv (2011e): Spill-Treating Agents. Chapter 14. In: *Oil Spill Science and Technology*: Elsevier, S. 429–433.

Fingas, Merv (2011f): Weather Effects on Oil Spill Countermeasures. Chapter 13. In: *Oil Spill Science and Technology*: Elsevier, S. 339–426.

Frazão Santos, Catarina; Michel, Jaqueline; Neves, Mário; Janeiro, João; Andrade, Francisco; Orbach, Michael (2013): Marine spatial planning and oil spill risk analysis: Finding common grounds. In: *Mar. Pollut. Bull.* 74 (1), S. 73–81. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.07.029.

Fröhle, Peter (2000): Messung und statistische Analyse von Seegang als Eingangsgröße für den Entwurf und die Bemessung von Bauwerken des Küstenwasserbaus. Rostock (Rostocker Berichte aus dem Fachbereich Bauingenieurwesen, 2).

Gass, Mike; Albert, Vernon E.; Huber, Charles; Landrum, Richard F.; Rosenberg, Ed (2011): Aerial Dispersant Operations in the Deepwater Horizon Spill Response - A Framework for Safely Mounting a Large Scale Complex Dispersant Operation. In: *International Oil Spill Conference Proceedings 2011* (1), abs262. DOI: 10.7901/2169-3358-2011-1-262.

Genwest & Spiltec (2012): EDRC Project Final Report. Effective Daily Recovery Capacity.

GICON (2012): Vorsorgeplanung Schadstoffunfallbekämpfung. VPS.system. Online verfügbar unter https://www.vpsserver1.de/vpsweb/start/start_web.aspx.

Global Response Network (2014): The Global Response Network. A coalition of major oil spill response companies operating throughout the world. London. Online verfügbar unter http://www.globalresponsenetwork.org/gm_brochure_new.pdf, zuletzt geprüft am 12.02.2016.

Graugaard, Claus Winter (2013): LNG for Shipping. Current status. DNV. Kopenhagen, 22.10.2013. Online verfügbar unter <http://www.lngbunkering.org/sites/default/files/2013%20DNV%20LNG%20for%20shipping%20current%20status.pdf>, zuletzt geprüft am 10.02.2016.

Green Ocean (2015): Sorbent Product range. Online verfügbar unter <http://greenocean.nl/>, zuletzt geprüft am 16.02.2015.

Grobecker, Claus; Paul, Wolfgang; Benedict, Knud; Brevern, Olaf von; Gudat, Ulrich; Kesting, Dieter et al. (2000): Unabhängige Expertenkommission >>Havarie Pallas <<. Berlin.

Gros, Jonas; Nabi, Deedar; Würz, Birgit; Wick, Lukas Y.; Brussaard, Corina P. D.; Huisman, Johannes et al. (2014): First day of an oil spill on the open sea: early mass transfers of hydrocarbons to air and water. In: *Environmental Science & Technology* 48 (16), S. 9400–9411. DOI: 10.1021/es502437e.

Grote, Matthias (2016): The use of dispersants to combat oil spills in Germany at sea. Berlin, Berlin: BfR (BfR-Wissenschaft, 2016,2).

Grote, Matthias; van Bernem, Carlo; Böhme, Birgit; Callies, Ulrich; Calvez, Ivan; Christie, Bernard et al. (2018): The potential for dispersant use as a maritime oil spill response measure in German waters. In: *Mar. Pollut. Bull.* 129 (2), S. 623–632. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.10.050.

Gucma, Lucjan (2018): National Polish Workshop on Oil Spill Response Preparedness. Documentation. Hg. v. Maritime University Szczecin. Stettin.

Haehnel, Janne; Jeschek, Jenny; Schulz-Bull, Detlef E. (2014): Quantitative Determination of Microbial Oil Degradation and Of Oil Absorption by a New Oil-Binding System in a Baltic Sea Mesocosm Experiment. In: *International Oil Spill Conference Proceedings 2014* (1), S. 1059–1072. DOI: 10.7901/2169-3358-2014.1.1059.

Hansestadt Rostock (2014): SONDERSCHUTZPLAN ÖLWEHR. im Küstenbereich der Hansestadt Rostock (einschließlich Unterwarnow). Hg. v. Amt für Umweltschutz.

Harayama, Shigeaki; Kasai, Yuki; Hara, Akihiro (2004): Microbial communities in oil-contaminated seawater. In: *Current Opinion in Biotechnology* 15 (3), S. 205–214. DOI: 10.1016/j.copbio.2004.04.002.

Harayama, Shigeaki; Kishira, Hideo; Kasai, Yuki; Shutsubo, Kazuaki (1999): Petroleum Biodegradation in Marine Environments. In: *Journal of molecular microbiology and biotechnology* 1 (1), S. 63–70.

Havariekommando (2007): Übersicht Stationierung der Bekämpfungsschiffe und -geräte. Cuxhaven.

Havariekommando (2008): Gemeinsames Systemkonzept des Bundes und der Küstenländer zur Bekämpfung von Meeresverschmutzungen. Systemkonzept SUB 2007. Hg. v. Gemeinsame Einrichtung des Bundes und der Küstenländer.

Havariekommando (2017a): Pressemitteilung. Hubschrauber für maritime Notfallvorsorge jederzeit einsatzbereit Arbeitstreffen von BMI und BMVI bei der Bundespolizei-Fliegerstaffel in Fuhlendorf. Cuxhaven.

Havariekommando (2017b): SBOIL. Cuxhaven, 2017. Brief an Universität Rostock, Professur Geotechnik und Küstenwasserbau.

Hayes, Miles O.; Michel, Jacqueline; Montello, Todd M.; Aurand, Don V.; Sauer, Theodor C.; Al-Mansi, Ahmed; Al-Momen, Abdul Halim (1995): DISTRIBUTION AND WEATHERING OF OIL FROM THE IRAQ-KUWAIT CONFLICT OIL SPILL WITHIN INTERTIDAL HABITATS—TWO YEARS LATER. In: *International Oil Spill Conference Proceedings 1995* (1), S. 443–451. DOI: 10.7901/2169-3358-1995-1-443.

Helcom - Baltic Marine Environment Commission (2001): Recommendation 22/2. RESTRICTED USE OF CHEMICAL AGENTS AND OTHER NON-MECHANICAL MEANS IN OIL COMBATTING OPERATIONS IN THE BALTIC SEA AREA. Helsinki.

Helcom - Baltic Marine Environment Commission (November 2008): Convention on the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea Area, 1992. Helsinki Convention.

Helcom - Baltic Marine Environment Commission (2018): Illegal Oil Spills: Helcom - Baltic Marine Environment Commission. Online verfügbar unter <http://maps.helcom.fi/website/mapservice/index.html>, zuletzt geprüft am 26.06.2018.

Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH (2012): coastDat-1 Waves North Sea wave spectra hindcast (1948-2007). Unter Mitarbeit von Ralf Weisse und Elke Meyer.

Hooke, Norman (1997): Maritime casualties, 1963-1996. London: LLP.

IMO (1991): OPRC convention: International convention on oil pollution preparedness, response and co-operation, 1990. Including final act of the conference and attachment (resolutions 1 to 10). London.

IMO (1997): International Convention for the Prevention of Pollution from Ships. MARPOL 73/78.

Information office of the Nordic Council of Ministers (2013): Risks of Oil and Chemical Pollution in the Baltic Sea. Results and Recommendations from HELCOM's BRISK and BRISK-RU Projects. Kaliningrad.

Intelligence Agency, Central (2016): The CIA World Factbook 2017. New York: Skyhorse Publishing. Online verfügbar unter <https://ebookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=5304535>.

International Maritime Organization (2004): Bioremediation in marine oil spills. Guidance document for decision making and implementation of bioremediation in marine oil spills. 2004 ed. London (IMO publication).

International Oil Pollution Compensation Funds (2011): Liability and Compensation for Oil Pollution Damage. Texts of the 1992 Civil Liability Convention, The 1992 Fund Convention and the Supplementary Fund Protocol. London. Online verfügbar unter http://www.iopcfunds.org/uploads/tx_iopcpublications/Text_of_Conventions_e.pdf, zuletzt geprüft am 11.02.2016.

International Oil Pollution Compensation Funds (2012): The International Oil Pollution Compensation Funds. 2012 Edition. Hg. v. IOPC Funds. London. Online verfügbar unter http://www.iopcfunds.org/uploads/tx_iopcpublications/brochure_e.pdf, zuletzt geprüft am 11.02.2016.

IPIECA-IOGP (2015a): Contingency planning for oil spills on water. Good practice guidelines for the development of an effective spill response capability. Hg. v. The global oil and gas industry association for environmental and social issues & International Association of Oil & Gas Producers. London (IOGP Report, 519).

IPIECA-IOGP (2015b): Response strategy development using net environmental benefit analysis (NEBA). Good practice guidelines for incident management and emergency response personnel. Hg. v. The global oil and gas industry association for environmental and social issues & International Association of Oil & Gas Producers. London (IOGP Report, 527).

- IEPECA-IOGP (2015c): Tiered preparedness and response. Good practice guidelines for using the tiered preparedness and response framework. Hg. v. International Association of Oil & Gas Producers. London (IOGP Report, 526).
- I TOPF (2011a): Contingency Planning for Marine Oil Spills (TIP 16). Technical Information Paper. Hg. v. The International Tanker Owners Pollution Federation Limited. London (16).
- I TOPF (2011b): Effects of Oil Pollution on Social and Economic Activities (TIP 12). Technical Information Paper. Hg. v. The International Tanker Owners Pollution Federation Limited. London (12).
- I TOPF (2011c): Effects of Oil Pollution on the Marine Environment (TIP 13). Technical Information Paper. Hg. v. The International Tanker Owners Pollution Federation Limited. London (13).
- I TOPF (2011d): Use of Dispersants to Treat Oil Spills (TIP 4). Technical Information Paper. Hg. v. The International Tanker Owners Pollution Federation Limited. London (4).
- I TOPF (2012): Use of Sorbent Materials in Oil Spill Response (TIP 8). Technical Information Paper. Hg. v. The International Tanker Owners Pollution Federation Limited. London (8).
- I TOPF (2015a): Country Profiles. The International Tanker Owners Pollution Federation Limited. London. Online verfügbar unter <http://www.itopf.com/knowledge-resources/countries-regions/>, zuletzt aktualisiert am 2015.
- I TOPF (2015b): Handbook 2015. Hg. v. The International Tanker Owners Pollution Federation Limited. London.
- I TOPF (2018): Oil Tanker Spill Statistics 2017. Hg. v. International Tanker owners pollution federation limited. London.
- Jackson, Paul; Peacock, Lindsay T.; Munson, Kenneth (2004): Jane's all the world's aircraft, 2004-2005. 95th ed. Couldson, Surrey, UK, Alexandria, VA: Jane's Information Group (Jane's yearbooks).
- Jensen, Jürgen (2009): MUSTOK Modellgestützte Untersuchungen zu Extremen Strumflutereignissen an der Deutschen Ostseeküste. In: *Die Küste - Archiv für Forschung und Technik an der Nord- und Ostsee* (75), S. 1–7.
- Kleindienst, Sara; Seidel, Michael; Ziervogel, Kai; Grim, Sharon; Loftis, Kathy; Harrison, Sarah et al. (2015): Chemical dispersants can suppress the activity of natural oil-degrading microorganisms. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112 (48), S. 14900–14905. DOI: 10.1073/pnas.1507380112.
- Krawi, Hazem (2006): Bekämpfung von Ölhavarien im Meerwasser mit passiven Bindern. Dissertation. Rostock.
- Kurras (2018): SBOIL Workshop - Führung Ölbekämpfungsschiff "Vilm". Rostock, 2018. Gespräch an Marcus Siewert.
- Kuzmenko, Igor (2018): Lithuanian Workshop on Oil Spill Response Preparedness. Documentation. Lithuanian Armed Forces - Maritime Rescue Coordination Center. Klaipeda.
- Kvenvolden, K. A.; Cooper, C. K. (2003): Natural seepage of crude oil into the marine environment. In: *Geo-Mar Lett* 23 (3-4), S. 140–146. DOI: 10.1007/s00367-003-0135-0.

- LAMOR (2015): Product Reel. Solutions for Selected Scenarios. Hg. v. Larsen Marine Oil Recovery. Porvoo.
- Landtag Mecklenburg-Vorpommern (2017): Vorsorge für Ölavariebekämpfung in Mecklenburg-Vorpommern. Kleine Anfrage (Drucksache 7/358).
- Lewis, Alun (2015): CHALLENGING THE VALIDITY OF RECENT CLAIMS THAT DISPERSANTS SUPPRESS BIODEGRADATION. Comments on the Kleindienst et al paper. Hg. v. International Spill Control Organization. London (ISCO Newsletter, 511). Online verfügbar unter <http://www.spillcontrol.org/>, zuletzt geprüft am 18.02.2016.
- Longuet-Higgins, Michael; Sajjadi, S. G. (Hg.) (2013): Dynamics of water waves. Selected papers of Michael Longuet-Higgins. Singapore: World Scientific (Advanced series on ocean engineering, 35,1).
- Macnaughton, Sarah J.; Swannell, Richard; Daniel, Fabien; Bristow, Louise (2003): Biodegradation of Dispersed Forties Crude and Alaskan North Slope Oils in Microcosms Under Simulated Marine Conditions. In: *Spill Science & Technology Bulletin* 8 (2), S. 179–186. DOI: 10.1016/S1353-2561(03)00020-3.
- Makin, V. K.; Kudryavtsev, V. N.; Mastenbroeck, C. (1994): Drag of the Sea Surface.
- MathWorks (2018): MATLAB Documentation. Online verfügbar unter <https://de.mathworks.com/help/>.
- McKew, Boyd A.; Coulon, Frédéric; Yakimov, Michail M.; Denaro, Renata; Genovese, Maria; Smith, Cindy J. et al. (2007): Efficacy of intervention strategies for bioremediation of crude oil in marine systems and effects on indigenous hydrocarbonoclastic bacteria. In: *Environmental Microbiology* 9 (6), S. 1562–1571. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2007.01277.x.
- Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur (2017): Schulgesetz für das Land Mecklenburg-Vorpommern. SchulG M-V, vom 2010. Fundstelle: GVOBl. M-V S. 225.
- Muttin, Frédéric (2008): Structural analysis of oil-spill containment booms in coastal and estuary waters. In: *Applied Ocean Research* 30 (2), S. 107–112. DOI: 10.1016/j.apor.2008.07.001.
- Nash, James H.; Molsberry, David D. (1995): THE PERFORMANCE OF BOOMS IN AN OFFSHORE ENVIRONMENT. In: *International Oil Spill Conference Proceedings 1995* (1), S. 1025–1026. DOI: 10.7901/2169-3358-1995-1-1025.
- Nilsson, Henrik (2017): Swedish National Workshop on Oil Spill Response Preparedness. Documentation. Hg. v. World Maritime University. Malmö.
- Nordvik, Atle B. (1995): The technology windows-of-opportunity for marine oil spill response as related to oil weathering and operations. In: *Spill Science & Technology Bulletin* 2 (1), S. 17–46. DOI: 10.1016/1353-2561(95)00013-T.
- Oil Spill Response (2011): Containment and Recovery Field Guide. A guide to containment and recovery operations at sea. Hg. v. Oil Spill Response. Southampton, UK.
- Oil Spill Response (2018): Company Description. Online verfügbar unter <https://www.oilspillresponse.com/>, zuletzt geprüft am 29.06.2018.

- Ortmann, Alice C.; Anders, Jennifer; Shelton, Naomi; Gong, Limin; Moss, Anthony G.; Condon, Robert H. (2012): Dispersed oil disrupts microbial pathways in pelagic food webs. In: *PLoS ONE* 7 (7), S. e42548. DOI: 10.1371/journal.pone.0042548.
- Paschen, Mathias; Semlow, Christian (2014): Biodegradable Oil Binding Agents - A New Approach For Air Based Oil Spill Response at sea. In: *Proceedings of the 12th International Conference on marine Science and Technology – Black Sea 2014*, S. 281–285.
- Pasumarthi, Rajesh; Chandrasekaran, Sivaraman; Mutnuri, Srikanth (2013): Biodegradation of crude oil by *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia fergusonii* isolated from the Goan coast. In: *Marine Pollution Bulletin* 76 (1-2), S. 276–282. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.08.026.
- Perry, Robin; Panton, Steve (2011): The Macondo Well Blowout. Political Posturing and the Media Machinations—Help or Hindrance? In: *International Oil Spill Conference Proceedings 2011* (1), abs294. DOI: 10.7901/2169-3358-2011-1-294.
- Reed, Mark; Turner, Chris; Odulo, Anatoly (1994): The role of wind and emulsification in modelling oil spill and surface drifter trajectories. In: *Spill Science & Technology Bulletin* 1 (2), S. 143–157. DOI: 10.1016/1353-2561(94)90022-1.
- ISO/Guide 73:2009, 15.11.2009: Risk management -- Vocabulary.
- Rohde, Fridtjof (2016): Frachter Typ 178, 11.02.2016. E-Mail an Marcus Siewert.
- S.L. Ross Environmental Research Limited (2013): World Catalog of Oil Spill response Products. Ottawa, Ontario (10).
- Saathoff, Fokke; Siewert, Marcus; Powilleit, Martin (2014): BioBind – Luftgestützte Beseitigung von Verunreinigungen durch Öl mit biogenen Bindern. Jülich: Forschungszentrum, Zentralbibliothek (Schriftenreihe / Projektträger Jülich, 4).
- Saathoff, Fokke; Siewert, Marcus; Powilleit, Martin; Paschen, Mathias; Semlow, Christian; König, Swetlana et al. (2019): BioBind - Luftgestützte Beseitigung von Verunreinigungen durch Öl mit biogenen Bindern. Schriftenreihe Umweltingenieurwesen, Band 90, Professur Geotechnik und Küstenwasserbau, ISBN 978-3-86009-490-7
- Safonova, Elena; König, Swetlana (2014): NOVEL OIL-DEGRADING ALGAL-BACTERIAL ASSOCIATIONS FOR THE TREATMENT OF OIL POLLUTION IN THE BALTIC SEA. In: *International Oil Spill Conference Proceedings 2014* (1), S. 300185. DOI: 10.7901/2169-3358-2014-1-300185.1.
- Santner, Richard; White, David; Bennett, Bernie; Clark, Jim; Osikilo, Yvette; Przelomski, Skip (2008): THE IPIECA GUIDE TO TIERED PREPAREDNESS AND RESPONSE. In: *International Oil Spill Conference Proceedings 2008* (1), S. 1097–1099. DOI: 10.7901/2169-3358-2008-1-1097.
- Schlamkow, Christian; Fröhle, Peter (Hg.) (2008): Wave period forecasting and hindcasting : Investigations for the improvement of numerical models. Conference on Ocean and Port Engineering in Developing Countries. Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC-COPEDEC, VII).
- Schlamkow, Christian; Fröhle, Peter (2009): Entwicklung von Methoden zur Bestimmung maßgebender hydrodynamischer Bemessungsparameter für Küstenschutzanlagen an der Ostsee. In: *Die Küste - Archiv für Forschung und Technik an der Nord- und Ostsee* (75), S. 207–230.

- Schneider, Susanne; Martins dos Santos, Vitor A P; Bartels, Daniela; Bekel, Thomas; Brecht, Martina; Buhmester, Jens et al. (2006): Genome sequence of the ubiquitous hydrocarbon-degrading marine bacterium *Alcanivorax borkumensis*. In: *Nature biotechnology* 24 (8), S. 997–1004. DOI: 10.1038/nbt1232.
- Schultz, Robert (1998): Oil spill response performance review of skimmers. West Conshohocken, PA: ASTM (ASTM manual series, MNL 34).
- Seifert, Torsten; Tauber, F.; Kayser, B. (Hg.) (2001): A high resolution spherical grid topography of the Baltic Sea - 2nd edition. Baltic Sea Science Congress. Stockholm.
- ISO 16165, 2001: Ships and marine technology - Marine environment protection - Terminology to oil spill response.
- Siewert, Marcus; Powilleit, Martin; Saathoff, Fokke (2014): BioBind - Airborne clean-up of oil pollution at sea with biogenic oil binders. In: *International Oil Spill Conference Proceedings 2014* (1), S. 1431–1440. DOI: 10.7901/2169-3358-2014.1.1431.
- Siewert, Marcus; Saathoff, Fokke (Hg.) (2018): SBOIL. South Baltic Oil Spill Response Through Cleanup with Biogenic Binders. Unter Mitarbeit von Marcus Siewer und Fokke Saathoff. 7th IEEE / OES Baltic Symposium - Clean and Safe Baltic Sea and Energy Security for the Baltic countries. Klaipeda. Klaipėda University. Klaipeda.
- Siewert, Marcus; Schlamkow, Christian; Saathoff, Fokke (2015): Spatial analyses of 52 years of modelled sea state data for the Western Baltic Sea and their potential applicability for offshore and nearshore construction purposes. In: *Ocean Engineering* 96, S. 284–294. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2014.12.029.
- Soares, Carlos Guedes; Weisse, Ralf; Carretero, Juan Carlos; Alvarez, Enrique (2002): A 40 Years Hindcast of Wind, Sea Level and Waves in European Waters. Proceedings of OMAE 2002: 21th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. Oslo, Norwegen.
- STALU VP (2018): Ölwehr. Hg. v. Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Vorpommern. Online verfügbar unter <http://www.stalu-mv.de/vp/Themen/Wasser-und-Boden/%C3%96lwehr/>, zuletzt geprüft am 26.06.2018.
- Statistisches Jahrbuch Deutschland (2017). 1., Auflage. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Stevens, Lisa (2014): Visualising spill risk: understanding and assessing regions of heightened vulnerability associated with increased seaborne transport of oil.
- Suhr, Frauke (2016): Immer mehr Güter werden auf See transportiert. Immer mehr Güter werden auf See transportiert. Hg. v. Statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/infografik/6034/entwicklung-des-seehandels/>, zuletzt geprüft am 04.12.2018.
- The World Factbook (2016): United States Government Printing.
- TRANSAS (2015): TRANSAS Navigational Simulators.
- Trudel, B. K.; Belore, R. C.; Guarino, A.; Lewis, A.; Mullin, J. (2005): DETERMINING THE VISCOSITY LIMITS FOR EFFECTIVE CHEMICAL DISPERSION. RELATING OHMSETT RESULTS TO THOSE FROM TESTS AT-SEA. In: *International Oil Spill Conference Proceedings 2005* (1), S. 71–76. DOI: 10.7901/2169-3358-2005-1-71.

- U. S. Energy Information Administration (2015): Petroleum Supply Annual 2014. Volume 1. Hg. v. U.S: Department of Energy. Washington. Online verfügbar unter <https://www.eia.gov/petroleum/supply/annual/volume1/>, zuletzt geprüft am 25.01.2016.
- U. S. Energy Information Administration (2018): Annual Energy Outlook 2018. with projections to 2050. In: *Cartographic Perspectives* 0 (89), S. 1. DOI: 10.14714/CP89.1472.
- U.S. Army Corps of Engineers (Hg.) (2002): Coastal Engineering Manual Part II -Coastal Hydrodynamics. Chapter 8 Hydrodynamic Analysis and Design Conditions. EM 1110-2-1100. Unter Mitarbeit von Edward F. Thompson. Washington DC.
- Unbehaun, Holger; Hieronymus, Till; Tech, Sören; Wagenführ, André (2014): Development and properties of a new oil binding system for marine application. In: *International Oil Spill Conference Proceedings* 2014 (1), S. 1474–1484. DOI: 10.7901/2169-3358-2014.1.1474.
- United States (2011): Deep water. The Gulf oil disaster and the future of offshore drilling : report to the President. [Washington, D.C.]: National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling; For sale by the Supt. of Docs., U.S. G.P.O.
- United States Environmental Protection Agency (1990): Oil Pollution Act of 1990. OPA90, vom 2000.
- van Bernem, K.-H.; Fleischmann, J.; Krasemann, H.; Krüger, D.; Lübbe, T.-P. (2007): Sensitivitätskartierung zur Ölbekämpfung an den Unterläufen von Eider, Elbe, Weser und Ems. Unter Mitarbeit von Helmholtz Gemeinschaft.
- van Gelderen, Laurens; Brogaard, Nicholas L.; Sørensen, Martin X.; Fritt-Rasmussen, Janne; Rangwala, Ali S.; Jomaas, Grunde (2015): Importance of the slick thickness for effective in-situ burning of crude oil. In: *Fire Safety Journal* 78, S. 1–9. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.07.005.
- Verband für Schiffbau und Meerestechnik e. V. (Hg.) (2018): Jahresbericht 2017 | 2018.
- Violeau, D.; Buvat, C.; Abed-Meraim, K.; Nanteuil, E. de (2007): Numerical modelling of boom and oil spill with SPH. In: *Coastal Engineering* 54 (12), S. 895–913. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2007.06.001.
- Walker, Ann Hayward; Pavia, Robert; Bostrom, Ann; Leschine, Thomas M.; Starbird, Kate (2014): Communication Practices for Oil Spills. Stakeholder Engagement During Preparedness and Response. In: *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 21 (3), S. 667–690. DOI: 10.1080/10807039.2014.947869.
- Wang, Zhendi; Fingas, Merv; Shu, Y. Y.; Sigouin, Lise; Landriault, Michael; Lambert, Pat et al. (1999): Quantitative Characterization of PAHs in Burn Residue and Soot Samples and Differentiation of Pyrogenic PAHs from Petrogenic PAHs–The 1994 Mobile Burn Study. In: *Environ. Sci. Technol.* 33 (18), S. 3100–3109. DOI: 10.1021/es990031y.
- Wang, Zhendi; Yang, B.; Hollebhone, B. P.; Brown, Carl E.; Landriault, M.; Yang, Z.; Sun, J. (2011): Characterization of the Biodegraded Wabamun Spill Oil Samples Incubated with Lake Wabamun Sediment or Enrichment Culture. 2011 International Oil Spill Conference.
- Weisse, R.; Feser, F. (2003): Evaluation of a method to reduce uncertainty in wind hindcasts performed with regional atmosphere models. In: *Coastal Engineering* 48 (4), S. 211–225. DOI: 10.1016/S0378-3839(03)00027-9.

Weisse, R.; Storch, H. von; Feser, F. (2001): Multi-decadal atmospheric modeling for Europe yields multi-purpose data. In: *Eos Trans. AGU* 82 (28), S. 305. DOI: 10.1029/01EO00176.

Weisse, Ralf; Günther, Heinz (2007): Wave climate and long-term changes for the Southern North Sea obtained from a high-resolution hindcast 1958–2002. In: *Ocean Dynamics* 57 (3), S. 161–172. DOI: 10.1007/s10236-006-0094-x.

Wendehorst, Reinhard; Baumgartner, Herwig; Wetzell, Otto W. (2009): Wendehorst bautechnische Zahlentafeln. 33., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. Berlin, Wiesbaden: Beuth; Vieweg + Teubner (Praxis).

world ocean review. Mit den Meeren leben (2010). Hamburg: Maribus gGmbH (World ocean review, 1.2010).

World Trade Organization (2015): International Trade Statistics 2015: World Trade Organization.

WSV (2014): Sicherheitskonzept Deutsche Kueste. Hg. v. Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Online verfügbar unter http://www.wsv.de/Schifffahrt/Seeschifffahrt/Sicherheitskonzept_Deutsche_Kueste/index.html, zuletzt geprüft am 15.02.2016.

Wu, Lin; Xu, Yongjun; Wang, Qi; Wang, Fei; Xu, Zhiwei (2017): Mapping Global Shipping Density from AIS Data. In: *J. Navigation* 70 (01), S. 67–81. DOI: 10.1017/S0373463316000345.

Zuckerman, Solly (1967): The Torrey Canyon. Report of the Committee of Scientists on the Scientific and Technological Aspects of the Torrey Canyon Disaster. Hg. v. Departments of State and Official Bodies. Cabinet Office. London.

Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Globale Schiffsdichte im April 2015 (Wu et al. 2017)	4
Abb. 2: Weltweiter Öltransport auf dem Seeweg im Jahr 2011 (Stevens 2014)	5
Abb. 3: Netzwerk der unter Vertrag genommenen Ölhavariebekämpfungsschiffe und Gerätedepots der EU (European Maritime Safety Agency 2015)	7
Abb. 4: Übersicht Stationierung der Bekämpfungsschiffe und –geräte (Havariekommando 2007)	10
Abb. 5: Veränderung von Öl im Meer (world ocean review 2010)	12
Abb. 6: Schematischer Aufbau einer schwimmenden Ölsperre bestehend aus einem Schwimmkörper mit Freibord und einer Tauchwand mit Ballastgewicht und Zugseil (Fingas 2011d)	13
Abb. 7: Disk Skimmer (links) und Wehr Skimmer (rechts) beim Einsatz in ruhigen Gewässern (DESMI A/S 2018)	14
Abb. 8: Geschleppte Ölsperren in Kombination mit einer Ölaufnahmeeinrichtung am Ende der Ölsperre (links) sowie fest installierte Ölsperre und Aufnahmeeinrichtung an der Seite eines Bekämpfungsschiffes (rechts) (Oil Spill Response 2011)	15
Abb. 9: Rollen und Matten gefüllt mit Adsorptionsmaterial (Green Ocean 2015)	15
Abb. 10: Luftgestützte (links) und schiffsgestützte Applikation von Dispergierern (ITOPF 2011d)	16
Abb. 11: In-situ Verbrennung von Öl auf der Wasseroberfläche innerhalb der Grenzen einer Ölsperre im Golf von Mexiko (Allen et al. 2011)	17
Abb. 12: Biostimulation durch Nährstoffzugabe nach der Havarie der EXXON VALDEZ in Alaska (International Maritime Organization 2004)	18
Abb. 13: Darstellung von Seegangsinformationen im Zeitbereich (links) und Frequenzbereich (rechts) (EAK 2007)	21
Abb. 14: Wellenmessbojen in der westlichen Ostsee	22
Abb. 15: Vergleich der gemessenen und modellierten Wellenhöhen (links) und mittlere Absolute Abweichungen (rechts). Der Histogrammbalken zeigt den exakten Wert, die Zahlenwerte sind auf zwei Nachkommastellen gerundet (Siewert et al. 2015)	23
Abb. 16: Dichtefunktion und Summenhäufigkeit der RAYLEIGH Verteilung (U.S. Army Corps of Engineers 2002)	24
Abb. 17: Unterschiedliche Verteilungsfunktionen (Weibull, Log-Normal, Extremal-I) ausgewertet nach HAZEN und die Auswirkungen auf die ermittelten Extremwerte (signifikante Wellenhöhe) und die dazugehörigen Häufigkeiten (Fröhle 2000)	25
Abb. 18: Übersicht Lokationen in der Ostsee mit monatlicher Seegangsauswertung	27
Abb. 19: Übersicht Lokationen in der Nordsee mit monatlicher Seegangsauswertung	27
Abb. 20: Jahreszeitlicher Verlauf der mittleren signifikanten Wellenhöhen der südlichen Ostsee im Frühling, Sommer, Herbst und Winter	28
Abb. 21: Mittlere signifikante Wellenhöhe in der Nordsee (1948 – 1997)	29
Abb. 22: Eintrittshäufigkeit von Wellen $H_s > 1,0$ m für die Jahreszeit Winter	29
Abb. 23: Jahresübersicht Seegangsauswertung und Einsatzfähigkeiten in der Kadettrinne in der Ostsee 30	
Abb. 24: Mittlere Signifikante Wellenhöhe in der Ostsee und Einsatzgebiete für unterschiedliche Einsatzmaxima (grüne Fläche kleiner als Grenzwert, rote Fläche größer als Grenzwert)	32

Abb. 25: Effizienz von Ölsperren und Skimmern in Abhängigkeit von der signifikanten Wellenhöhe (nach (Fingas 2011f)	32
Abb. 26: Eintrittshäufigkeit für Wellen $H_s > 0,5$ m für die vier Jahreszeiten.....	33
Abb. 27: Jahresübersicht statistische Seegangsauswertung und Einsatzfähigkeiten im Fehmarnbelt.....	34
Abb. 28: Mittlere signifikante Wellenhöhe in der Nordsee und Einsatzgebiete für unterschiedliche Einsatzmaxima	35
Abb. 29: Eintrittshäufigkeit für Wellen $H_s > 0,5$ m für die vier Jahreszeiten in der Nordsee.....	36
Abb. 30: Statistische Auswertung von Seegangsdaten und Einsatzfähigkeiten zwischen Cuxhaven und Helgoland.	36
Abb. 31: Übersicht der Einzelkomponenten des Ölhavariebekämpfungssystems BioBind	39
Abb. 32: Das Forschungsschiff „Elisabeth Mann Borgese“ (links) und der Fischkutter Prerow (rechts) schleppen die Netzsperr während eines Freilandversuches auf der Ostsee (Foto: FSB Airservice)	40
Abb. 33: Georeferenziertes Luftbild überlagert mit analysierten Messwerten(AGRO-SAT)	41
Abb. 34: Verschiedene Bindertypen (von links) aus Seegras und Hanf, Holzfaser sowie Holzfaser mit verschiedenen Zusatzstoffen (Foto: TU Dresden - Professur für Holztechnik und Faserwerkstofftechnik)	41
Abb. 35: Ölabbau durch Mikroorganismen nach drei Ttagen im Laborversuch (links), Mikroorganismen aus einer Anreicherungskultur unter dem Mikroskop 20-fach vergrößert (rechts) (Fotos: Universität - Leipzig Institut für Biologie).	42
Abb. 36: Binderabwurf aus dem Kleinflugzeug Dromedar M-18 auf der Ostsee (Flughöhe ca. 25 m), (Foto: Safonova).....	43
Abb. 37: Auslegen der Netzsperr während Freilanduntersuchungen auf der Ostsee (Foto: Universität Rostock – Lehrstuhl für Meerestechnik).	43
Abb. 38: Ablaufdiagramm der Ölhavariebekämpfung mit dem System BioBind.....	45
Abb. 39: Projektpartner (gelber Kasten) und assoziierte Partner (grüner Kasten) im Projekt SBOIL	46
Abb. 40: Die Driftmodellierung zeigt den potentiellen Driftweg (blaue Kreuze) und aktuelle Position des Öls (rosa Punkte). Zeitpunkt der Aufnahme 19:00 Uhr (7 Stunden nach Ölaustritt) (GICON 2012)	52
Abb. 41: Übungsszenario auf der Warnow in Rostock.	57
Abb. 42: Netzsperr in der Warnow während einer Übung im November 2017 in Rostock (Foto Fokke Saathoff).....	57

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Verteilung der gross tonnage der weltweiten Handelsflotte auf unterschiedliche Schiffstypen (Equasis 2015)	3
Tabelle 2:	Dreistufiger Ansatz zur Entwicklung von Notfallplänen zur Ölhavariebekämpfung (Santner et al. 2008)	8
Tabelle 3:	Eintrittskriterien für eine komplexe Schadenslage (Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2002a)	10
Tabelle 4:	Übersicht verschiedener Bekämpfungsmethoden und dazugehörige limitierende Randbedingungen (Allen & Ferek 1993; Fauvre 1995; Reed et al. 1994; Trudel et al. 2005; van Gelderen et al. 2015; Violeau et al. 2007)	20
Tabelle 5:	Zeitraum der analysierten Seegangsmessungen in der südlichen Ostsee.	22
Tabelle 6:	Matrix der erzeugten flächigen Seegangsauswertungen für Nord- und Ostsee .	26
Tabelle 7:	Durch Fernerkundung detektierte Ölaustritte in Nord- und Ostsee (Helcom - Baltic Marine Environment Commission 2018; Bonn Agreement 2011-2015).	37
Tabelle 8:	Gebiete und Aktivitäten für Ölhavariebekämpfung mit BioBind auf Stufe 1	48
Tabelle 9:	Gebiete und Aktivitäten für Ölhavariebekämpfung mit BioBind auf Stufe 2	49
Tabelle 10:	Gebiete und Aktivitäten für Ölhavariebekämpfung mit BioBind auf Stufe 3	50
Tabelle 11:	Chronologischer Ablauf der Ölhavariebekämpfung zwischen dem Windpark Baltic 1 und dem Darßer Ort.	54
Tabelle 12:	Übersicht der durchgeführten und geplanten praktischen Übungen mit unterschiedlichen BioBind Komponenten	56
Tabelle 13:	Vergleich der Ladekapazitäten unterschiedlicher Luftfahrzeuge und der daraus abgeleiteten Flugzahlen für definierte Havarieszenarien (grün – vertretbar, gelb – fraglich, rot – nicht vertretbar)	58

Anhang

Die Anhänge D1 – D3 sind nur in digitaler Form verfügbar (insg. 514 MB). Sie können beim Autor oder der Professur angefordert werden.

m – files zur statistischen Datenauswertung (D1)

Tätigkeit	Ostsee	Nordsee
Statistische Auswertung der Rohdaten	sohip.m	coastdat.m
Erstellung Karten	sohip_graph4.m	coastdat_graph4.m
Erstellung Stationsauswertungen	Lokationen2.m	Lokationen2NS.m

Karten und Stationsauswertungen (D2)

Offline Version der Website inkl. aller erzeugten Karten und alle Stationsauswertungen für die Ostsee und Nordsee.

Checklisten BioBind (D3)

- Ablaufschema.ppt
- 00 Übersicht.jpg
- 01 Entscheidung Bekämpfungsmittel.jpg
- 03 1 Verladung seeseitige Bergetechnik.jpg
- 03 2 Beladung Abwurfflugzeug.jpg
- 03 3 Start Kleinflugzeug Fernerkundung.jpg
- 04 1 Driftmonitoring.jpg
- 04 2 Festlegung Abwurfkoordinaten.jpg
- 04 3 Festlegung Bergeroute.jpg
- 05 Binderabwurf.jpg
- 06 Seeseitige Bergung.jpg
- 07 Landseitige Bergung.jpg

Thesen

1. Das Risiko für schwere Ölhavarien auf See steigt kontinuierlich. Die Erhöhung der Sicherheit durch moderne Navigations- und Kommunikationselektronik wird durch die Zunahme des internationalen Seeverkehrs zunichtegemacht.
2. Die Methoden zur Ölhavariabekämpfung haben sich, bis auf die Zusammensetzung von Dispergatoren, in den vergangenen 30 Jahren fast nicht verändert.
3. Die Zuständigkeiten für die Ölhavariabekämpfung sind in Deutschland klar geregelt, auf regionaler Ebene aber weitestgehend unbekannt.
4. Die Wellenhöhe ist der dominierende Parameter bei der Festlegung von Grenzen der unterschiedlichen Ölhavariabekämpfungsmethoden.
5. Existierende Seegangmodelle können mit Messdaten validiert und für statistische Auswertungen verwendet werden.
6. Statistische Seegangsauswertungen sind häufig nur auf einen Punkt bezogen. Eine flächige Auswertung für die deutsche Nordsee und Ostsee existiert nicht.
7. Statistische Seegangsauswertungen sollten für die Bewertung existierender und Entwicklung neuer Notfallpläne für die Ölhavariabekämpfung verwendet werden.
8. Die in Deutschland vorgehaltenen Geräte zur Ölhavariabekämpfung sind unter den ermittelten Randbedingungen nur unzureichend einsetzbar.
9. Bindemittel können eine Verbesserung des Vorsorgestatus bewirken, wenn neben ihrer Ausbringung auch die Bergung in den Notfallplänen bedacht und mit Kapazitäten versorgt ist.
10. Die luftgestützte Ausbringung von Bindemitteln ermöglicht eine schnelle und großflächige Bekämpfung von Ölhavarien auf See.
11. Die Kombination einer klassischen Ölsperre mit Elementen aus der Fischerei führt zu einem Bergegerät, welches auch dann noch wirksam einsetzbar ist, wenn klassische Ölsperren und Skimmer versagen.
12. Spezifische Logistikpläne für spezielles Bergegerät sind der Schlüssel für eine wirksame Ölhavariabekämpfung.
13. Bindemittel können sowohl für kleine als auch für große Havarien effektiv eingesetzt werden.
14. Die Integration neuer Technologien zur Ölhavariabekämpfung ist nur über praktische Demonstrationen und Übungen mit den relevanten Behörden möglich.

Lebenslauf

PERSÖNLICHE DATEN

Name: Marcus Siewert, geb. Behrendt
Geburtsdatum: 15.03.1984
Geburtsort: Brandenburg/Havel
Staatsangehörigkeit: Deutsch
Familienstand: Verheiratet, 2 Töchter

SCHULAUSSBILDUNG

06/2003 Abitur am Richard-Wossidlo-Gymnasium Ribnitz-Damgarten

WEITERER BILDUNGSWEG

2008-2010 Master Studium Landeskultur- und Umweltschutz an der Universität Rostock
Abschluss Master of Science Landeskultur- und Umweltschutz
2005-2008 Bachelor Studium Landeskultur- und Umweltschutz an der Universität Rostock
Abschluss Bachelor of Science Landeskultur- und Umweltschutz
2004-2005 Studium Landschaftsarchitektur an der TU Dresden
2003-2004 Zivildienst im Stadtforstamt der Hansestadt Rostock (Rostocker Heide)

TÄTIGKEITEN

seit 06/2016 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Rostock
Professur Geotechnik und Küstenwasserbau
Forschungsprojekt SBOIL
07/2015-12/2015 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Rostock
Lehrstuhl für Geotechnik und Küstenwasserbau
Internationale Projektbeantragung (South Baltic Programme)
02/2015-03/2015 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Rostock
Lehrstuhl für Geotechnik und Küstenwasserbau
Vorbereitung und Betreuung Messestand BioBind

- 07/2014-01/2015 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Rostock
Lehrstuhl für Geotechnik und Küstenwasserbau
Nationale und internationale Projektbeantragung (ZIM-Projekt, Horizon2020)
- 2011-2014 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Rostock
Lehrstuhl für Geotechnik und Küstenwasserbau
Forschungsprojekt BioBind
- 2010-2011 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Rostock
Fachgebiet Küstenwasserbau
Betreuung von Studienarbeiten im „Kleinen Wellenbecken“
- 2006-2010 Studentischer Mitarbeiter Universität Rostock
Fachgebiet Küstenwasserbau
Entwurf und Durchführung von hydraulischen Modellversuchen

In dieser Reihe bisher erschienen

Band I

10. DIALOG Abfallwirtschaft MV

– Von der Abfallwirtschaft zur Energiewirtschaft.

Tagungsband, erschienen im Juni 2007, ISBN 987-3-86009-004-6

Band II

Ellen-Rose Trübger

Entwicklung eines Ansatzes zur Berücksichtigung der ungesättigten Zone bei der Grundwassersimulation von Feuchtgebieten.

Dissertation, erschienen im August 2007, ISBN 978-3-86009-006-0

Band III

René Dechow

Untersuchungen verschiedener Ansätze der Wasserhaushalts- und Stofftransportmodellierung hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in Stickstoffhaushaltsmodellen.

Dissertation, erschienen im September 2007, ISBN 978-3-86009-016-9

Band IV

Carolin Wloczyk

Entwicklung und Validierung einer Methodik zur Ermittlung der realen Evapotranspiration anhand von Fernerkundungsdaten in Mecklenburg-Vorpommern.

Dissertation, erschienen im September 2007, ISBN 978-3-86009-009-1

Band 5

1. Rostocker Bioenergieforum.

Bioenergieland Mecklenburg-Vorpommern.

Tagungsband, erschienen im Oktober 2007, ISBN 978-3-86009-013-8

Band 6

Kulturtechniktagung 2007.

Ostseeverschmutzung und Flächenentwässerung.

Tagungsband, erschienen im Januar 2008, ISBN 978-3-86009-018-3

Band 7

Enrico Frahm

Bestimmung der realen Evapotranspiration für Weide (*Salix* spp.) und Schilf (*Phragmites australis*) in einem nordostdeutschen Flusstalmoor.

Dissertation, erschienen im Mai 2008, ISBN 978-3-86009-023-7

Band 8

Jenny Haide

Methode zur Quantifizierung der Einflüsse auf Vorgangsdauern lohnintensiver Arbeiten am Beispiel von Pflasterarbeiten.

Dissertation, erschienen im Juni 2008, ISBN 978-3-86009-024-4

Band 9

11. DIALOG Abfallwirtschaft MV

Chancen und Risiken für die deutsche Abfallwirtschaft im Ausland.

Tagungsband, erschienen im Juni 2008, ISBN 978-3-86009-029-9

Band 10

Stefan Cantré

Ein Beitrag zur Bemessung geotextiler Schläuche für die Entwässerung von Baggergut.

Dissertation, erschienen im Juni 2008, ISBN 978-3-86009-032-9

Band 11

Birgit Wüstenberg

Praxis der Standortwahl von Sportboothäfen im Küstenbereich Mecklenburg-Vorpommerns und Entwicklung einer Bewertungsmethode als Planungshilfe.

Dissertation, erschienen im Juli 2008, ISBN 978-3-86009-033-6

Band 12

André Clauß

Erhöhung der Trinkwasserversorgungssicherheit in Havarie- und Krisensituationen durch neue Handlungsalgorithmen sowie Einbeziehung bisher ungenutzter Ressourcen am Beispiel von Bergbaugrubenwasser.

Dissertation, erschienen im September 2008, ISBN 978-3-86009-037-4

Band 13

Peter Degener

Sickerwasserkreislauf zur Behandlung von Sickerwässern der aerobiologischen Restabfallbehandlung (Restabfallrotte).

Dissertation, erschienen im Oktober 2008, ISBN 978-3-86009-043-5

Band 14

2. Rostocker Bioenergieforum

Innovationen für Klimaschutz und wirtschaftliche Entwicklung.

Tagungsband, erschienen im Oktober 2008, ISBN 978-3-86009-044-2

Band 15

7. Rostocker Abwassertagung

Fortschritte auf dem Gebiet der Abwasserentsorgung.

Tagungsband, erschienen im November 2008, ISBN 978-3-86009-045-9

Band 16

Christian Noß

Strömungsstrukturen kleiner naturnaher Fließgewässer unter Berücksichtigung von Turbulenztheorie und Dispersionsmodellen.

Dissertation, erschienen im Januar 2009, ISBN 978-3-86009-054-1

Band 17

Ralf Schröder

Entwicklung von Möglichkeiten zur Messung der N₂-Übersättigung sowie Methoden zur Reduzierung der Schwimmschlamm-Bildung.

Dissertation, erschienen im Februar 2009, ISBN 978-3-86009-055-8

Band 18

Elmar Wisotzki

Bodenverfestigungen mit Kalk-Hüttensand-Gemischen.

Dissertation, erschienen im April 2009, ISBN 978-3-86009-059-6

Band 19

Ramez Mashkour

Untersuchungen zur Adsorption und biologischen Aktivität an Aktivkohlefilter unter den Bedingungen der Wasseraufbereitung im Wasserwerk Rostock.

Dissertation, erschienen im April 2009, ISBN 978-3-86009-060-2

Band 20

Torsten Birkholz

Handlungserfordernisse und Optimierungsansätze für kommunale Ver- und Entsorgungsunternehmen im Zusammenhang mit demografischen Veränderungen im ländlichen Raum aufgezeigt an einem Beispiel in Mecklenburg-Vorpommern.

Dissertation, erschienen im Mai 2009, ISBN 978-3-86009-061-9

Band 21

12. DIALOG Abfallwirtschaft MV

Aktuelle Entwicklungen in der Abfallwirtschaft.

Tagungsband, erschienen im Juni 2009, ISBN 978-3-86009-062-6

Band 22

Thomas Fritz

Entwicklung, Implementierung und Validierung eines praxisnahen Verfahrens zur Bestimmung von Biogas- bzw. Methanerträgen.

Dissertation, erschienen im Oktober 2009, ISBN 978-3-86009-065-7

Band 23

3. Rostocker Bioenergieforum

Bioenergie – Chance und Herausforderung für die regionale und globale Wirtschaft.

Tagungsband, erschienen im Oktober 2009, ISBN 978-3-86009-065-8

Band 24

Muhammad Mariam

Analyse von Gefahrenpotenzialen für die Trinkwasserversorgung der Stadt Rostock unter besonderer Berücksichtigung von Schadstoffausbreitungsvorgängen in der Warnow.

Dissertation, erschienen im Februar 2010, ISBN 978-3-86009-078-7

Band 25

Manja Steinke

Untersuchungen zur Behandlung von Abwässern der Fischverarbeitungsindustrie.

Dissertation, erschienen im Juni 2010, ISBN 978-3-86009-085-5

Band 26

13. DIALOG Abfallwirtschaft MV

Die Kreislauf- und Abfallwirtschaft im Wandel. Wohin gehen die rechtlichen und technischen Entwicklungen?

Tagungsband, erschienen im Juni 2010, ISBN 978-3-86009-087-9

Band 27

4. Rostocker Bioenergieforum

Zukunftstechnologien für Bioenergie

Tagungsband, erschienen im Oktober 2010, ISBN 978-3-940364-12-8

Band 28

Dirk Banemann

Einfluss der Silierung und des Verfahrensablaufs der Biomassebereitstellung auf den Methanertrag unter Berücksichtigung eines Milchsäurebakteriensilierungsmittel

Dissertation, erschienen im Januar 2011, ISBN 978-3-86009-087-9

Band 29

14. DIALOG Abfallwirtschaft MV

Abfall als Wertstoff- und Energiereserve

Tagungsband, erschienen im Juni 2011, ISBN 978-3-940364-18-0

Band 30

5. Rostocker Bioenergieforum

Tagungsband, erschienen im November 2011, ISBN 978-3-940364-20-3

Band 31

8. Rostocker Abwassertagung

Erhöhung der Effektivität von Abwasserentsorgungsanlagen

Tagungsband, erschienen im November 2011, ISBN 978-3-86009-120-3

Band 32

6. Rostocker Bioenergieforum

Tagungsband, erschienen im Juni 2012, ISBN 978-3-940364-27-2

Band 33

Ishan Machlouf

Untersuchungen zur Nitratelimination bei der Trinkwasseraufbereitung unter Berücksichtigung syrischer Verhältnisse

Dissertation, erschienen im März 2013, ISBN 978-3-86009-204-0

Band 34

Ralph Sutter

Analyse und Bewertung der Einflussgrößen auf die Optimierung der

Rohbiogasproduktion hinsichtlich der Konstanz von Biogasqualität und -menge

Dissertation, erschienen im März 2013, ISBN 978-3-86009-202-6

Band 35

Wolfgang Pfaff-Simoneit

Entwicklung eines sektoralen Ansatzes zum Aufbau von nachhaltigen Abfallwirtschaftssystemen in Entwicklungsländern vor dem Hintergrund von Klimawandel und Ressourcenverknappung

Dissertation, erschienen im Mai 2013, ISBN 978-3-86009-203-3

Band 36

7. Rostocker Bioenergieforum

Tagungsband, erschienen im Juni 2013, ISBN 978-3-86009-207-1

Band 37

Markus Helftewes

Modellierung und Simulation der Gewerbeabfallaufbereitung vor dem Hintergrund der Outputqualität, der Kosteneffizienz und der Klimabilanz

Dissertation, erschienen im Oktober 2013, ISBN 978-3-86009-402-0

Band 38

Jan Stefan Riha

Detektion und Quantifizierung von Cyanobakterien in der Ostsee mittels Satellitenfernerkundung

Dissertation, erschienen im Oktober 2013, ISBN 978-3-86009-403-7

Band 39

Peter Helmke

Optimierung der Verarbeitungs-, Gebrauchs- und Entsorgungseigenschaften eines naturfaserverstärkten Kunststoffes unter Berücksichtigung automobiler Anforderungen

Dissertation, erschienen im November 2013, ISBN 978-3-86009-404-4

Band 40

Andrea Siebert-Raths

Modifizierung von Polylactid (PLA) für technische Anwendungen
Verfahrenstechnische Optimierung der Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften

Dissertation, erschienen im Januar 2014 ISBN 978-3-86009-405-1

Band 41

Fisiha Getachew Argaw

Agricultural Machinery Traffic Influence on Clay Soil Compaction as Measured by the Dry Bulk Density

Dissertation, erschienen im Januar 2014 ISBN 978-3-86009-406-8

Band 42

Tamene Adugna Demissie

Climate change impact on stream flow and simulated sediment yield to Gilgel Gibe 1 hydropower reservoir and the effectiveness of Best Management Practices

Dissertation, erschienen im Februar 2014 ISBN 978-3-86009-407-5

Band 43

Paul Engelke

Untersuchungen zur Modellierung des Feststofftransports in Abwasserkanälen: Validierung in SIMBA®

Dissertation, erschienen im Februar 2014 ISBN 978-3-86009-408-2

Band 44

16. DIALOG Abfallwirtschaft MV

Aktuelle Entwicklungen in der Abfall- und Ressourcenwirtschaft

Tagungsband, erschienen im April 2014, ISBN 978-3-86009-410-5

Band 45

8. Rostocker Bioenergieforum, 19.-20. Juni 2014 an der Universität Rostock

Tagungsband, erschienen im Juni 2014, ISBN 978-3-86009-412-9

Band 46

Abschlussbericht Projekt CEMUWA – Climate protection, natural resources management and soil improvement by combined Energetic and Material Utilization of lignocellulosic agricultural Wastes and residues

Projektbericht, erschienen im September 2014, ISBN 978-3-86009-413-6

Band 47

8. Rostocker Baggergutseminar, 24.-25. September 2014 in Rostock
Tagungsband, erschienen im September 2014, ISBN 978-3-86009-414-3

Band 48

Michael Kuhn

Mengen und Trockenrückstand von Rechengut kommunaler Kläranlagen
Dissertation, erschienen im Oktober 2014 ISBN 978-3-86009-415-0

Band 49

9. Rostocker Abwassertagung, Infrastruktur- und Energiemanagement –
ein Geschwisterpaar der Wasserwirtschaft 12. November 2014 in Rostock
Tagungsband, erschienen im November 2014, ISBN 978-3-86009-416-7

Band 50

Mulugeta Azeze Belete

Modeling and Analysis of Lake Tana Sub Basin Water Resources Systems,
Ethiopia

Dissertation, erschienen im Dezember 2014 ISBN 978-3-86009-422-8

Band 51

Daniela Dressler

Einfluss regionaler und standortspezifischer Faktoren auf die Allgemeingültig-
keit ökologischer und primärenergetischer Bewertungen von Biogas

Dissertation, erschienen im Oktober 2014 ISBN 978-3-86009-424-2

Band 52

9. Rostocker Bioenergieforum, 18.-19. Juni 2015 in Rostock

Tagungsband, erschienen im November 2014, ISBN 978-3-86009-425-9

Band 53

Nils Engler

Spurenelementkonzentrationen und biologische Aktivität in NaWaRo-Biogas-
fermentern

Dissertation, erschienen im September 2015 ISBN 978-3-86009-427-3

Band 54

Thomas Schmidt

Möglichkeiten der Effizienzsteigerung bei der anaeroben Vergärung
von Weizenschlempe

Dissertation, erschienen im Oktober 2015 ISBN 978-3-86009-428-0

Band 55

Thomas Dorn

Principles, Opportunities and Risks associated with the transfer of environmental technology between Germany and China using the example of thermal waste disposal

Dissertation, erschienen im Dezember 2015 ISBN 978-3-86009-429-7

Band 56

Uwe Holzhammer

Biogas in einer zukünftigen Energieversorgungsstruktur mit hohen Anteilen fluktuierender Erneuerbarer Energien

Dissertation, erschienen im Dezember 2015 ISBN 978-3-86009-430-3

Band 57

17. DIALOG Abfallwirtschaft MV

Aktuelle Entwicklungen in der Abfall- und Ressourcenwirtschaft,

15. Juni 2016 in Rostock,

Tagungsband, erschienen im Juni 2016, ISBN 978-3-86009-432-7

Band 58

10. Rostocker Bioenergieforum, 16.-17. Juni 2016 in Rostock

Tagungsband, erschienen im Juni 2016, ISBN 978-3-86009-433-4

Band 59

Michael Friedrich

Adaptation of growth kinetics and degradation potential of organic material in activated sludge

Dissertation, erschienen im Juli 2016 ISBN 978-3-86009-434-1

Band 60

Nico Schulte

Entwicklung von Qualitätsprüfungen für die haushaltsnahe Abfallsammlung im Holsystem

Dissertation, erschienen im Juli 2016 ISBN 978-3-86009-435-8

Band 61

Ullrich Dettmann

Improving the determination of soil hydraulic properties of peat soils at different scales

Dissertation, erschienen im September 2016 ISBN 978-3-86009-436-5

Band 62

Anja Schreiber

Membranbasiertes Verfahren zur weitergehenden Vergärung

von feststoffreichen Substraten in landwirtschaftlichen Biogasanlagen

Dissertation, erschienen im Oktober 2016 ISBN 978-3-86009-446-4

Band 63

André Körstel

Entwicklung eines selbstgängigen statischen Verfahrens zur biologischen Stabilisierung und Verwertung organikreicher Abfälle unter extrem ariden Bedingungen für Entwicklungs- und Schwellenländer, am Beispiel der Stadt Teheran
Dissertation, erschienen im Oktober 2016 ISBN 978-3-86009-447-1

Band 64

Ayman Elnaas

Actual situation and approach for municipal solid waste treatment in the Arab region

Dissertation, erschienen im Oktober 2016 ISBN 978-3-86009-448-8

Band 65

10. Rostocker Abwassertagung, Wege und Werkzeuge für eine zukunftsfähige Wasserwirtschaft im norddeutschen Tiefland, 8. November 2016 in Rostock
Tagungsband, erschienen im November 2016, ISBN 978-3-86009-449-5

Band 66

Gunter Weißbach

Mikrowellen-assistierte Vorbehandlung lignocellulosehaltiger Reststoffe
Dissertation, erschienen im November 2016 ISBN 978-3-86009-450-1

Band 67

Leandro Janke

Optimization of anaerobic digestion of sugarcane waste for biogas production in Brazil

Dissertation, erschienen im Mai 2017 ISBN 978-3-86009-454-9

Band 68

11. Rostocker Bioenergieforum, 22.-23. Juni 2017 in Rostock
Tagungsband, erschienen im Juni 2017, ISBN 978-3-86009-455-6

Band 69

Claudia Demmig

Einfluss des Erntezeitpunktes auf die anaerobe Abbaukinetik der Gerüstsubstanzen im Biogasprozess

Dissertation, erschienen im Juli 2017 ISBN 978-3-86009-456-3

Band 70

Christian Koepke

Die Ermittlung charakteristischer Bodenkennwerte der Torfe und Mudden Mecklenburg-Vorpommerns als Eingangsparameter für erdstatische Berechnungen nach Eurocode 7 / DIN 1054

Dissertation, erschienen im Juli 2017 ISBN 978-3-86009-457-0

Band 71

Sven-Henning Schlömp

Geotechnische Untersuchung und Bewertung bautechnischer Eignung von Müllverbrennungsschlacken und deren Gemischen mit Böden

Dissertation, erschienen im Juli 2017 ISBN 978-3-86009-458-7

Band 72

Anne-Katrin Große

Baggergut im Deichbau – Ein Beitrag zur geotechnischen Charakterisierung und Erosionsbeschreibung feinkörniger, organischer Sedimente aus dem Ostseeraum zur Einschätzung der Anwendbarkeit

Dissertation, erschienen im Juni 2017, ISBN 978-3-86009-459-4

Band 73

Thomas Knauer

Steigerung der Gesamteffizienz von Biogasanlagen durch thermische Optimierung

Dissertation, erschienen im Juli 2017, ISBN 978-3-86009-460-0

Band 74

Mathhar Bdour

Electrical power generation from residual biomass by combustion in externally fired gas turbines (EFGT)

Dissertation, erschienen im August 2017, ISBN 978-3-86009-468-6

Band 75

Johannes Dahlin

Vermarktungsstrategien und Konsumentenpräferenzen für Dünger und Erden aus organischen Reststoffen der Biogasproduktion

Dissertation, erschienen im September 2017, ISBN 978-3-86009-469-3

Band 76

Sören Weinrich

Praxisnahe Modellierung von Biogasanlagen

Systematische Vereinfachung des Anaerobic Digestion Model No. 1 (ADM1)

Dissertation, erschienen im März 2018, ISBN 978-3-86009-471-6

Band 77

18. DIALOG Abfallwirtschaft MV

Aktuelle Entwicklungen in der Abfall- und Ressourcenwirtschaft

Tagungsband, erschienen im Juni 2018, ISBN 978-3-86009-472-3

Band 78

12. Rostocker Bioenergieforum

Tagungsband, erschienen im Juni 2018, ISBN 978-3-86009-473-0

Band 79

Tatyana Koegst

Screening approaches for decision support in drinking water supply

Dissertation, erschienen im Juni 2018, ISBN 978-3-86009-474-7

Band 80

Liane Müller

Optimierung des anaeroben Abbaus stickstoffhaltiger Verbindungen durch den Einsatz von Proteasen

Dissertation, erschienen im September 2018, ISBN 978-3-86009-475-4

Band 81

Projektbericht Wasserwirtschaft

KOGGE – **K**ommunale **G**ewässer **G**emeinschaftlich **E**ntwickeln

Ein Handlungskonzept für kleine urbane Gewässer am Beispiel der Hanse- und Universitätsstadt Rostock

Projektbericht, erschienen im September 2018, ISBN 978-3-86009-476-1

Band 82

Adam Feher

Untersuchungen zur Bioverfügbarkeit von Mikronährstoffen für den Biogasprozess

Dissertation, erschienen im Oktober 2018, ISBN 978-3-86009-477-8

Band 83

Constanze Uthoff

Pyrolyse von naturfaserverstärkten Kunststoffen zur Herstellung eines kohlenstoffhaltigen Füllstoffs für Thermoplasten

Dissertation, erschienen im November 2018, ISBN 978-3-86009-478-5

Band 84

Ingo Kaundinya

Prüfverfahren zur Abschätzung der Langzeitbeständigkeit von Kunststoffdichtungsbahnen aus PVC-P für den Einsatz in Dichtungssystemen von Straßentunneln

Dissertation, erschienen im Dezember 2018, ISBN 978-3-86009-484-6

Band 85

Eric Mauky

A model-based control concept for a demand-driven biogas production

Dissertation, erschienen im Januar 2019, ISBN 978-3-86009-485-3

Band 86

Michael Kröger

Thermochemical Utilization of Algae with Focus on hydrothermal Processes

Dissertation, erschienen im Februar 2019, ISBN 978-3-86009-486-0

Band 87

13. Rostocker Bioenergieforum

Tagungsband, erschienen im Juni 2019, ISBN 978-3-86009-487-7

Band 88

12. Rostocker Abwassertagung

Tagungsband, erschienen im September 2019, ISBN 978-3-86009-488-4

Band 89

Philipp Stahn

Wasser- und Nährstoffhaushalt von Böden unter Mischkulturen und

Trockenstress

Dissertation, erschienen im Juli 2019, ISBN 978-3-86009-489-1

Band 90

BioBind: Luftgestützte Beseitigung von Verunreinigungen durch Öl
mit biogenen Bindern

Projektbericht, erschienen im September 2019, ISBN 978-3-86009-490-7

Band 91

Jürgen Müller

Die forsthydrologische Forschung im Nordostdeutschen Tiefland:

Veranlassung, Methoden, Ergebnisse und Perspektiven

Habilitation, erschienen im Oktober 2019, ISBN 978-3-86009-491-4