



**BUND-LÄNDER
MESSPROGRAMM**

**Munitionsbelastung der deutschen Meeressgewässer -
Bestandsaufnahme und Empfehlungen**

CLAUS BÖTTCHER, TOBIAS KNOBLOCH, NIELS-PETER RÜHL, JENS STERNHEIM, UWE WICHERT, JOACHIM WÖHLER





ARGE BLMP Nord- und Ostsee

Auf der 34. Umweltministerkonferenz Norddeutschland am 17. April 1997 sind die zuständigen Ressorts des Bundes und der Länder Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein übereingekommen, für die Zusammenarbeit bei der Überwachung der Meeresumwelt von Nord- und Ostsee eine Arbeitsgemeinschaft Bund/Länder-Messprogramm für die Meeresumwelt von Nord- und Ostsee (ARGE BLMP Nord- und Ostsee) zu bilden.

Mitglieder der ARGE BLMP sind:

- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- Bundesministerium für Bildung und Forschung
- Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt der Freien und Hansestadt Hamburg
- Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern
- Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz
- Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein

Verabschiedet durch Umlaufbeschluss der ARGE BLMP

Stand: 10.11.2011

Der Ergebnisbericht ist als lebendiges und wachsendes Dokument angelegt. Regelmäßige Aktualisierung und fortlaufende Erweiterung sind vorgesehen.

Die aktuelle Fassung des Ergebnisberichts ist verfügbar unter: www.munition-im-meer.de

Impressum

Herausgegeben vom

Sekretariat Bund/Länder-Messprogramm für die Meeresumwelt von Nord- und Ostsee (BLMP)
im Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)
Bernhard-Nocht-Straße 78
20359 Hamburg

Munitionsbelastung der deutschen Meeresgewässer – Bestandsaufnahme und Empfehlungen (Stand 2011)

**Claus Böttcher, Tobias Knobloch, Niels-Peter Rühl,
Jens Sternheim, Uwe Wichert, Joachim Wöhler**

Dieser Ergebnisbericht ist als lebendiges
und wachsendes Dokument angelegt. Regelmäßige Aktualisierung
und fortlaufende Erweiterung sind vorgesehen.

Die aktuelle Fassung
des Berichts ist verfügbar unter:

www.munition-im-meer.de

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung.....	5
1.1	Hintergrund	5
1.2	Einleitung	7
1.3	Dimension des Problems	7
1.4	Erkenntnisse und Bewertungen	11
1.4.1	Munitionsbelastete Flächen	11
1.4.2	Art, Eigenschaften und Menge der subaquatischen Kampfmittel	11
1.4.3	Derzeitiger Zustand und Interaktion subaquatischer Kampfmittel mit dem marinen Milieu	12
1.4.4	Vorkommnisse/Unfälle und Gefährdung durch subaquatische Kampfmittel.....	13
1.4.5	Methoden der Beseitigung.....	15
1.4.6	Überwachung der subaquatischen Kampfmittel	16
1.4.7	Melde- und Berichtswesen	16
1.5	Empfehlungen	18
1.5.1	Historische und technische Erkundungen	18
1.5.2	Überprüfung und Überwachung der Umweltauswirkungen	18
1.5.3	Umgang mit Gefahrensituationen	19
1.5.4	Meldewege und Dokumentation	19
2	Einführung in den Themenbereich.....	21
2.1	Geschichtlicher Zusammenhang.....	22
2.2	Eintragspfade für Munition ins Meer.....	27
2.3	Probleme bei der Recherche.....	28
2.3.1	Generelle Sachlage	28
2.3.2	Qualitative Unzulänglichkeiten und damit verbundene Gefahren	31
2.4	Munition im Meer.....	33
2.4.1	Aus zulänglichen historischen Quellen entnommene Informationen	33
2.4.2	Untersuchungen in Einbringungsgebieten	39

2.5	Internationale Aktivitäten zum Schutz der Meere.....	49
2.5.1	„London Dumping“-Übereinkommen / London-Protokoll	49
2.5.2	OSPAR-Übereinkommen.....	49
2.5.3	Helsinki-Übereinkommen (HELCOM).....	50
2.5.4	EU-Ostseestrategie	52
2.5.5	Weitere Aktivitäten.....	53
3	Eigenschaften der Munition und heutiger Zustand	56
3.1	Deutsche Meere und ihre Eigenschaften	57
3.2	Informationen zu versenkten Kampfmittelarten.....	60
3.2.1	Übersicht.....	60
3.2.2	Besonders relevante Munitionstypen.....	63
3.3	Konventionelle Munition	70
3.3.1	Sprengstoffverbindungen.....	70
3.4	Chemische Munition.....	82
3.4.1	Chemische Kampfstoffe.....	83
3.4.2	Toxikologische Eigenschaften	90
3.4.3	Untersuchungen zur Belastung mit chemischen Kampfstoffen	92
3.5	Phosphor.....	95
4	Bisherige Vorkommnisse und aktuelle Gefährdungslage.....	97
4.1	Bekannte Vorkommnisse und Unfälle	98
4.1.1	Quellen	98
4.1.2	Zusammenstellung von Unfällen in den deutschen Gewässern der Nordsee	99
4.1.3	Bewertung von Unfällen in den deutschen Gewässern	100
4.2	Gefahrenpotential.....	114
4.2.1	Konventionelle Munition.....	114
4.2.2	Chemische Kampfstoffmunition	116
4.2.3	Faktoren einer Gefährdungsbeurteilung.....	117
4.2.4	Beispiele für Tätigkeiten mit erhöhtem Risiko.....	119

4.3 Informationen für Risikogruppen	129
5 Überwachung der Umweltauswirkungen	130
5.1 Chemisches Monitoring der Meere in Deutschland.....	130
5.2 Problematik des STV-Monitorings im marinen Milieu.....	131
6 Methoden der Beseitigung.....	135
6.1 Detektion	135
6.2 Maßnahmen zum Schutz von Meeressäugern.....	138
6.3 Beseitigungsmaßnahmen.....	139
6.3.1 Klassische Vorgehensweise: Abbrennen von Sprengkörpern mittels Thermit ..	139
6.3.2 Aktuelle Weiterentwicklung von Methoden zur Kampfmittelbeseitigung.....	140
7 Gemeinsames Melde- und Berichtswesen	146
7.1 Bedingungen und Meldeverpflichtungen	146
7.2 Verfahren	147
7.3 Produkte.....	149
8 Glossar	150
9 Quellenverzeichnis	155
10 Anhang	167
10.1 Mitglieder der Arbeitsgruppe	168
10.2 Munitionsbelastete Gebiete in deutschen Meeresgewässern	171
10.3 Informationen für Risikogruppen – Munitionserkennungsblatt	171
10.4 Externe Berichte und Gutachten	171
10.4.1 National.....	171
10.4.2 International	172

1 Kurzfassung

1.1 Hintergrund

Spätestens seit dem Ende des 2. Weltkriegs beschäftigt das Thema „alte Munition“ in den Meeren Medien, Gesellschaft und Politik in unregelmäßigen Intervallen. Einen Meilenstein stellte hierbei die 1993 vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) herausgegebene Studie „*Chemische Kampfstoffmunition in der südlichen und westlichen Ostsee*“ dar. Diese Publikation ist, trotz ihrer thematischen Beschränkung auf die Ostsee, seit mehr als 15 Jahren für deutsche Gewässer **das** Standardwerk zu im Meer versenkter chemischer Munition, zumal eine thematische und geografische Ausweitung bisher nicht erarbeitet wurde.

Die Erkenntnis, dass eine Aktualisierung der damaligen Befunde sowie die thematische Erweiterung auf konventionelle Munition inzwischen überfällig ist, führte am 29.05.2008 zu einer Einladung des schleswig-holsteinischen Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume (MLUR), die das Ziel hatte, dieses Thema neu anzugehen. Teilnehmer waren damals Herr Dr. Witte (WSD Nord), Herr Jochen Hinz (WSD Nord), Herr Prof. Dr. Peter Ehlers (BSH), Herr Horst Hecht (BSH), Herr Axel Lüdders (Innenministerium SH), Herr Bernd Lohse (Innenministerium SH), sowie die Herren Dietmar Wienholdt und Dr. Bernd Scherer vom MLUR. In der abgestimmten Ergebnisniederschrift des Treffens heißt es unter anderem:

„Nach ausführlicher Erörterung herrschte zwischen den Gesprächsteilnehmern Einigkeit, dass die Zusammenarbeit zwischen Bund und Land und zwischen den beteiligten Institutionen gut und erfolgreich läuft, dass die jeweiligen Zuständigkeiten klar geregelt und den Beteiligten bekannt sind, dass derzeit kein Zweifel besteht an der generellen Situationseinschätzung, die sich unter anderem aus den Feststellungen des BSH, von HELCOM und dem Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) ergibt, und nach der das Belassen von Altmunition im Meer i.d.R. die vernünftigste Entscheidung ist. Gleichwohl stellten die Gesprächsteilnehmer fest, dass eine Zusammenführung und Aktualisierung des bei den beteiligten Institutionen verteilten Wissens fehlt und gemeinsam erstellt werden sollte. Sie beschließen, dafür und zur gemeinsamen Umsetzung ggf. weiterer Schritte eine kleine Arbeitsgruppe einzusetzen. Die Gesprächsteilnehmer legen als Auftrag an die Arbeitsgruppe fest: Aktuali-

sierung und Erweiterung der Studie „Chemische Kampfstoffmunition in der südlichen und westlichen Ostsee“ (1993 herausgegeben vom BSH) - räumlich auf die deutschen Hoheitsgewässer und die AWZ in Nord- und Ostsee, thematisch auf konventionelle Munition. Vorlage einer darauf basierenden internen Bewertung und eines Verfahrensvorschlages an die Behördenchefs und Abteilungsleiter.“

Als Ergebnis dieser Besprechung wurde die AG „Munitionsaltlasten¹ im Meer“ eingerichtet, die sich nach und nach um Vertreterinnen und Vertreter der zuständigen Ministerien aus den Küsten-Bundesländern und aus Bundesbehörden vergrößerte (eine Teilnahmeliste findet sich in Anhang 10.1.).

Am 26.01.2009 befasste sich dann die ARGE BLMP (Arbeitsgemeinschaft Bund/Länder-Messprogramm) als oberstes Aufsichtsgremium des gemeinsamen Bund/Länder-Messprogramms für die Meeresumwelt von Nord- und Ostsee mit der AG „Munitionsaltlasten im Meer“ und beschloss unter anderem:

„Die ARGE BLMP begrüßt die von Schleswig-Holstein initiierten Aktivitäten mit den übrigen Küstenländern und den Fachbehörden des Bundes. Die ARGE BLMP beschließt, die AG „Munitionsaltlasten im Meer“ künftig als BLMP ad-hoc AG weiterzuführen und bittet die BLMP-Einrichtungen, die ad-hoc AG bei deren Arbeitsauftrag in weitestgehend möglichem Umfang zu unterstützen. Die ARGE BLMP bittet darum, dass sich Vertreter der obersten Behörden des Bundes an den Arbeiten der AG beteiligen.“

Die daraufhin erfolgende Beteiligung der Bundesregierung in der AG stellte sich als wichtiger Schritt vorwärts heraus.

Mit diesem Bericht wird das heute verfügbare Wissen über chemische und konventionelle Munition in der deutschen Nord- und Ostsee verfügbar gemacht. Auf Grundlage einer aktuellen Bestandsaufnahme werden eine Bewertung der Situation vorgelegt und Empfehlungen unterbreitet.

¹ Der Begriff „Altlasten“ ist hier umgangssprachlich und nicht als nach Bundesbodenschutzrecht definierte Terminologie zu verstehen: Das Meer gehört nicht zum Geltungsbereich dieses Gesetzes.

1.2 Einleitung

Die heutige Gesellschaft nimmt die Schrecken des Kriegs überwiegend nur noch über mediale Aufbereitungen von Film-, Foto- und Schriftdokumenten wahr. Gleichwohl sind die Vermächtnisse vergangener Kriege Bestandteil unserer Gegenwart, in Deutschland und in sehr vielen anderen Ländern der Erde.

Wenn eine Fliegerbombe nach Jahrzehnten im Boden versehentlich zur Explosion gebracht wird, dabei Menschen verletzt und tötet, oder weißer Phosphor aus einer Brandbombe an einem deutschen Badestrand angeschwemmt wird und arglosen Bernsteinsuchern nach dem Aufsammeln die Haut verbrennt, fordern vergangene Kriege weitere Opfer. Solche Ereignisse sind in ihrer Tragik offensichtlich und haben ihre Ursache in den Hinterlassenschaften der Weltkriege. Weniger offensichtlich sind die Wechselwirkungen von „entsorgter“ Munition mit der Umwelt, wobei vor allem die Meere, die Binnengewässer und der Boden betroffen sind. Unser Wissen über das Ausmaß der Belastung mit Kampfmitteln und deren Auswirkung auf das Ökosystem ist nach wie vor begrenzt. Hier setzt dieser Bericht an und schafft die Grundlage für einen systematischen Ansatz zum Umgang mit Munition in unseren Meeren.

1.3 Dimension des Problems

Im Rahmen der Betrachtung von Belastungen mit Munition wird generell nach Art der enthaltenen Wirkmittel zwischen konventioneller und chemischer Munition unterschieden (Abbildung 1). Zwar enthalten alle Munitionstypen chemische Inhaltsstoffe, jedoch bestehen grundlegende Unterschiede in ihrer Wirkung und dem damit verbundenem Einsatzzweck.

Während konventionelle Munition Sprengstoffe oder Brandmittel (z.B. weißen Phosphor) enthält und ihre Wirkung dementsprechend durch Detonation oder Inbrandsetzung entfaltet, zeichnet sich chemische Munition durch eine Füllung mit chemischem Kampfstoff aus. Ihr Einsatzzweck ist nicht die Zerstörung von Infrastruktur, sondern vielmehr direkt eine vorübergehende oder endgültige Außergefechtsetzung von Menschen durch die vom Typ des Kampfstoffs abhängige Giftwirkung. Zusätzlich ist die psychologische Komponente der Art und des oftmals verzögerten Auftretens offensichtlicher Verletzungen (z.B. Blasenbildung der Haut) hervorzuheben. Im Gegensatz zu den Inhaltsstoffen konventioneller Munition erscheint die Gefährdung von

Mensch und Umwelt durch chemische Kampfstoffe demnach offensichtlich, weshalb dieser Art von Munition in der Vergangenheit besondere Aufmerksamkeit zuteilwurde. Mit Hinblick auf die betreffenden Mengen verlangt jedoch insbesondere die konventionelle Munition eine eingehendere Betrachtung.

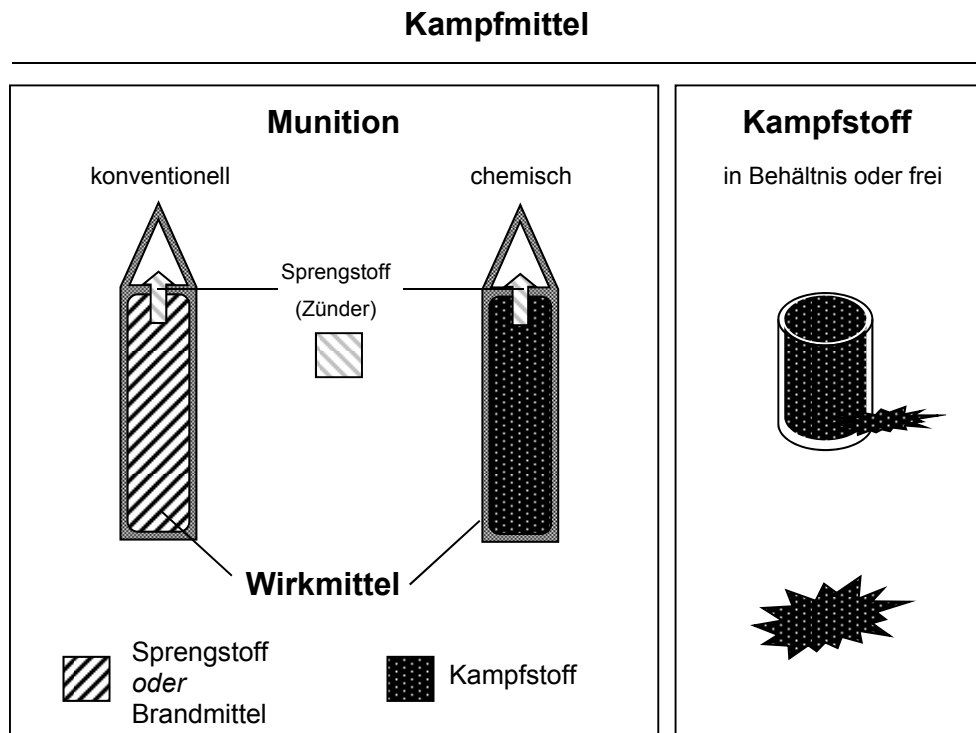


Abbildung 1: Begriffserläuterung konventionelle und chemische Kampfmittel bzw. Munition.

Im Bericht wird in umgangssprachlicher Weise an vielen Stellen der traditionelle, auch in Seekarten benutzte Begriff „Munition“ verwendet und dem umfassenderen Begriff „Kampfmittel“ vorgezogen. Im Rahmen einer Beschreibung genereller Sachverhalte (z.B. Munitionsversenkungsgebiete) werden andere Kampfmittel durch die Verwendung des Begriffs „Munition“ nicht explizit ausgeschlossen.

Angaben über die Menge der versenkten Munition sind widersprüchlich. Geschätzt wird, dass Mengen in der Größenordnung von bis zu 1.800.000 t in deutschen Meeresgewässern versenkt wurden. Nach der Versenkung wurden beträchtliche Mengen wieder aus dem Meer geholt und vernichtet: Während Fischer bis 1952 eine nicht quantifizierbare Menge bargen, führten in den Folgejahren bis 1958 Entsorgungsfirmen die Bergung und Verschrottung von schätzungsweise insgesamt 250.000 t vormals versenkter Munition durch. Es ist anzunehmen, dass noch bis zu 1,6 Mio. t kon-

ventionelle Munition in deutschen Gewässern der Nord- und Ostsee vorhanden sind, davon rund 1.300.000 t allein im Nordseebereich.

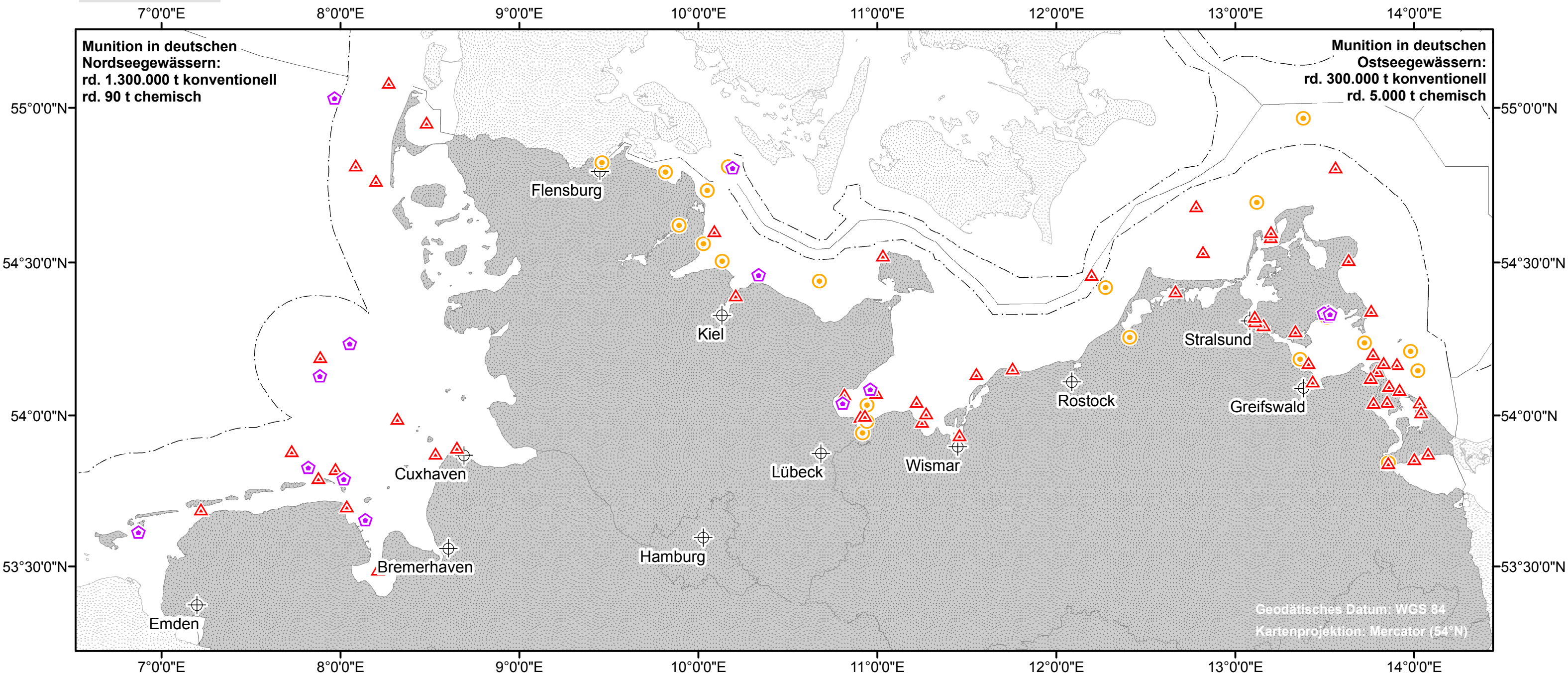
Die vorhandenen Informationen über die Versenkung chemischer Munition weisen zwar Lücken auf, ergeben aber ein deutlich umfangreicheres und detaillierteres Lagebild als dies nach heutigem Kenntnisstand für die konventionelle Munition möglich ist. Demnach sind nach gesicherten Erkenntnissen rund 170.000 t chemische Kampfstoffmunition in der Nordsee (Skagerrak, europäisches Nordmeer, deutsche Bucht) sowie 42.000 bis 65.000 t in der Ostsee (Bornholm-Becken, Gotland-Becken, Kleiner Belt) versenkt worden. Von dieser Gesamtmenge befinden sich rund 90 t in deutschen Meeresgewässern vor Helgoland, und rund 5.000 t südlich des Kleinen Belts zwischen Deutschland und Dänemark in unmittelbarer geografischer Nachbarschaft zur deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ). Im Detail wurden im so genannten Helgoländer Loch mit rund 12 t des Nervenkampfstoffs Tabun gefüllte Artilleriegranaten (rund 6.000 Stück, ca. 90 t) versenkt. Im Bereich des Kleinen Belts liegen noch rund 5.000 t mit Tabun und Phosgen gefüllte Bomben und Granaten. Weitere, dort zunächst versenkte Tabun-Granaten (69.000 Stück, ca. 1.000 t) wurden 1959/60 gehoben und im Golf von Biskaya versenkt. Neben diesen bekannten Versenkungsgebieten ist weiterhin zu vermuten, dass auf den Zufahrtswegen vom deutschen Verladehafen Wolgast zum damaligen, bestimmungsgemäßen Versenkungsgebiet im Bornholm-Becken noch vereinzelt Munition vorhanden ist. Vage Hinweise über weitere Versenkungen konnten bislang nicht verifiziert werden.

Für eine übersichtliche Kartendarstellung des Sachverhalts muss ein Bogen über Flächen geschlagen werden, für die teils eine Munitionsbelastung von wenigen bis hin zu tausenden Tonnen bekannt ist, teils aber auch nur auf Basis eines begründeten Verdachts vermutet wird (Abbildung 2). Die damit einhergehende Vereinfachung des Sachverhalts ist zunächst nötig, wird jedoch in Anhang 10.2 durch Detailinformationen und Flächenangaben zu den einzelnen Gebieten ergänzt.

Abbildung 2: Vereinfachte Übersichtskarte der Lage munitionsbelasteter Flächen in deutschen Meeresgewässern (nachfolgende Seite).

Vereinfachte Übersichtskarte der Lage munitionsbelasteter Flächen in deutschen Meeresgewässern

Achtung! Anzahl bzw. Dichte der Symbole geben nicht die Größenordnung der etwaigen Munitionsbelastung wieder!



Legende

- Munitionsversenkungsgebiet
- munitionsbelastete Fläche
- Munitionsverdachtsfläche
- Seewärtige Begrenzung des Küstenmeeres
- Grenze der Ausschließlichen Wirtschaftszone



Im Rahmen dieser Studie wird folgende Unterscheidung getroffen:
In ehemaligen Munitionsversenkungsgebieten ist der Eintrag dort lagernder Kampfmittel auf eine dokumentierte Nutzung zur offiziellen Verklappung zurückzuführen. Innerhalb munitionsbelasteter Flächen sind Kampfmittelfunde dokumentiert, die Art der Einbringung erfolgte jedoch nicht über offizielle Verklappungsmaßnahmen (sondern z.B. Schiffshavarien) oder ist nicht dokumentiert. Für Munitionsverdachtsflächen besteht ein begründeter Verdacht der Anwesenheit von Kampfmitteln.

1.4 Erkenntnisse und Bewertungen

1.4.1 Munitionsbelastete Flächen

1. Die im Rahmen dieses Berichts erstellte Karte (Abbildung 2, für Detailansichten siehe Anhang 10.2) weist 21 munitionsbelastete Flächen (davon 7 Munitionsversenkungsgebiete) in deutschen Meeresgewässern der Nordsee sowie 50 munitionsbelastete Flächen (davon 8 Munitionsversenkungsgebiete) und 21 Verdachtsflächen im Ostseebereich aus.
2. Es ist davon auszugehen, dass nach wie vor nur ein geringer Teil der tatsächlich durch Kampfmittel belasteten Flächen bekannt ist. Die Informationslage ist lückenhaft. Fakten wurden nur teilweise dokumentiert und viele in Archiven vorhandene Berichte konnten bis heute noch nicht aufgearbeitet werden.

Für Mecklenburg-Vorpommern fehlen zum Beispiel belastbare Daten zu Versenkungsmaßnahmen aus der Zeit nach 1945, auf deren Durchführung jedoch Aussagen von Zeitzeugen hinweisen.

1.4.2 Art, Eigenschaften und Menge der subaquatischen Kampfmittel

1. Generelle Informationen über die verschiedenen Arten und Eigenschaften von konventionellen und chemischen Wirkmitteln, Waffen und Munition sind in befriedigender Weise vorhanden und zugänglich (s. Kap. 3).
2. Als unbefriedigend stellt sich die Sachlage hinsichtlich der Quantität einstmals versenkter und teils bereits wieder geborgener Kampfmittel dar. Da insbesondere für den Ostseebereich nur wenig detaillierte und somit lückenhafte Angaben vorliegen, kann keine genaue Aussage zur tatsächlichen Menge der heute noch im Meer befindlichen Kampfmittel gemacht werden:
 - Die Menge der in deutschen Meeresgewässern lagernden konventionellen Kampfmittel wird auf bis zu 1.600.000 t geschätzt. Für die deutschen Nordseegewässer wird eine Belastung von bis zu 1.300.000 t angenommen. Für die deutschen Ostseegewässer haben Behörden bisher eine Belastung von bis zu 300.000 t kommuniziert. Aufgrund der unklaren

Datenlage für den Ostseebereich muss diese Schätzung allerdings als wenig belastbar angesehen werden.

- Die Informationslage für chemische Kampfmittel ist erheblich besser:

Im Helgoländer Loch liegen ca. 90 t dort versenkte, mit dem Nervenkampfstoff Tabun gefüllte Artilleriegranaten. Im Kleinen Belt lagern derzeit noch ca. 5.000 t mit Phosgen sowie Tabun gefüllte Kampfstoffmunition (Bomben und Granaten), begraben in einer bis zu 8 m mächtigen Sedimentschicht. Weitere, dort zunächst versenkte rund 1.000 t Tabun-Granaten wurden bereits 1959/1960 wieder gehoben. Es ist anzunehmen, dass auf den ehemaligen Zufahrtswegen vom Verladehafen Wolgast in das Versenkungsgebiet des Bornholm-Beckens sehr vereinzelt weitere Munition vorhanden ist.

1.4.3 Derzeitiger Zustand und Interaktion subaquatischer Kampfmittel mit dem marinen Milieu

1. Im Rahmen der bisherigen Untersuchungen wurden sowohl intakte Kampfmittel als auch vollständig korrodierte Hüllen ohne Wirkmittel gefunden. Belastbare Aussagen über bereits stattgefundene und zukünftig noch zu erwartende Korrosionsraten und die damit verbundene Freisetzung von Wirkmitteln in Wasser und Sediment sind nicht möglich.

Die Korrosion von subaquatischen Kampfmittelkörpern kann aufgrund der diesem Prozess innewohnenden komplexen Zusammenhänge nicht generalisierend bewertet werden. Es müssten für jeden Lageort zahlreiche Parameter betrachtet werden, die von den grundlegenden Eigenschaften der subaquatischen Kampfmittelkörper wie Materialzusammensetzung und Hüllenstärke, über die lokalen Gegebenheiten der Umgebung und die Lage des einzelnen Kampfmittels, bis hin zu den physikochemischen Gegebenheiten des umgebenden Wassers beziehungsweise Sediments reichen.

2. Ein schlagartiges und gleichzeitiges Aufbrechen mehrerer noch intakter Kampfmittelhüllen als Folge von Korrosion, gefolgt von einer konzentrierten Freisetzung der enthaltenen Wirkmittel in die marine Umgebung ist aufgrund

der Diversität an Behältnistypen, Lageorten und lokalen Umgebungsbedingungen sehr unwahrscheinlich. Eine räumlich breit gestreute und zeitlich sukzessive Freisetzung der Wirkmittel (einschließlich Kampfstoffe) über Jahre oder Jahrzehnte hinweg aus nahezu allen bisher noch ausreichend intakten Behältnissen im Rahmen von Korrosion ist allerdings als wahrscheinlich anzusehen.

Einzelne, ungeklärte Ereignisse in deutschen Gewässern wurden mit Selbstdetonationen in Zusammenhang gebracht. Eine Freisetzung größerer Mengen sprengstofftypischer Verbindungen im Wege einer Selbstdetonation bewerten die Kampfmittelräumdienste für deutsche Gewässer als sehr unwahrscheinlich.

3. Freigesetzte Wirkmittel bzw. Munitionsinhaltsstoffe interagieren mit der marinen Umwelt in Abhängigkeit ihrer chemischen Eigenschaften sowie der physikochemischen Parameter der lokalen Umwelt. Während bestimmte Verbindungen zur schnellen Reaktion mit Wasser (Hydrolyse) neigen und nur kurzzeitig in der marinen Umgebung vorkommen, ist ein langfristiges Verweilen (Persistenz) von in Wasser nur schwer löslichen oder gegenüber Hydrolyse unempfindlichen Verbindungen möglich. Obwohl sich aus einer denkbaren Persistenz prinzipiell auch die Möglichkeit einer Bioakkumulation (Anreicherung in Lebewesen, vor allem im Rahmen der Nahrungskette) dieser Substanzen oder ihrer Folgeprodukte ergibt, haben wiederholt durchgeführte Untersuchungen diese Vermutung bisher nicht bestätigen können.

1.4.4 Vorkommnisse/Unfälle und Gefährdung durch subaquatische Kampfmittel

1. In deutschen Küstengewässern der Nord- und Ostsee sowie der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) vorgekommene Unfälle und Zwischenfälle mit subaquatischen Kampfmitteln wurden von verschiedenen Autoren, unter anderem Dr. Stefan Nehring und Dr. Marc Koch, recherchiert und dokumentiert. Offiziell überprüfte Aufstellungen über Unfälle in den deutschen Küstengewässern und der AWZ liegen aufgrund fehlender personeller und zeitlicher Ressourcen bisher nicht vor.

Die Anzahl der Vorkommnisse hat im Laufe der Jahre in beiden Meeren abgenommen. Die Mehrzahl, insbesondere von Unfällen mit Todesfolge, ereignete sich in den Jahren nach dem 2. Weltkrieg bis ca. 1960. Aktuell wird jedoch immer wieder aus Brandbomben stammender, weißer Phosphor an den Stränden Usedom aufgefunden, der in seinem Erscheinungsbild als Bernstein fehlinterpretiert und aufgesammelt werden kann. Phosphorbrocken entzünden sich nach erfolgter Trocknung selbst, was zu Unfällen führt, die entsprechend insbesondere Strandbesucher betreffen. In den übrigen Gebieten der Nord- und Ostsee sind Funde weißen Phosphors an Stränden bisher nur vereinzelt registriert worden.

2. Gefährdungen sind prinzipiell gegeben, wenn Munition absichtlich (zum Beispiel zwecks Untersuchung) oder unabsichtlich (zum Beispiel durch Fischerei mit Grundschleppnetzen) gehoben wird, als Folge möglicherweise explodiert und die Inhaltsstoffe freisetzt, wenn Munition oder Wirkmittel (z.B. Phosphor) durch Strömung an die Küsten gelangen und dort unsachgemäß behandelt werden, wenn ein direkter Kontakt mit den Inhaltsstoffen der Munition zustande kommt, oder Meeresprodukte (z.B. Fische) durch Inhaltsstoffe der Munition kontaminiert werden.
3. Im hier betrachteten Zusammenhang sind Kampfmittel grundsätzlich als latente Gefahrenquellen anzusehen, die eine Gefährdung für Tätigkeiten im marinen Bereich, die Umwelt und den Küstenbereich darstellen.
 - Eine Gefährdung strandnaher Küstenbereiche ist aufgrund der Strömungsverhältnisse in Nord- und Ostsee unwahrscheinlich.

Mit Ausnahme der Funde von weißem Phosphor, insbesondere im Bereich Usedom, sind nur wenige Fälle des Auffindens von Kampfmitteln in strandnahen Bereichen bekannt (gefolgt von entsprechenden Beseitigungsmaßnahmen). In diesen Fällen kann es bei einem Aufeinandertreffen von Kampfmitteln beispielsweise mit Badegästen, Schnorchlern und Tauchern zu Gefahrensituationen kommen.

- Eine latente Gefährdung besteht für die Seefahrt im Allgemeinen sowie für Personen, die im marinen Bereich unter direktem und indirektem Grundkontakt tätig sind [z.B. in den Bereichen Taucherei, (Schleppnetz-) Fischerei, bei seeseitigen Bauvorhaben wie dem Bau von Offshore-Anlagen, Pipeline-Verlegungen und Fahrrinnenanpassungen].
4. Untersuchungen zu den ökologischen Gefahren subaquatischer Kampfmittel sind bisher nur vereinzelt durchgeführt worden. Alle vorliegenden Ergebnisse bestätigen die Einschätzung, dass bisher keine erhebliche, großräumige Belastung der Meeresumwelt durch Kampfmittel beziehungsweise deren Komponenten stattgefunden hat, und wahrscheinlich auch nicht zu erwarten ist.
- Sowohl die betreffenden konventionellen, als auch die chemischen Wirkmittel gelten größtenteils als wassergefährdende Stoffe (s. Kap. 3). Sie weisen i. d. R. eine hohe Toxizität und ein hohes ökotoxisches Potenzial auf und stehen insbesondere im Verdacht, krebserzeugende, erbgutverändernde und/oder die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigende bzw. das Kind im Mutterleib schädigende Wirkungen zu zeigen (so genannte CMR-Stoffe – cancerogen (kanzerogen), mutagen, reproduktionstoxisch).
 - Eine Gefährdung des Verbrauchers durch möglicherweise kontaminierte marine Produkte, insbesondere Nahrungsmittel, ist nach derzeitigem Kenntnisstand als äußerst unwahrscheinlich einzuschätzen. Es sind keine in diese Richtung deutenden, konkreten Belege bekannt (siehe Kap. 4.2.4.5).

1.4.5 Methoden der Beseitigung

1. Methoden zur Detektion und Beseitigung von Kampfmitteln sind insbesondere im letzten Jahrzehnt weiterentwickelt worden (s. Kapitel 6). Technische Möglichkeiten zur Beseitigung im Meer lagernder Kampfmittel stehen heute weitgehend zur Verfügung. Ihre Anwendbarkeit ist von den jeweils vorherrschenden Rahmenbedingungen abhängig und im Einzelfall zu prüfen.

Eine Minderung der Schallemission bei der absichtlichen Sprengung konventioneller Kampfmittel und eine Reduzierung der damit einhergehenden Gefährdung heimischer Meeressäuger konnte durch den Einsatz von Blasenvorhängen erreicht werden. Weiterhin wurden Versuche zum marinen Einsatz der Wasserstrahlschneidetechnik bei Sanierungen von subaquatischen „Kampfmittelaltlasten“ direkt am Fundort unternommen. Die Anpassung von unbemannten Tauchrobotern auf die Anforderungen an den Umgang mit Kampfmitteln im marinen Bereich ist weitgehend erfolgt.

1.4.6 Überwachung der subaquatischen Kampfmittel

1. Weltweit wächst in der letzten Dekade die Zahl der Untersuchungen und Bewertungen zur im Meer vorhandenen Munition. Die Mehrzahl der Studien befasst sich mit chemischen Kampfstoffen.

In den deutschen Meeresgewässern sind einige Untersuchungen zu den Belastungen und ökotoxikologischen Auswirkungen konventioneller Munition durchgeführt worden. Die Konzentrationen der sprengstofftypischen Verbindungen im Wasser lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Dies traf im Wesentlichen auch auf die untersuchten Sediment- und Biotaprobe zu: Nur vereinzelt konnten im Sediment sprengstofftypische Verbindungen nachgewiesen werden, deren Konzentration allerdings meist nur geringfügig über der Bestimmungsgrenze lag.

2. Eine Dauerbeobachtung (Monitoring) der Meeresumwelt auf kampfmittelbeziehungweise sprengstofftypische Verbindungen und deren Auswirkungen auf die Meeresumwelt findet bisher nicht statt.

1.4.7 Melde- und Berichtswesen

1. In Deutschland nehmen verschiedene Stellen die Meldung von Munitionsfunden entgegen. Es gibt keine zentrale Stelle, an der das Berichtswesen koordiniert und alle Meldungen zusammengeführt werden. Dies erschwert den Prozess der für Deutschland verpflichtenden und international vereinbarten Meldungen an die entsprechenden Kommissionen (OSPAR, HELCOM).

Gesamtbewertung

Derzeit ist nicht erkennbar, dass eine großräumige Gefährdung der marinen Umwelt über den lokalen Bereich der munitionsbelasteten Flächen hinaus vorhanden oder zukünftig zu erwarten ist. Eine Gefährdung besteht jedoch punktuell für Personengruppen, die im marinen Bereich der Nord- und Ostsee mit Grundberührung tätig sind.

1.5 Empfehlungen

1.5.1 Historische und technische Erkundungen

- Bereitstellung nötiger Kapazitäten, um in Archiven vorhandene Informationen zu Einbringungsorten sowie Art und Menge der versenkten Kampfmittel auszuwerten.

Miteinzubeziehen sind dabei möglichst auch die Archive der ehemaligen Alliierten, unter deren Aufsicht vielfach Versenkungen vorgenommen wurden.

- Eingehendere Untersuchung von im Rahmen gezielter Untersuchungen oder durch Zufallsfunde unter der Meeresoberfläche entdeckter Kampfmittelverdachtsobjekte. Inbesondere: Bitte an die Deutsche Marine zur weiteren Untersuchung der vier noch nicht eindeutig identifizierten Objekte im Bereich des Zufahrtsskorridors zum Munitionsversenkungsgebiet Bornholm-Becken.
- Prüfung, ob und ggf. mit welcher Priorisierung und Methodik eine systematische Lageerkundung subaquatischer Kampfmittel in deutschen Hoheitsgewässern durchgeführt werden sollte.

1.5.2 Überprüfung und Überwachung der Umweltauswirkungen

- Entwicklung geeigneter Methoden zur Bewertung und Überwachung von munitionsbelasteten, subaquatischen Flächen, da Notwendigkeit zur Verbesserung der Datenlage zu Umweltauswirkungen subaquatischer Kampfmittel besteht. Dabei Fokussierung auf Untersuchung und Bewertung des Gefahrenpotentials der strandnahen sowie der größten munitionsbelasteten Flächen.

Die bisher auf Einzelbefunden basierende Einschätzung der Gesamtsituation sollte durch weitere Untersuchungen abgesichert werden. Weiterhin sollten Untersuchungen zum Korrosionsverhalten verschiedener Munitionsarten mit dem Ziel durchgeführt werden, letztendlich belastbare Aussagen über die korrosionsbedingte

Freisetzung von kampfmitteltypischen Verbindungen in Wasser beziehungsweise Sediment zu erhalten.

- Auf Grundlage der o.a. Überprüfung und Bewertung von munitionsbelasteten Flächen unter Berücksichtigung ökologischer, ökonomischer und technischer Aspekte Entscheidung über ggf. weiteren Handlungsbedarf. Übergeordnete Fragestellung jeder Überprüfung und Bewertung ist, ob unmittelbare Gefahren abzuwehren sind. Weitere Optionen bis hin zu einer Sanierung können auf Basis der Empfehlungen abgewogen werden.

1.5.3 Umgang mit Gefahrensituationen

- Aussprechen eines Fischereiverbots für das ehemalige Munitionsversenkungsgebiet Helgoländer Loch, für das bereits der Hinweis „unrein (Gasmunition)“ in den Seekarten vermerkt ist.
- Überprüfung und gegebenenfalls Entwicklung von Merkblättern und Verhaltensmaßregeln für betroffene, besonders gefährliche Tätigkeiten mit direktem oder indirektem Grundkontakt sowie Sicherstellung der öffentlichen Verfügbarkeit entsprechender Informationen.
- Sicherstellung der adäquaten Verfügbarkeit des von der AG für das „Auffischen und Auffinden von Munition“ entwickelten Empfehlungs- und Hinweismerkblattes.
- Kontinuierliche Erweiterung des Handlungsspielraums der Kampfmittelbeseitigung durch neue, alternative Verfahren auf Basis der Integration aktueller technologischer Entwicklungen.

1.5.4 Meldewege und Dokumentation

- Weiterentwicklung der Meldewege und des Berichtswesen in Deutschland: Schaffung einer zentralen registrierenden Stelle, an die zur Dokumentation alle in der deutschen Nord- und Ostsee auftretenden Ereignisse gemeldet werden.

Die zusammengestellten Daten sollten für weitere Zwecke zur Verfügung gestellt werden, zum Beispiel für periodische Meldungen im Rahmen internationaler Abkommen (OSPAR, HELCOM).

2 Einführung in den Themenbereich

Innerhalb der deutschen Küstengewässer liegende Munition nach Position, Art und Menge zu erfassen ist ein ehrgeiziges Ziel. Die zu einzelnen munitionsbelasteten Flächen vorhandenen Informationen unterscheiden sich stark in Qualität und Quantität. Entsprechend sind genaue und endgültige Aussagen über Art, Position sowie insbesondere über die Menge der versenkten Munition nicht möglich. Viele Erkenntnisse ergeben sich aus Aufzeichnungen und Erinnerungen der an den Maßnahmen beteiligten Mitarbeiter, sowie aus allgemein zugänglichen Unterlagen über besondere Ereignisse (zum Beispiel Explosionsunfälle in Munitionszerlegebetrieben). Eine nachträgliche Erkundung erfolgte nicht in allen belasteten Gebieten in gleicher Weise.

Wie bereits durch die Unterteilung munitionsbelasteter Flächen in Munitionsversenkungsgebiete und andere munitionsbelastete Gebiete angedeutet, beschränkt sich die Position versenkter Munition nicht allein auf die ehemaligen, ausgewiesenen Versenkungsgebiete. Zudem lassen sich die munitionsbelasteten Flächen, und dabei insbesondere die ausgewiesenen Munitionsversenkungsgebiete, nicht klar abgrenzen. Fachleute gehen von einem Radius von 3 bis 5 km um das jeweilige Areal aus, in dem noch mit gezielt versenkter Munition gerechnet werden muss. Dies ist einerseits auf eine nachträgliche Verteilung der versenkten Munition zurückzuführen, beispielsweise durch Grundschleppnetzfisherei. Andererseits waren die Versenkungsmaßnahmen bedingt durch damalige Navigationsmethoden oder fehlende Sorgfalt bei der Durchführung nicht sehr positionstreu. So stand die Versenkung von Kampfmitteln auf See nach dem 2. Weltkrieg zwar unter alliierter Aufsicht. Diese Kontrolle beschränkte sich aber weitgehend auf den Umschlag in Seehäfen wie beispielsweise Emden, Wilhelmshaven, Nordenham und möglicherweise auch Cuxhaven. Eine Beaufsichtigung der Munitionsentsorgung in den Zielgebieten erfolgte dagegen überwiegend nicht, so dass erhebliche Mengen an Munition die Versenkungsgebiete gar nicht erreichten, weil sie bereits während der Fahrt dorthin über Bord geworfen wurden.

2.1 Geschichtlicher Zusammenhang

Die beiden Meere Nordsee und Ostsee sind seit je her Schauplatz von Kriegshandlungen gewesen. Der für Munitionsaltlasten zu betrachtende Bereich erstreckt sich aber nur auf den Zeitraum ab 1870/71, also rund 140 Jahre. In dieser Zeit entwickelten sich Wissenschaft und Technologie, und damit auch Waffen und ihre Wirkung, erheblich fort. Die Umstellung der Artillerie vom Vorderlader auf Hinterladergeschütze war erfolgt, Granaten mit komplexeren Zündern für die Sprengladung und Treibladungen in Hülsen waren im Gebrauch. Diese modernen Geschütze wurden nun bei der Artillerie, sowohl mobil an Land und zur See, als auch fest installiert, zum Beispiel auf Festungen, eingesetzt. Mit dem Aufbau der Flotte im Kaiserreich entstanden später auch Übungsgebiete für die Ausbildung der aufwachsenden Marine. Die Schiffsartillerie übte vielfach mit scharfen Granaten, aber auch mit Vollgeschossen, also „ungefährlicher“ Übungsmunition. Darüber hinaus wurden Torpedos, Minen und andere maritime Waffen im Rahmen der Entwicklung erprobt und zu Übungszwecken eingesetzt.

Parallel erfolgte der Ausbau der Häfen, besonders der Kriegshäfen Wilhelmshaven und Kiel, die durch Minen und fest installierte Geschütze gesichert wurden. Von den landgestützten Artilleriestellungen der Festungen aus wurden die Übungsschießen mit Vollgeschossen durchgeführt, um die Gefährdung Dritter möglichst gering zu halten. Durch die in großem Maßstab erfolgende Produktion von Munition, begleitet von einer stetigen Weiterentwicklung der Waffentechnik, stand man immer wieder vor dem Problem, entbehrlich gewordene Kampfmittel beseitigen zu müssen. Neben dem Verschießen zur Ausbildung war die Versenkung im Meer ein gängiges Verfahren.

Die Einführung von Flugzeugen in den Militärgebrauch schaffte eine neue Waffengattung und neue Munitionsarten. Mit der Einführung von Bomben, anfangs noch kleine Exemplare von 5-10 kg Gewicht, schnell aber bis zur Größe von 250 kg, war eine weitere Klasse von Munition entstanden. Auch hier wurde die Entwicklung durch die beiden Kriege vorangetrieben, so dass Bomben von über 2 Tonnen Gewicht hergestellt und in die reguläre Ausstattung der Luftwaffen aufgenommen wurden. Der Einsatz dieser Waffe in einer enormen Größenordnung und die dabei aufgetretenen

Fehlfunktionsrate, sowie die Versenkung nicht mehr benötigter Bomben nach den Kriegen, trugen maßgeblich zur heutigen Munitionsbelastung des Meeres bei.

Zu Beginn des 1. Weltkriegs wurden in der Nordsee zum Schutze der Deutschen Bucht, Helgolands, der Jade, Weser und Elbe Minensperren ausgebracht. Die drei Ostseezugänge wurden ebenfalls durch Minensperren geschlossen, um eindringende feindliche Schiffe aufzuhalten. Gleichzeitig legten die gegnerischen Kräfte ebenfalls Minensperren, wobei die Deutsche Bucht hauptsächlich westlich Helgolands und die Ostsee ostwärts von Rügen betroffen waren. Nach dem Ende des 1. Weltkriegs wurden die bis dahin verbliebenen Sperren geräumt.

Mit Beginn des 2. Weltkriegs wurden Minensperren und Befestigungsanlagen wiederum aktiviert und ausgelegt. Beide Seegebiete waren davon betroffen, in der Nordsee wurden sogar einige Inseln mit Küstenminen gegen feindliche Landungskräfte gesichert. Weiterhin traten ab dieser Zeit Einbringungen von Fliegermunition ins Meer auf (Bomben aller Art, Raketen, luftverbrachte Seeminen und Kanonenmunition), da Fliegerangriffe gegen Schiffe sowie Landziele in Küstennähe deutlich zunahmen.

Die beiden Übersichtskarten zeigen die bekannten und dokumentierten Minensperren aller Kriegsteilnehmer aus der Zeit 1914-1918 und 1939-1945 (**Abbildung 3, Abbildung 4**). In die Karten wurden alle derzeit bekannten Minensperren und Minenfelder aus beiden Weltkriegen eingezeichnet. Die Karten der Minensperren dienen als **Beispiel** für den Einsatz eines Munitionstyps, da hierüber die umfangreichste Dokumentation vorhanden ist. Die Konzentration der Minensperren zeigt, dass einzelne Gebiete besonders stark belastet waren. Nicht eingezeichnet sind die ebenfalls dokumentierten Minenräumarbeiten. Bereits während der beiden Kriege und fortdauernd bis 1972 wurden enorme Anstrengungen unternommen, um die Minensperren bestehend aus Ankertaum- und Grundminen zu räumen. Dabei wurden viele der im Wasser stehenden Ankertauminen (vgl. Abbildung 5) abgeschnitten und der auftreibende Sprengkörper dann beschossen und versenkt. Durch Beschädigung der Hülle füllte sich der Hohlkörper einer Mine mit Wasser und sank zum Meeresgrund ab, allerdings ohne zu explodieren. Nach übereinstimmender Auffassung der befassten Fachleute ist im dargestellten Kartenbereich nur noch mit einzelnen, auf dem Grund

liegenden Minen zu rechnen, bei denen eine Gefahr der Detonation erst durch Bewegungen der Mine unter Fremdeinwirkung zu befürchten ist.

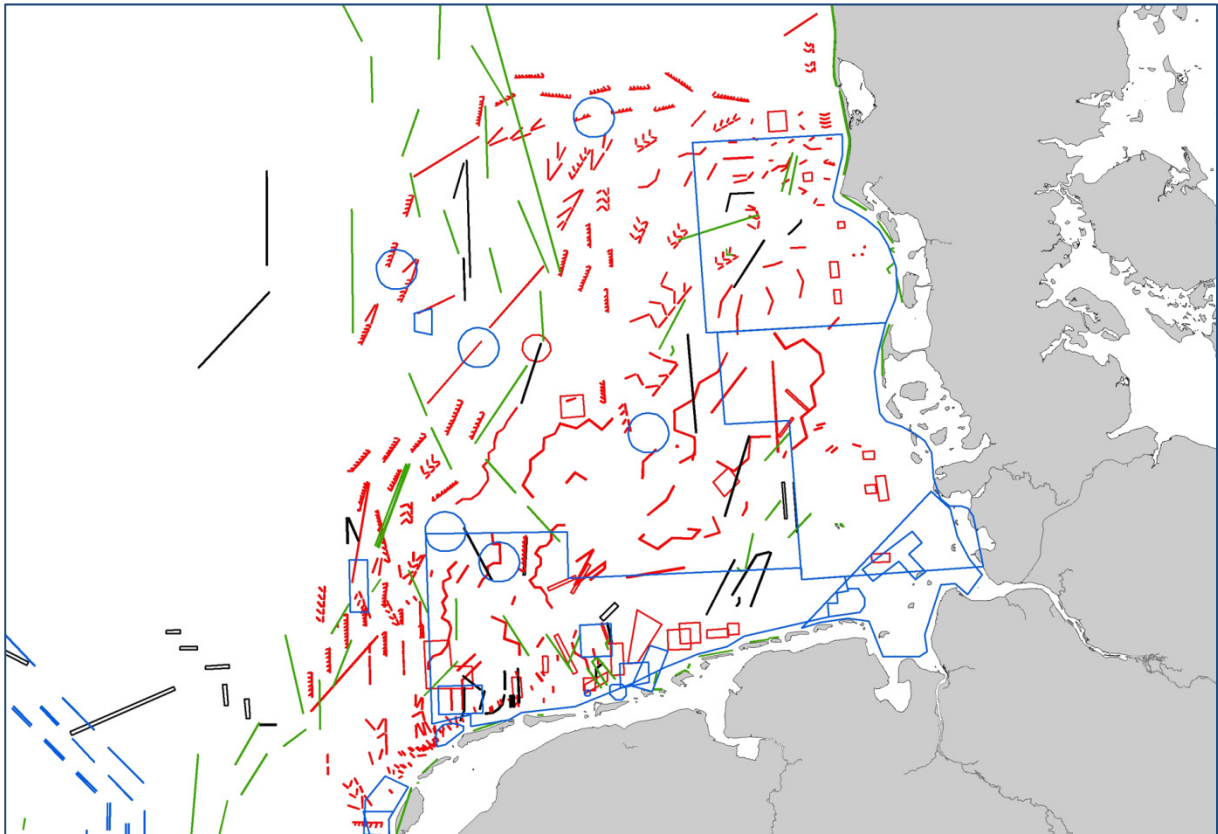


Abbildung 3: Ehemalige Minensperren in der Nordsee (Karte: Møller/Wichert).

Legende: (1. Weltkrieg): **deutsch – schwarz**; **englisch – rot**;
(2. Weltkrieg): **deutsch – grün**; **englisch – blau**.

Gegen Ende des 2. Weltkriegs entsorgten insbesondere die nach Schleswig-Holstein zurückflutenden Truppen ihre mitgeführte Munition in vielen Gewässern, wobei kaum ein Unterschied zwischen Binnensee, Fluss oder freier See gemacht wurde. Die alliierten Kräfte nutzten diese Entsorgungsmöglichkeit ebenfalls und versenkten, teils unter Zuhilfenahme von deutschen Kräften, erbeutete Munition aller Art, einschließlich noch vorhandener Sperrwaffen. in Nord- und Ostsee.

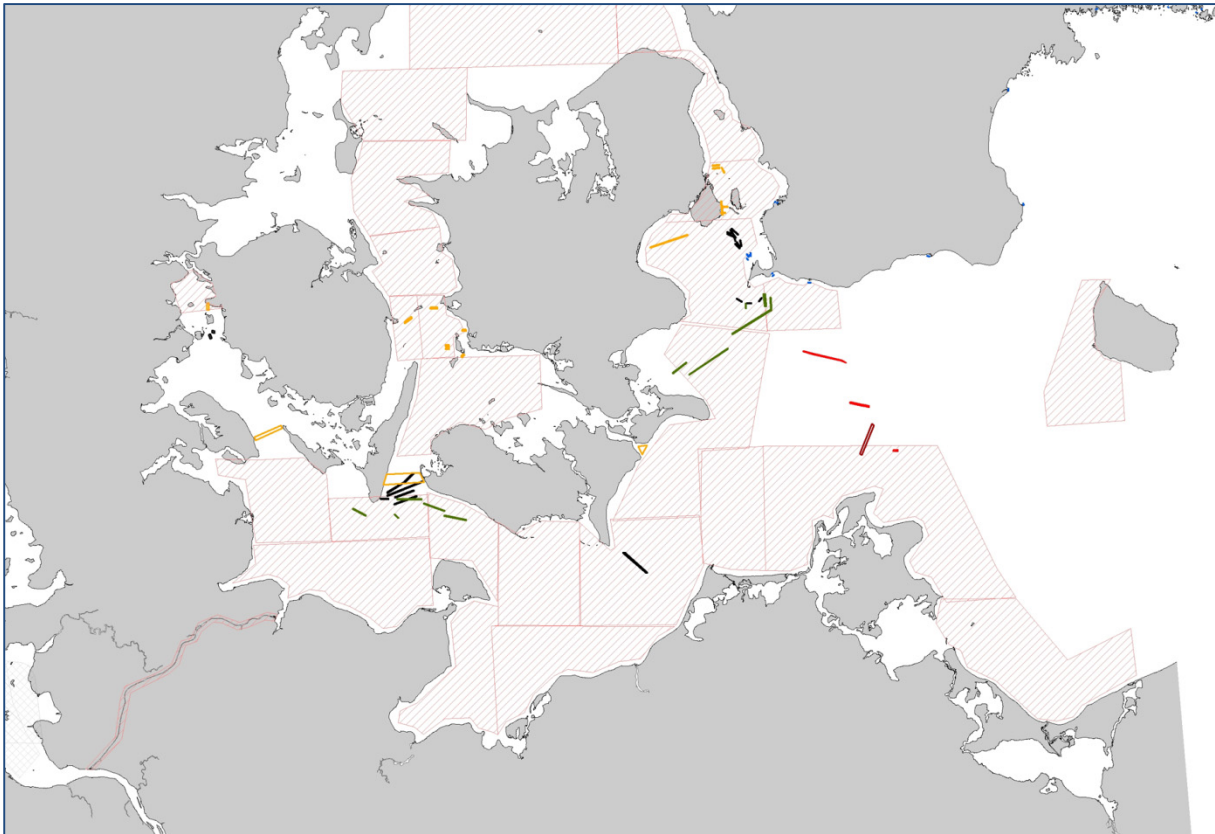


Abbildung 4: Ehemalige Minensperren in der Ostsee (Karte: Møller/Wichert).

Legende: (1. Weltkrieg): **deutsch – schwarz**; **russisch – rot**;
(2. Weltkrieg): **deutsch – grün**; **russisch – rot**; **englische Luftminen-„Gardens“**
– hellrot schraffiert; **dänisch – gelb**

Neben konventioneller Munition wurde auch mit chemischen Kampfstoffen befüllte Munition auf diese Weise entsorgt. Chemische Munition nimmt eine Sonderstellung unter der versenkten Munition ein, da es sich einerseits um viel geringere Mengen, andererseits um eine heutzutage in viel detaillierterer Form vorliegende Datenlage als die der konventionellen Munition handelt. Letzteres liegt vor allem in den umfangreichen Rechercharbeiten der letzten zwei Dekaden begründet.

Die chemische Kriegsführung spielte insbesondere während des 1. Weltkriegs eine prägende Rolle. Im Rahmen der Kampfhandlungen kamen chemische Kampfstoffe in großem Umfang zum Einsatz. Die nach dem 1. Weltkrieg noch vorhandenen chemischen Kampfmittel wurden weitestgehend an Land behandelt und zerstört. Über Versenkungen in deutsche Meeresgewässer ist nichts bekannt.

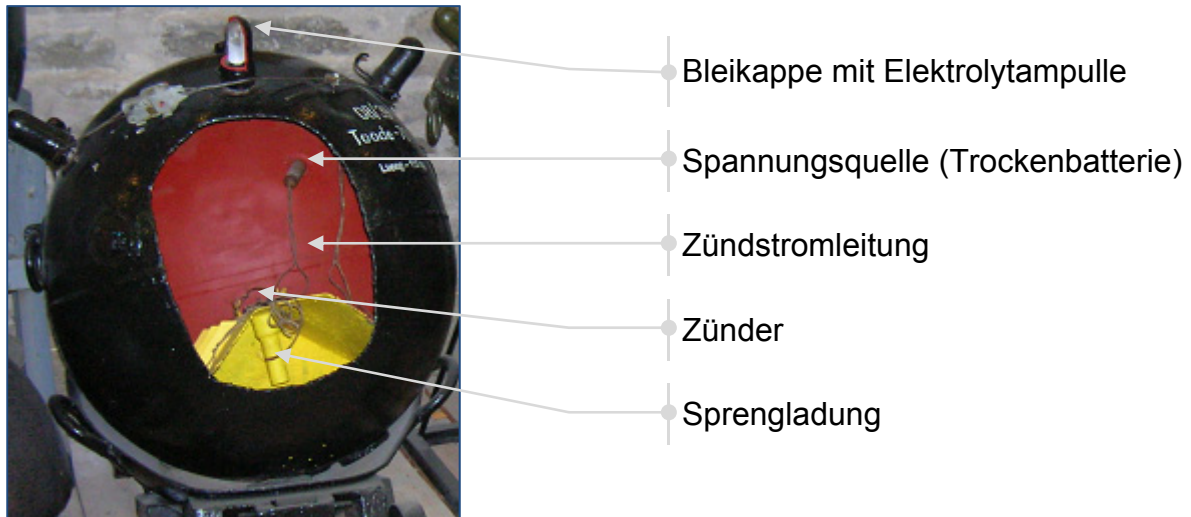


Abbildung 5: Funktionsbild einer Ankertaumine (russ. M08, Tallin – Minenmuseum, ca. 1m Durchmesser, 90 kg Sprengladung) (Foto: Wichert).

Wird die Bleikappe bei Berührung mit einem Schiff beschädigt, zerbricht die Elektrolytampulle und der Elektrolyt läuft in die Spannungsquelle. Diese erzeugt nun einen Zündstrom, der den Zünder aktiviert und die Sprengladung detoniert.

Vor und während des 2. Weltkriegs wurden Kampfstoffe zwar produziert, verfüllt und neu entwickelt (Organophosphor-Kampfstoffe: Sarin, Tabun und Soman), kamen aber nicht zur breiten Anwendung. Entsprechend befanden sich zum Ende des 2. Weltkriegs große Bestände im Besitz der Alliierten, Japans und Deutschlands, mit denen es umzugehen galt.

Die Alliierten des 2. Weltkriegs entschieden 1946, dass die deutsche Munition über „authorized disposal of hazardous ammunition by dumping at sea or demolition“ zu beseitigen sei. Die für die Beseitigung der deutschen Kriegsmunition zuständige Kontrollkommission der Alliierten empfahl, dass die einzig geeignete Methode zur Beseitigung von chemischen Kampfmitteln die Versenkung auf See sei. Als Folge wurden rund 85 % der in Deutschland aufgefundenen chemischen Kampfmittel in Nord- und Ostsee eingebracht. Vorzugsweise wurde die Munition auf Schiffe verladen und gemeinsam mit diesen in überwiegend küstenfernen, tiefen Bereichen der betreffenden Meere versenkt. Insgesamt wurden in der Nordsee rund 170.000 t und in der Ostsee rund 42.000-65.000 t chemische Kampfstoffmunition versenkt.

2.2 Eintragungspfade für Munition ins Meer

Die Belastung mit Kampfmitteln stellt für die internationale Gemeinschaft eine große Herausforderung dar. In vielen zwischenstaatlichen Konflikten und Bürgerkriegen wurden und werden konventionelle Waffen zum Einsatz gebracht. ABC- oder Massenvernichtungswaffen dagegen stehen zwar zur Verfügung, wurden aber nach dem 2. Weltkrieg nur in Einzelfällen eingesetzt. Für entbehrliche Munition ist vielfach eine Versenkung im Meer als „Entsorgungsweg“ gewählt worden. Dadurch gewahrsamslos gewordene Kampfmittel werden auch als Fundmunition bezeichnet.

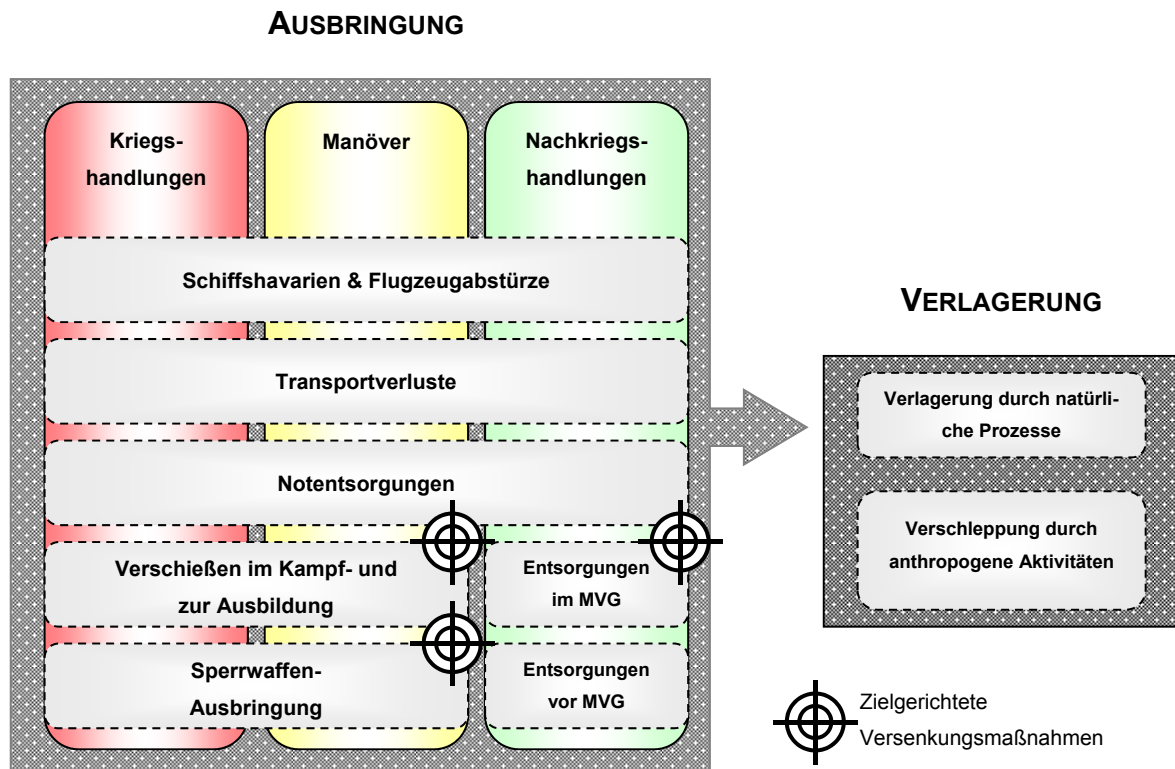


Abbildung 6: Prinzipielle Eintragungspfade für Munition ins Meer (MVG = Munitionsversenkungsgebiet).

Der Eintrag von Munition ins Meer findet auf unterschiedlichen Wegen statt (Abbildung 6). Die weitaus größte Menge ist mit der Absicht einer dauerhaften und sicheren Entsorgung nach Konflikten eingebracht worden. Aber auch Tests, Manöver und Kriegshandlungen tragen Munition ins Meer ein: Munition versinkt mit Kriegsschiffen oder geht über Bord. In Bezug auf einen ökologischen Einfluss werden Einzeleinträge als weniger, die massenhafte Versenkung in (kleinen) Gebieten jedoch als eher relevant betrachtet. Für den Menschen und größere Tiere stellen Blindgänger und im Rahmen von Kriegshandlungen ausgelegte Minen eine Gefahrenquelle dar. Einzelne Munitionsklassen werden im Kapitel 3.2 näher erläutert.

2.3 Probleme bei der Recherche

2.3.1 Generelle Sachlage

2.3.1.1 Konventionelle Munition

Im Laufe der letzten 100 Jahre sind in die deutschen Seegebiete der Nord- und Ostsee über verschiedene Eintragspfade (s. Kap. 2.2) große Mengen an konventioneller Munition eingebracht worden. Generell wurde in beiden Kriegen von den Kriegsparteien im Bereich der Nordsee erheblich mehr Munition als im Ostseebereich eingesetzt: Minen zur Sperrung von Seegebieten, Torpedos und Granaten zwecks Angriffs und Verteidigung von See- und Landanlagen, oder auch Bomben im Rahmen von Fliegerangriffen auf Schiffe, Häfen und Städte. Entsprechend war bei Kriegsende im Nordseebereich einerseits deutlich mehr für die zahlreichen Kampfhandlungen vorgehaltene Munition vorhanden, andererseits standen im Vergleich zur Ostsee auch wesentlich mehr Häfen zur Verfügung, die nicht mit Flüchtlingen bevölkert waren und sich daher zum Umschlag von Munition auf Schiffe eigneten. Mit Besetzung der Nordseehäfen durch Briten und Amerikaner stellten diese nun folglich auch die hauptsächlichen Verladehäfen für die in den entsprechenden beiden Besatzungszonen beschlagnahmte Munition dar. Im Rahmen dieser Maßnahmen wurde allerdings nicht in allen Fällen eine Dokumentation erstellt, so dass als Beleg gegebenenfalls nur auf ihren Wahrheitsgehalt zu prüfende „Augenzeugenberichte“ zur Verfügung stehen.

Für den Bereich der Ostsee gibt es bis zum jetzigen Zeitpunkt keine verlässliche Zahl über die Mengen an verbrachter und versenkter Munition. Mit der von deutscher Seite im 1. und 2. Weltkrieg ausgelegten und dokumentierten Minen, sowie der Anzahl der von den ehemaligen Alliierten aus der Luft verlegten Minen sind schon fast alle belegbaren Mengen aufgeführt. Aus den Kriegszeiten sind aber weitere Munitionseinbringungen bekannt, besonders im Rahmen des Luft- und Seekriegs. Eine Dokumentation wie bei der Minenkriegführung konnte dabei aber aus den verschiedensten Gründen nicht erfolgen. In den Nachkriegszeiten, so ersichtlich aus verschiedenen Unterlagen, wurde weitere Munition im Meer versenkt.

Die Vielzahl der verschiedenen Unterlagen, deren unterschiedliche Grundlagen, die ebenfalls große Anzahl an Archiven und Lagerorten und deren Zugänglichkeit zeigen

hier ein Problemfeld auf. Auf Grund der genannten Umstände sind natürlich auch unterschiedliche Mengenangaben über verbrachte Munition veröffentlicht worden. Weiterhin sind die Angaben über bereits beseitigte Munitionsmengen ebenfalls unterschiedlich hoch oder ungenau. Ebenso lassen sich bei vielen „Augenzeugenberichten“ nachvollziehbare Fakten nur schwer herausarbeiten.

Generell wurden bestimmte Maßnahmen, insbesondere in den letzten Kriegstagen, gar nicht mehr dokumentiert oder bestehende Dokumente vernichtet.

So wurde ein erheblicher Teil der Dokumente der Luftwaffe zum Ende des 2. Weltkriegs vernichtet. Die restlichen vorhandenen Dokumente sind noch nicht auf die Frage der Verklappung von Munition in Nord- und Ostsee untersucht worden. Möglicherweise sind relevante Dokumente noch in Privathand vorhanden. Über Menge, Anzahl und Einsatzdatum von Abwurfmunition liegen von alliierter Seite zurzeit keine umfassend auswertbaren Berichte vor. Daher sind auch hier keine exakten Angaben möglich. Der Verbleib der 1945 in Deutschland durch die Alliierten aufgefundenen Luftwaffenmunition ist nur schemenhaft dokumentiert worden.

Der hohe Einsatz von Flakmunition forderte eine stetige Produktion und Lieferung an die Truppe, was dazu führte, dass Verbrauch und Verbleib besonders in den letzten Kriegstagen nicht mehr einheitlich dokumentiert wurden. Der geringe Einsatz von Munition durch deutsche Truppen gegen Schiffs- und Landziele sorgte hingegen bei Kriegsende dafür, dass die Alliierten größere Mengen dieser Munition vorfanden. Der Verbleib dieser Munition ist sehr lückenhaft dokumentiert.

Die im Ostseebereich zwischen 05. Mai und 11. Mai 1945 vorgenommene „Entsorgung“ von Munition durch bereits außer Dienst gestellte Marineeinheiten und Schiffe, die mit Flüchtlingen und Truppen aus Ostpreußen bzw. Kurland kamen, ist nicht dokumentiert. Ebenso gibt es nur vage Angaben über den Verbleib der aus diesem Bereich stammenden und durch die Alliierten beschlagnahmten Munition. Allerdings muss mit der „Entsorgung“ aller nur denkbaren Munitionsteile (auch heeres- und luftwaffeneigentümlicher Munition) gerechnet werden: Von der Pistolenpatrone über Handgranaten bis hin zu Pioniersprengladungen.

Alle bisher erhaltenen Zahlen und Informationen müssen im Grunde mit weiteren Informationen und Dokumenten auf Schlüssigkeit geprüft werden. Die daraus entstan-

denen und verifizierten Daten bilden die erste Grundlage eines definierten Mengenrösts für in Nord- und Ostsee verbrachte Munition. Da auch heute noch fortlaufend weitere Dokumente zugänglich gemacht werden, ist mit einer sich stetig ändernden Datenbasis zu rechnen. Folglich ist eine endgültige Festlegung auf eine definierte Größenordnung der im Meer verbliebenen Munitionsreste noch in weiter Ferne zu sehen.

2.3.1.2 Chemische Munition

Im Vergleich zum praktisch unüberschaubaren Feld der konventionellen Munition zeigt sich die Datenlage zu chemischer Munition als deutlich besser. Dies ist vor allen Dingen auf die bereits im Rahmen der Erstellung vorhergehender Berichte geleisteten Rechercharbeiten zurückzuführen, auf die an dieser Stelle kurz eingegangen werden soll.

Die Versenkung chemischer Kampfstoffmunition im Nordseebereich südlich Helgolands konnte aufgrund des Berichts zur Erfassung und Erkundung der Rüstungsaltslasten in der Nordsee (Gutachten der Kulturtechnik GmbH, Oktober 1990), zusätzlichen Recherchen von Dr. Stefan Nehring sowie den Untersuchungen und Recherchen des Innenministeriums des Landes Schleswig-Holsteins (2009) verifiziert werden.

Die wesentlichen Recherchen zur Versenkung chemischer Kampfstoffmunition im Ostseebereich wurden im Rahmen der Erstellung des Berichts „Chemische Kampfstoffmunition in der südlichen und westlichen Ostsee“ (BSH, 1993) durchgeführt. Am Anfang der Bestandsaufnahme stand eine umfangreiche Aktenrecherche in der Altschriftgutverwaltung des Bundesverkehrsministeriums. Als nächster Schritt wurden 34 in- und ausländische Behörden, Einrichtungen und Betriebe schriftlich um zweckdienliche Auskünfte gebeten und teilweise persönlich aufgesucht. Wertvolle Hinweise ergab die Aktenrecherche in der Altschriftgutverwaltung der Außenstelle Berlin des Bundesinnenministeriums, in der Unterlagen des früheren Ministeriums des Inneren (Mdl) der DDR aufbewahrt werden. Weitere Informationen aus der ehemaligen DDR liegen nicht vor, vermutlich weil – nach Aussagen eines Zeugen – im August 1990 durch das damalige Ministerium für Abrüstung und Verteidigung der DDR verfügt worden sei, die vorhandenen Unterlagen über Rüstungsaltslasten zu vernichten. Die Originale der vertraulichen Verschlussachen, die vom Norddeutschen Rundfunk

(NDR) am 29.1.1992 vorgelegt wurden, sind im April 1993 dem BSH übergeben worden. Die Recherchen im Militärischen Zwischenarchiv Potsdam beim Bundesarchiv Koblenz, im Mecklenburgischen Landeshauptarchiv und im Landesarchiv Mecklenburg-Vorpommern der Partei des Demokratischen Sozialismus (PDS) ergaben dagegen keine weiteren, verwertbaren Erkenntnisse. Es erwies sich als schwierig, Zeitzeugen zu finden und die Richtigkeit ihrer Aussagen zu überprüfen. Bestätigungen für Aussagen eines Zeitzeugen durch die Aussagen eines weiteren Zeitzeugen oder durch Dokumente waren nur sehr schwer oder gar nicht zu erlangen. Insgesamt wurden 72 Personen befragt, die entweder Zeitzeugen der Munitionsversenkungen oder von Kampfstoff-Funden waren bzw. in anderer Weise in Verbindung zur fragten Materie standen. Die Berichte der Unterkommissarin Bruchmann (Kriminalpolizei Rostock) und des Korvettenkapitäns Jäckel (Deutsche Marine) über die Versenkungen im Auftrag der Sowjetischen Militäradministration in Deutschland (SMAD) wurden sowohl von den Zeugen als auch durch die Aktenrecherchen bestätigt. Weniger gut gesichert sind die Aussagen über Munitionsversenkungen, die auf Veranlassung der Britischen Militäradministration in Deutschland im Seegebiet südwestlich und östlich von Bornholm durchgeführt wurden.

2.3.2 Qualitative Unzulänglichkeiten und damit verbundene Gefahren

2.3.2.1 Unzulänglichkeiten historischer Aufzeichnungen und Quellen

Die Qualität von historischen Dokumenten muss in unterschiedliche Klassen eingeteilt werden. Entsprechend sind daraus gewonnene Informationen nicht immer umfassend sind und werfen oftmals weitere Fragen auf. Das bisher aus diesen Informationen erstellte Bild muss zukünftig weiter ausgebaut werden. Dazu ist es notwendig, weitere Quellen zu erschließen bzw. auszuwerten. Eine solche Auswertung schließt auch eine Prüfung der Dokumente auf Richtigkeit und Verlässlichkeit ein. So ist bekannt, dass in einer Reihe von Unterlagen eine „Scheinaktion“ dokumentiert wurde, um den Anschein der Sperrung eines Seegebietes in einer Kriegsperiode beim Gegner zu erwecken und dann aufrecht zu erhalten. Eingesetzte Scheinmittel verstärkten dann diese „Maßnahmen“, so dass in mehreren Fällen die „Tarnmaßnahmen“ als Realmaßnahmen aufgefasst wurden. Dieses Verhalten muss aber auch bei den nichtmilitärischen Dienststellen in Erwägung gezogen werden. Es ist daher notwen-

dig, bekannte Dokumente oder Informationen mit einem definierten Prüfverfahren zumindest stichpunktartig zu kontrollieren.

2.3.2.2 Gefahren nicht erkannter Unzulänglichkeiten historischer Aufzeichnungen und Quellen

Im Fall einer nicht erkannten Unzulänglichkeit können aus den vorliegenden Informationen falsche Schlüsse gezogen werden. Dies kann beispielsweise zur Einleitung und Durchführung von Maßnahmen führen, die einen wirtschaftlichen Schaden nach sich ziehen können. Allerdings ist hervorzuheben, dass selbst kleinsten Hinweisen nachgegangen werden muss, wenn bisher unbekannte Hinweise, Munitionsfunde oder Situationen in Erscheinung treten.

2.3.2.3 Unzulänglichkeiten zeitgenössischer Aufzeichnungen

Für viele Bereiche des öffentlichen Lebens erstellen Behörden der Länder und des Bundes Statistiken. Die Grundlage dafür sind Statistikgesetze, die Inhalt, Erhebung und Verarbeitung genau regeln. Für den Bereich der Fundmunition gibt es solche Erhebungen nicht. Dennoch hat sich die Bundesrepublik Deutschland in internationalen Abkommen verpflichtet, regelmäßig „amtliche“ Daten zuzuliefern. Die Arbeitsgruppe hat diesen Sachverhalt untersucht und schlägt vor, das bisherige Vorgehen weiterzuentwickeln. Der Vorschlag ist in Kapitel 7 dargestellt.

2.4 Munition im Meer

2.4.1 Aus zulänglichen historischen Quellen entnommene Informationen

In einem ersten Schritt lassen sich betroffene Flächen auf dem Wege der historischen Erkundung mit im Vergleich zu großräumigen Suchaktionen geringerem, wirtschaftlichem Aufwand ermitteln (Abbildung 7). Danach ist es in einem zweiten Schritt allerdings erforderlich, über die Notwendigkeit zielgerichteter Suchaktionen auf derartigen Flächen zu entscheiden.

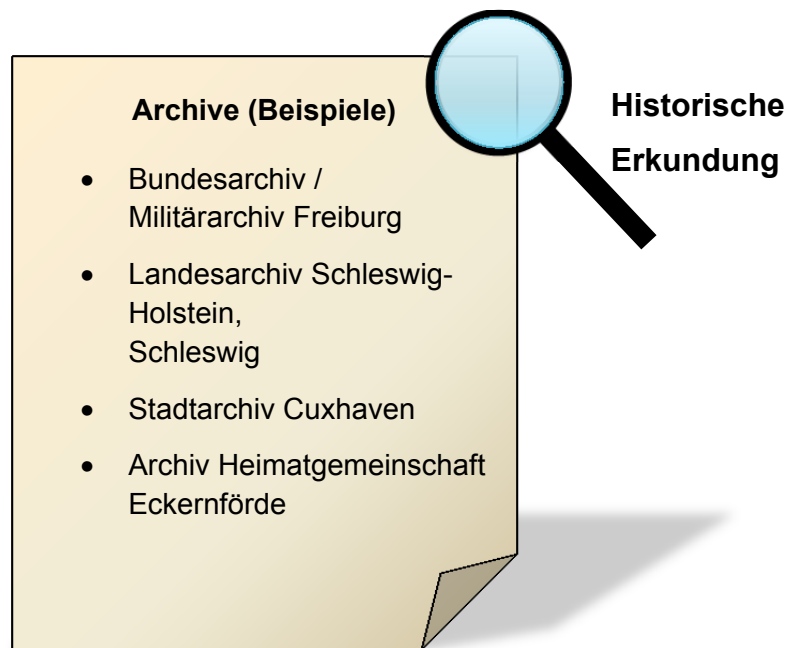


Abbildung 7: Beispiele für im Rahmen historischer Erkundungen zu durchsuchende Archive.

2.4.1.1 Munitionseintrag durch den Einsatz von Marinewaffen in Nord- und Ostsee

Im betroffenen Bereich der deutschen Küstengewässer wurde während des 1. und 2. Weltkriegs Munition durch die Alliierten und die deutschen Streitkräfte eingesetzt. Unter dieser Munition finden sich folgende Komponenten: Artilleriemunition, Bomben, Wasserbomben, Minen und Torpedos.

Eine exakte Dokumentation über den Einsatz dieser Munition ist aber nur in einem Teilbereich durchgeführt worden. So sind die geplanten und ausgeführten Minensperren der Marine im 1. und 2. WK, bis auf einige Ausnahmen, erfasst. Hier kann die Anzahl der gelegten Minen ermittelt werden. Nach dem jetzigen Kenntnisstand wurden im Ostseebereich im Rahmen des 1. WK 1301 Minen von deutscher Seite

sowie 98 Minen von russischen Kräften (nördlich Arkona) gelegt. Im 2. WK wurden von deutscher Seite im Ostseebereich 845 Minen und 262 Sperrschutzmittel Sprengboje D gelegt (zusätzlich Südausgang Sund 725 Minen). Weiterhin ist die gesamte Anzahl der britischen Luftminen aus dem 2. Weltkrieg bekannt: Südausgang Großer Belt bis Swinemünde: 6447 Luftminen (1940-45).

Die im 1. und 2. WK von deutscher Seite eingesetzten Minen sind zum größten Teil außerhalb der 3-Seemeilen-Hoheitsgewässer gelegt worden. Ein Teil der Minen riss sich von den Ankerstühlen los und vertrieb an die Küsten Dänemarks und Deutschlands. Die russische Sperre wurde, nachdem sie erkannt war, während des 1. WK von Minensuchkräften geräumt. Weiterhin wurden nach den Kriegen die Sperren geräumt, d.h. die Ankerleinen wurden durch Räumgerät geschnitten. Die Minen trieben auf, wurden durch Gewehr- und Geschützfeuer versenkt oder versenkten sich durch die Sicherungseinrichtung ordnungsgemäß selbst, wobei es vorkam, dass nicht alle aufschwimmenden Minen erkannt wurden. Wechselnde Strömungen, besonders im Bereich der Belte und des Sunds, sowie Verschleppungen durch Fischerei können hier zu einer weit auseinander gerissenen Ablagefläche der Minengefäße geführt haben.

Für den Bereich der Nordsee sind zurzeit noch keine verlässlichen Zahlenangaben möglich. Es existiert eine Übersichtskarte mit den bisher bekannten Positionen von Minensperren aus dem 1. und 2. WK, wobei noch nicht alle Sperren verzeichnet sind (s. Kapitel 2.1). So wurde beispielsweise der Kreuzer YORCK am 4. November 1914 durch eine Hafenminensperre versenkt. Die genaue Position dieser Sperre ist, wie auch die anderer zum Schutz des Kriegshafens Wilhelmshaven eingesetzter Jade-Sperren, bis heute unbekannt. Englische Luftminen wurden im Bereich Esbjerg bis westfriesische Inseln von der Royal Air Force mit einer Gesamtzahl von 3949 Stück geworfen. Der Zustand der aufgefundenen Minen variiert von stark korrodiert bis gut erhalten. Eine nachweisbare Aussage, dass gefundene Munition in einem örtlich festgelegten Bereich immer gleich gut erhalten ist, lässt sich nicht herleiten. Zu den weiteren Munitionsarten können nur eingeschränkt Informationen gegeben werden.

2.4.1.2 Munitionseintrag durch Versenkungsmaßnahmen und weitere Handlungen

Im Folgenden werden die munitionsbelasteten Bereiche kurz beschrieben, getrennt nach Nord- und Ostsee sowie den Bundesländern. Der beigefügte Anhang 10.2 enthält detaillierte Informationen zu den einzelnen Gebieten.

2.4.1.2.1 Nordsee

2.4.1.2.1.1 Versenkungen in Munitionsversenkungsgebieten

Nach dem Zweiten Weltkrieg sind, vorwiegend zwischen 1945 und 1947, auf Anordnung der amerikanischen und britischen Besatzungsmächte große Mengen an aus Deutschland oder von den ehemaligen Alliierten stammender Munition im deutschen Nordseeküstenbereich versenkt worden. Mit Ausnahme der 90 Tonnen chemischer Kampfstoffmunition bei Helgoland wurde nach jetzigem Kenntnisstand ausschließlich konventionelle Munition wie Torpedos, Granaten, Bomben, Minen und Gewehrmunition versenkt.

Die ehemaligen Versenkungsgebiete sind in Seekarten mit „unrein (Munition)“ kenntlich gemacht. Aufgrund von geophysikalischen Untersuchungen (induktives magnetisches Messsystem und Seitensicht-Sonar) wurden einige zuvor als Munitionsgebiete angesehene Gebiete inzwischen aufgehoben. Für den im Auftrag der Alliierten vorgenommenen Transport der Munition in die vorgeschriebenen Versenkungsgebiete wurden vorwiegend Fischkutter eingesetzt. Es wird angenommen, dass eine beträchtliche Menge an Munition bereits auf dem Weg, vor Erreichen der Versenkungsgebiete, über Bord geworfen wurde.

Mit Ausnahme eines rund 15 sm westlich Sylts in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) liegenden Gebiets, liegen alle Versenkungsgebiete und alle weiteren, als munitionsbelastet bekannten Flächen im Bereich des deutschen Hoheitsgebiets. Eine Besonderheit stellt das munitionsbelastete Gebiet im Bereich des Lister Tiefs dar, welches im deutsch-dänischen Grenzbereich liegt. Die Hoheitsgrenze zwischen Deutschland und Dänemark ist im Bereich Lister Tief zurzeit nicht vertraglich festgelegt, der Grenzverlauf wird derzeit verhandelt. Berücksichtigt man den letzten gemeinsamen Vorschlag einer deutsch-dänischen Expertengruppe, würde der Großteil dieses Gebiets in das dänische Hoheitsgebiet fallen.

Genauere Aussagen zur Menge der einstmals versenkten und teils bereits wieder geborgenen Munition lassen sich nur schwer treffen. Eine technische Erfassung und Dokumentation dieser Daten ist mangels personeller und technischer Kapazitäten überwiegend nicht erfolgt. Eine Durchsicht alter Aktenbestände seit Beginn der Aufzeichnungen, sofern noch vorhanden, ist mit den aktuellen Personalressourcen derzeit nicht durchführbar. Aus diesen Gründen handelt es sich auch hier nur um auf Basis der bisher gewonnenen Erkenntnisse hochgerechnete, ungefähre Schätzwerte. Eine genaue Mengenfeststellung der heute noch in den Versenkungsgebieten bzw. insgesamt in munitionsbelasteten Gebieten der Küstengewässer vorhandenen Munition ist daher nicht möglich.

2.4.1.2.1.2 Küstengewässer vor Niedersachsen

In den niedersächsischen Küstengewässern liegen Munitionsversenkungsgebiete, in denen gegen Ende des 2. Weltkriegs gezielt Munition versenkt wurde. Weiterhin gibt es als "Munitionsbelastete Flächen" klassifizierte Bereiche, in denen ebenfalls verstärkt mit Munitionsfunden zu rechnen ist (vgl. Anlage 10.2). In den weitaus meisten Fällen handelt es sich dabei um für die Entsorgung entsprechend unbezündete Munition. Chemische Munition wurde nicht in den Gewässern vor Niedersachsen versenkt.

Über heute noch vorhandene Mengen liegen nur kaum belastbare Angaben vor. Soweit über die gezielt versenkten Munitionsmengen noch Daten verfügbar sind, sind diese in Folge verschiedener Effekte nur eingeschränkt für aktuell gültige Aussagen brauchbar. Vor der niedersächsischen Küste hat in der rohstoffarmen Nachkriegszeit eine intensive sogenannte "Munitionsfischerei" stattgefunden, in deren Folge eine vermutlich hohe, aber nicht näher quantifizierbare Menge wieder geborgen wurde. Darüber hinaus hat die küstennahe Kutterfischerei mit langjähriger Schleppnetztaetigkeit dazu beigetragen, auf dem Meeresgrund lagernde Munition zu verteilen. Hiervon ist insbesondere der Teil der Munition betroffen, der auf den Anfahrtswegen zu bzw. anderweitig außerhalb der vorgesehenen Zielgebiete auf dem Meeresgrund versenkt wurde.

Die versenkte Munition ist heute stellenweise stark mit Sediment bedeckt. Die Ursachen hierfür sind zum Teil natürlicher Art und beruhen auf Umlagerungsprozessen

am Meeresgrund. Zum Teil stellen diese Überdeckungen auch die Folge von Baggertätigkeiten für Hafen- und Strombaumaßnahmen dar. Insbesondere das Gebiet im Bereich der Hooksielplate ist an dieser Stelle hervorzuheben, da es ab 1957 für die Ablagerung von Baggergut genutzt und mit einer 8 m dicken Sedimentschicht bedeckt wurde.

2.4.1.2.1.3 Küstengewässer vor Schleswig-Holstein

Im Bereich der Nordseeküste Schleswig-Holsteins gibt es sowohl ehemalige Versenkungsgebiete, als auch als munitionsbelastet dokumentierte Flächen der Nähe der Inseln Sylt und Helgoland. Bisher liegen nur wenige und unklare Informationen über Art und Menge der versenkten Munition vor. Für die Gebiete um Sylt wurde eine Menge von möglicherweise 10.000 t Munition angegeben (5.000 t Kaliber 10,5 cm und 17 cm sowie 5.000 t „kleineren Typs“). Ferner wurden etwa 90 Tonnen chemische Kampfstoff-Munition (Tabun-Granaten) in das Helgoländer Loch versenkt (siehe 2.4.2.1).

2.4.1.2.2 Ostsee

2.4.1.2.2.1 Küstengewässer vor Schleswig-Holstein

Entlang der gesamten Ostseeküste von Schleswig-Holstein ist mit Munitionseinbringungen aller Art, von Pistolen- und Gewehrpatronen über Handgranaten, Geschützgranaten und Wasserbomben, zu rechnen. Die Munition stammt von Schiffen, die aus Ostpreußen und Kurland Flüchtlinge und Truppen evakuierten. Die Menge der eingebrachten Munition ist unbekannt und lässt sich nicht mehr feststellen. Auch die Häfen und dort mündende Flüsse sind betroffen, was sich durch Munitionsfunde aller Art in den betreffenden Gebieten gezeigt hat. Über die gezielten Versenkungen von Munition nach dem 2. Weltkrieg konnte bisher nur ein ungenaues Bild aus mündlichen Überlieferungen erstellt werden, ebenso über die Menge der Munition, die durch „Munitionsfischer“ bereits wieder geborgen wurde.

Das Sperrgebiet Schönhagen wurde in alten Seekarten mit Datum vor 1939 als Munitionsschüttstelle bezeichnet. In den Seekarten aus der Zeit des 1. Weltkriegs ist diese Stelle aber nicht bezeichnet. Ab 1939 wurde das Gebiet als Übungsplatz für Sprengungen mit Bojen bezeichnet. Die Bundesmarine (heute: Deutsche Marine) übernahm dieses Übungsgebiet für die Streitkräfte. Es befindet sich heute noch in

der Nutzung als Übungsgebiet für die Deutsche Marine. Zusätzlich wurde zwischen dem heutigen Sperrgebiet und der Küste ein Übungsplatz für Bombenwürfe der Marineflieger eingerichtet, bei der mit Übungsbomben und mit pyrotechnischer Munition (Rauch- und Lichterscheinung) auf ein verankertes Seeziel geworfen wurde. Dieses Fliegerübungsgebiet ist inzwischen aufgelöst worden.

Die Eckernförder Bucht wurde von 1913 an als Torpedoversuchsstrecke und Schießbahn intensiv genutzt. Neben den zahlreichen Schießversuchen wurden auch Erprobungen mit Torpedozündern durchgeführt. Eine Auswertung hinsichtlich des möglichen Verbleibs von Torpedos oder Munitionsaltlasten wird im Augenblick durchgeführt.

Die Lübecker Bucht und das Gebiet um Fehmarn wurden ebenfalls als Übungsgebiete für U-Boote, Schnellboote und Flieger sowie durch die Torpedostation Travemünde genutzt. Eine genaue Untersuchung der Art und Menge von dadurch eingebrachter Munition erfolgte bisher nicht.

Durch die britische Luftwaffe wurde im 2. Weltkrieg das Seegebiet südlich des Großen und Kleinen Belts, die Flensburger Förde, die Kieler Bucht und die Gewässer um Fehmarn intensiv mit Luftminen vermint. Diese sogenannten „gardens“ sind mit ihren Umfangslinien bekannt. Dort werden auch heutzutage noch Grundminen gefunden. Auch hier ist eine Recherche über bereits gefundene und beseitigte Munition begonnen worden.

Munitionsfunde in teilweise beträchtlichem Ausmaß zeigen, dass in der Lübecker Bucht sowie im Bereich der Kolberger Heide, Schönhagens und der Flensburger Förde nach dem Krieg eine größere Menge Munition und Munitionsteile versenkt wurden. Mündlich überlieferte Berichte sind bekannt, nach schriftlichen Belegen wird zurzeit ebenfalls gesucht.

Im Bereich des Kleinen Belts wurden in den letzten Kriegstagen 69.000 mit Tabun gefüllte Granaten (ca. 1.000 t), sowie 5.000 t mit Tabun und Phosgen gefüllte Bomben versenkt.

2.4.1.2.2.2 Küstengewässer vor Mecklenburg-Vorpommern

Für Mecklenburg-Vorpommern liegen nur wenig belastbare Angaben zu Versenkungsgebieten vor. Alle vorhandenen Erkenntnisse stammen aus Unterlagen der ehemaligen DDR und aus den Erinnerungen von Zeitzeugen. Es ist davon auszugehen, dass in Archiven zumindest teilweise nähere Informationen vorhanden sind. Zu den versenkten Mengen liegen keine verlässlichen Angaben vor, über die Art der versenkten Kampfmittel sind derzeit lediglich Rückschlüsse aufgrund bisheriger Funde möglich. Eine flächendeckende Untersuchung ist bisher nicht erfolgt, vorliegende Erkenntnisse basieren häufig auf Einzel- bzw. Zufallsfunden.

In den Küstengewässern vor Mecklenburg-Vorpommern sind verschiedene kampfmittelverdächtige und munitionsbelastete Flächen bekannt. Hierzu gehören u.a. Schießbereiche vor Übungsflächen, lokal begrenzte Verklappungsflächen, Wracks und sonstige Verdachtsflächen. Zusätzlich sind die ehemaligen Zufahrtswege von Wolgast in das Versenkungsgebiet des Bornholms-Beckens als Verdachtsflächen für vereinzelt vorkommende, vor Erreichen des Gebiets über Bord gegebene, chemische Munitionskörper anzusehen (Untersuchungen zu diesen Verdachtsflächen s. 2.4.2.3). Über Art und Menge der dort lagernden Munition liegen überwiegend nur ungesicherte Informationen vor, zur räumlichen Lokalisierung sind teilweise nur grobe Anhaltspunkte bekannt. Seit einigen Jahren werden Funde hochgenau vermessen und in einem geografischen Informationssystem erfasst (s. Anhang 10.2).

2.4.2 Untersuchungen in Einbringungsgebieten

2.4.2.1 MVG Helgoland Süd

Es bestehen keine vernünftigen Zweifel mehr daran, dass 1949 unter deutscher Leitung rund 6.000 mit dem Nervenkampfstoff Tabun gefüllte Artilleriegranaten südlich Helgolands versenkt wurden. Die Munition stammt von einem Eisenbahntransport, der im April 1945 durch Luftangriffe im Kreis Diepholz (Niedersachsen) gestoppt wurde. Die englischen Besatzungstruppen haben die teilweise eingegrabene, teilweise verstreut liegende oder beschädigte Munition im Juni 1945 in sieben Erdgruben direkt neben den Eisenbahngleisen des Güterbahnhofes von Neuenkirchen (heute Gemeinde Schwaförden) gesichert. Im Sommer 1949 sind die Granaten durch das Niedersächsische Bombenräumkommando geborgen und dann zwischen dem 26. und 28. September 1949 etwa vier Kilometer südlich der Insel Helgoland von Bord

des Motorfrachtschiffs ANNA aus versenkt worden. Die Wassertiefe in diesem als Helgoländer Loch bezeichneten Gebiet beträgt zwischen 45 und 55 m.

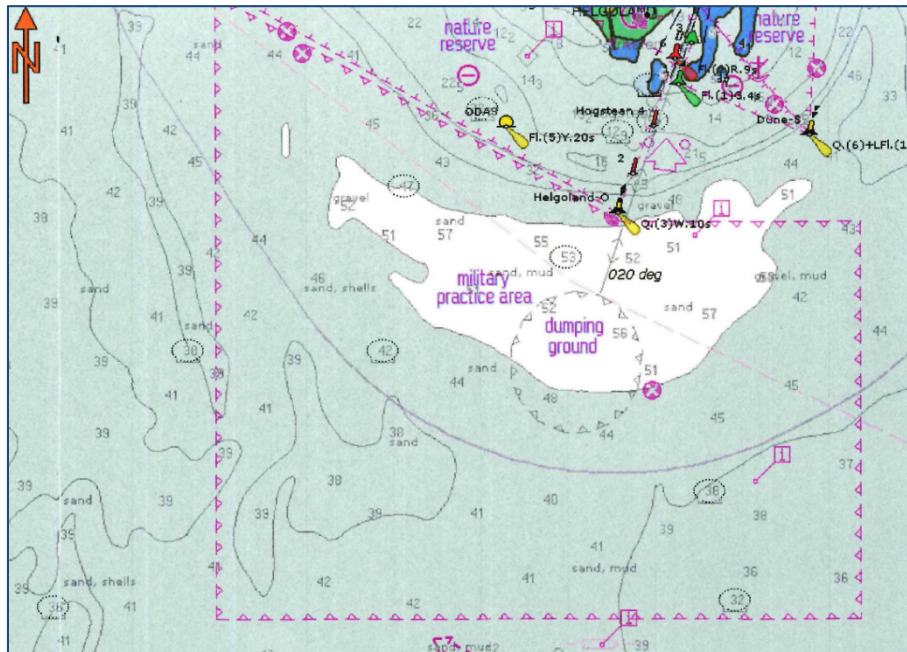


Abbildung 8: Auszug aus der elektronischen Seekarte des BSH (Stand Sept. 2008).

Die Versenkungsstelle liegt außerhalb von ausgewiesenen Schutzgebieten, jedoch innerhalb eines ehemaligen militärischen Übungsgebietes (Torpedo-Abwurfgebiet der Marineflieger), welches die Deutsche Marine 2010 aufgegeben hat. Die Ansteuerung des Helgoländer Südhafens von West und Süd erfolgt über die Versenkungsstelle. Eine konkrete Gefahr besteht nach übereinstimmender Aussage einbezogener Fachleute nicht. Dennoch handelt es sich bei dem versenkten Material um potentiell sehr gefährliche Gegenstände, insbesondere für die Fischerei, bei Arbeiten am Meeresgrund (Ankermanöver) oder bei Bergungsversuchen. Die Versenkungsstelle ist im amtlichen Seekartenwerk des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrografie (BSH) eingetragen (Abbildung 8). Im Jahr 2010 wurde der Eintrag um den Hinweis „unrein (Gasmunition)“ ergänzt. Ein Verbot der Fischerei für dieses kleine Versenkungsgebiet wird aufgrund der Gefährlichkeit des Kampfstoffs Tabun und der räumlichen Nähe zur Insel Helgoland als erforderlich angesehen.

Der sorgfältige Umgang mit versenkter Kampfstoffmunition setzt eine weitere Erkundung des Meeresgrunds voraus. Die zuständigen Landes- und Bundesbehörden sollten daher zunächst prüfen, inwieweit detaillierte Fernerkundungen mit modernster Sonartechnik ausgeführt werden können und ggf. entsprechende Untersuchungen in gemeinsamen Aktionen veranlassen. Der Einsatz von ferngesteuerten Unterwasser-videoaufnahmegeräten und die wissenschaftliche Analyse der Sedimente am Meeresgrund können darüber hinaus helfen, die tatsächliche Gefahrensituation in dem konkreten Fall zu ermitteln. Auf dieser Grundlage könnte dann entschieden werden, ob die Bearbeitung der Versenkungsstelle, zum Beispiel analog zu einem Altlastenverfahren an Land, erfolgen sollte.

Der vollständige Bericht zu den vorgenommenen Untersuchungen befindet sich im Anhang 10.4.1.4.

2.4.2.2 Nord Stream-Untersuchungen

Im Zusammenhang mit den Vorbereitungen zum Bau der Nord Stream-Gaspipeline wurden vor der Küste von Mecklenburg-Vorpommern aktuelle Untersuchungen der Ostsee auf Belastungen durch Kampfmittel durchgeführt. Im Bereich der Pommerischen Bucht fanden während und nach dem 2. Weltkrieg zahlreiche militärische Aktivitäten statt. Dabei gab insbesondere die Nähe zu Peenemünde Anlass zu der Erwartung, hier vermehrte Funde von Kampfmitteln oder Teilen davon festzustellen.

Der Trassenverlauf wurde in zahlreiche Einzelabschnitte unterteilt und intensiv abgesehen. In den hier relevanten, ersten beiden Abschnitten von der Landstation bei Lubmin in die freie Ostsee hinaus wurden magnetometrische Untersuchungen zur Erfassung eisenhaltiger Objekte durchgeführt. Ziel war die Detektion von Objekten bis zu 5 m unter dem Seeboden. Die Messungen wurden durch Sonartechnik sowie Taucheinsätze ergänzt. Zur genauen Standortbestimmung bzw. Wiederauffindbarkeit wurden hochauflösende GPS-Daten im Submeterbereich verwendet.

Bei den Erkundungsarbeiten wurden zahlreiche nicht umgesetzte Munitionskörper (*engl.* UXO = UneXploded Qrdnance) erfasst. Auf knapp 50 km Suchstrecke wurden insgesamt 1.285 magnetische Anomalien festgestellt, davon 785 potentielle UXO über 15 Kilogramm. Infolge der nachgeschalteten Taucheinsätze konnten 28 Objekte

als UXO und 10 weitere als damit in Zusammenhang stehende Objekte identifiziert werden. Die Bandbreite der Fundgegenstände reicht unter anderem von Raketenmotoren, Suchköpfen und ähnlichen Bestandteilen bis hin zu vollständigen Granaten und Bomben unterschiedlicher Art und Größe. Der überwiegende Teil der UXO wurde als nicht explosionsfähig klassifiziert. Alle einschlägigen Fundobjekte wurden geborgen und fachgerecht entsorgt.

In Folge des stark linear ausgerichteten Suchfeldes liegen zwar nur räumlich begrenzte Ergebnisse vor, diese lassen jedoch Rückschlüsse auf die generell hohe Belastung des betreffenden Seegebietes zu. Art und Menge der vorgefundenen Objekte, insbesondere die hohe Zahl an Übungsbomben, deuten darauf hin, dass der Bereich Schauplatz intensiver militärischer Versuchs- und Übungsaktivitäten gewesen ist. Die Anzahl und Dichte der Funde bzw. Fundorte war deutlich höher als zunächst auf Basis vorheriger Erkundungen erwartet worden war.

2.4.2.3 Zufahrtswege Bornholmbecken

Nach Ende des 2. Weltkriegs wurden chemische Kampfstoffe unter der Regie der Alliierten in der Ostsee versenkt. Die Einbringungsarbeiten bezogen sich im Wesentlichen auf drei Gebiete: Gotland-Becken, Bornholm-Becken und Kleiner Belt. Insgesamt wurden ca. 42.000-65.000 t chemische Kampfstoffmunition versenkt, davon mit ca. 35.000 t die größte Menge im Bornholm-Becken. Nach Aussagen von Zeitzeugen muss aber auch davon ausgegangen werden, dass bereits auf den Transportwegen zu den Versenkungsgebieten chemische Kampfstoffe über Bord gegeben wurden.

Durch Erlass des Bundesverkehrsministeriums vom 09.03.1993 wurde das BSH beauftragt, eine „Untersuchung der bekannten und vermuteten Versenkungsgebiete im Bereich des deutschen Festlandsockels durch geeignete Verfahren zur Identifizierung von Kampfstoffmunition und Vervollständigung der Angaben über Versenkungsstellen“ durchzuführen. Ein ausführlicher Bericht ist als Anlage 10.4.1.1 beigelegt.

Das BSH hat die 1994 begonnenen magnetischen und hydroakustischen Kartierungsarbeiten im Herbst 1997 abgeschlossen. Für den Teil der Transportwege, der sich auf deutschem Festlandsockelgebiet befindet, liegen flächendeckend Daten vor. Insgesamt wurden ca. 230 Objekte verschiedener Größenordnung gefunden, die

aufgrund geophysikalischer Indikation eisenhaltigen Objekten zugeordnet werden. Ausgehend von den Ergebnissen der „Side Scan“- und Objektsuchsonar-Untersuchungen liegen von diesen jedoch nur ca. 70 auf dem Meeresboden und sind somit visuellen Identifizierungsmethoden zugänglich. Die übrigen Objekte sind vollständig eingesandet.

In Amtshilfe für das BSH hat die Deutsche Marine von April bis August 1997 das Minenjagdboot DILLINGEN eingesetzt. Mit Hilfe eines ferngesteuerten Unterwasserfahrzeugs (Pinguin) wurden Videoaufnahmen der „sichtbaren“ Objekte aus ca. ein bis zwei Meter Entfernung angefertigt. Eine Begutachtung des Videomaterials unter Beteiligung des Kampfmittelräumdienstes ergab, dass es sich bei dem größten Teil der Objekte weder um Kampfstoffmunition, noch um konventionelle Munition handelt, sondern um ungefährliche Gegenstände wie beispielsweise versunkene Tonnen, Wrackteile, Kisten und Anker. Bei vier Gegenständen besteht jedoch Munitionsverdacht: Zwei Objekte sehen aus wie Bomben, ein Gegenstand hat Ähnlichkeit mit einer Granate, ein weiterer hat die Form eines Granaten-Packgefäßes. Nur eine aus unmittelbarer Nähe erfolgende Inspektion durch Taucher kann zur Identifizierung dieser Objekte beitragen.

2.4.2.4 Bewertung von Gebieten außerhalb des Betrachtungsraumes

2.4.2.4.1 Britische Seegebiete - Studien von Beddington und Kinloch

Eine der umfangreichsten Literaturstudien wurde 2005 von Beddington und Kinloch am Imperial College in London erstellt. Die Auswertung umfasst sowohl Aussagen zu konventioneller Munition als auch zu chemischen Kampfstoffen.

Eine wesentliche, dabei aufgegriffene Fragestellung ist die nach der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Selbstdetonationen. Verschiedene Literaturquellen weisen auf solche spontanen Detonationen hin. Hinweise aus seismischen Aufzeichnungen bezüglich verschiedener Ereignisse in der Irischen See im Umfeld von Beaufort's Dyke lassen im Grunde keine andere Schlussfolgerung zu. Dennoch liegt bisher noch kein definitiver Beweis für derartige Erscheinungen vor. Sofern spontane Detonationen eintreten, können sie potentiell weitere Detonationen auslösen. Die Wahrscheinlichkeit solcher Explosionen hängt stark von den verwendeten Sprengstoffen ab. So wird etwa Pikrinsäure-basierten Sprengstoffen wie Lyddite (nach dem ersten

Herstellungsort auf englischem Boden: Lydd, Kent, England) oder Shellite (weniger schlagempfindliche Mischung von 70% Lyddite mit 30% Dinitrophenol) eine wesentlich höhere Explosionsgefahr beigemessen als TNT. Insgesamt wird jedoch davon ausgegangen, dass selbst von größeren Explosionen in Versenkungsgebieten keine bedeutenden Gefahren ausgehen.

Ein anderer Schwerpunkt der Studie befasst sich mit schädlichen Auswirkungen toxischer Substanzen aus Munitionsversenkungen. Danach können mit dem vorhandenen Wissensstand keine klaren Schlussfolgerungen in dieser Frage gezogen werden. Während etwa die Untersuchungen des Marine Laboratory in Aberdeen für den Fisheries Research Services Report 1995 trotz großer Munitionsmengen in Beaufort's Dyke keine Nachweise problematischer Auswirkungen des versenkten Materials erbracht haben, wurden demgegenüber in der Barentssee deutliche Hinweise auf derartige Schädigungen festgestellt. Eine klare Abgrenzung gegenüber industrieller Verschmutzung konnte hier jedoch nicht getroffen werden. Beddington und Kinloch (Imperial College 2003) ziehen daraus die vorsichtige Schlussfolgerung, dass die unterschiedlichen Wassertiefen und ozeanographischen Verhältnisse hier die entscheidende Rolle spielen könnten. In flachen Meeren bzw. Meeresteilen unter 100 m Wassertiefe scheint danach die Gefahr nachweisbarer toxischer Auswirkungen deutlich höher als in den größeren Wassertiefen der Versenkungsgebiete des Nordost-Atlantiks zu sein.

Eine ebenfalls immer wieder zu beobachtende Erscheinung ist die von Munitionsfunden am Strand. Während davon auszugehen ist, dass größere Munition wie Bomben oder Granaten nicht allein durch natürliche Vorgänge an den Strand gelangen kann, stellt sich dies bei kleinen phosphorhaltigen Munitionsteilen anders dar. Diese können schwimmfähig sein und so an den Strand verdriftet werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass derartige Vorgänge zwar auch durch natürliche Ereignisse und Korrosionsprozesse ausgelöst werden können, die ACOPS-Studie (2003) zeigt jedoch auf, dass angespülte Munition mit hoher Wahrscheinlichkeit mit anthropogenen Störeinflüssen wie beispielsweise Pipelinebau und Rohstofferkundung zunimmt.

2.4.2.4.2 Gesamt-Ostsee – Studien von Koch

Eine aktuelle und umfangreiche Arbeit stellt die Dissertation von Koch dar (2009). Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt deutlich auf den chemischen Kampfmitteln, trifft aber auch Aussagen zu konventioneller Munition.

Unter anderem wird darin auf die Problematik der Korrosion von Munitionsbestandteilen und deren zeitlichen Ablaufs eingegangen. Diesbezügliche Einflussfaktoren sind beispielsweise Wandstärke und Materialqualität der verschiedenen Munitionshüllen sowie hydrographische Parameter wie Temperatur, Sauerstoffgehalt und Strömungsverhältnisse. In Untersuchungen russischer Wissenschaftler (Malyshev 1996) wird geschlussfolgert, dass die Freisetzungsmechanismen einer starken Periodizität unterliegen. Danach ist davon auszugehen, dass ein bedeutender Scheitelpunkt hinsichtlich der vollständigen Öffnung der Hüllen in der Mitte dieses Jahrhunderts zu verzeichnen sein wird, verbunden mit entsprechender Freisetzung der jeweiligen Inhaltsstoffe. Demgegenüber gehen andere Arbeiten von einer nahezu linearen Entwicklung oder aber einer Gauß'schen Normalverteilung aus (Van Ham 2001), wobei letzteres Szenario von Koch favorisiert wird. Danach ist der Höhepunkt der Stoffemissionen aus derartigen Quellen bei ca. 250 Jahren nach der Versenkung anzusetzen, wobei bereits deutlich vorher signifikante Mengen in die Umwelt gelangen. Hinsichtlich der Korrosionsthematik ist zusammenfassend festzustellen, dass derzeit keine belastbaren Aussagen dazu vorliegen, welches zeitliche Szenario für die korrosiven Prozesse tatsächlich anzusetzen ist.

Auch in dieser Arbeit wird auf die Thematik der Selbstdetonationen eingegangen. Über die noch weitgehend ungeklärten Fragen hinsichtlich Auftretens und Häufigkeit derartiger Erscheinungen hinaus ist bei diesem Thema zu beachten, dass hierbei die Gefahr von Kettenreaktionen durch Zündung benachbarter Munition besteht. Diese können dann ggf. zeitgleich eine große Menge an schädlichen Substanzen freisetzen („sudden release“-Effekt), mit allen damit verbundenen Folgen für die Umwelt. Hinzu kommt, dass neben den mit der Explosion verbundenen Gefahren beispielsweise für Menschen und Schiffe hier ein weiterer Gefährdungsaspekt ins Spiel kommt. Insbesondere bei alter Munition steigt die Wahrscheinlichkeit einer unvollkommenen Umsetzung des Sprengstoffs. Durch die dabei entstehenden Substanzen können weitere, sich von den ursprünglichen Wirkstoffen oder deren Folgeprodukten unterscheidende, Substanzen entstehen.

dende toxische Wirkungen bzw. allgemein als negativ zu bewertende Folgen entstehen.

Hinsichtlich möglicher Handlungsszenarien unterscheidet Koch vier verschiedene Alternativen. Das „Endlager-Szenario“ (belassen am derzeitigen Ort) ist danach allenfalls in Verbindung mit einer umfassenden Überwachung (Monitoring) in Betracht zu ziehen. Das „By the way“-Szenario (Beseitigung von Zufallsfunden) wird als zwar kostengünstig, aber wenig effizient klassifiziert. Hohe Effizienz wird demgegenüber dem „Hot spot“-Szenario (Konzentration auf Schwerpunktgebiete) beigemessen, da hier hoch effiziente und relativ kostengünstige Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen möglich scheinen. Das sogenannte „Full clean up“-Szenario (vollständige Sanierung) ist nach Koch zwar aus emissionstechnischer Sicht als effektivste Lösung anzusehen, wird aber zugleich als technisch und finanziell enorm aufwändig und damit letztlich als unrealistisch eingestuft.

Ein interessanter Ansatz besteht in der von Koch entwickelten EDV-basierten Methode zur Gefährdungsermittlung einzelner Versenkungsgebiete. Dieses FRATSAD (First Risk Assessment Tool for Subaquatic Ammunition Dumpsites) genannte EDV-Werkzeug enthält unter anderem eine Stoffdatenbank und zielt auf eine Erstbewertung der in solchen Gebieten bestehenden Gefährdungslage ab. Konkrete Erfahrungen mit der Anwendung sind derzeit nicht bekannt. Es bleibt daher abzuwarten, inwieweit sich diese Methode als anwendungsreif und praxistauglich erweisen wird.

Aufgrund seiner Recherchen zieht Koch den Schluss, dass „die Indizien für ein dringend anzuratendes Handeln“ sich häufen, da sich die Situation nach seiner Einschätzung eher zuspitzt als entspannt. Zugleich weist er auf einen in diesem Themenfeld umfassend gegebenen Forschungsbedarf hin.

2.4.2.4.3 Untersuchungen im Bornholm-Becken zu den Auswirkungen chemischer Kampfstoffe auf das marine Ökosystem

Das Bornholm-Becken ist mit rund 35.000 t chemischer Kampfstoffmunition das am stärksten belastete Gebiet in der Ostsee. Im Rahmen des EU-Projekts „Modelling of Ecological Risks related to sea-dumped Chemical Weapons“ (MERCW, <http://www.mercw.org>) wurden seit 2005 Untersuchungen zu den Versenkungsgebieten des östlichen Skagerrak, des Gotland-Beckens, vor allem jedoch zum Versen-

kungsgebiet des Bornholm-Beckens durchgeführt. Ein zusammenfassender Bericht ist als Anlage 10.4.2.4 beigefügt.

Im Rahmen von geophysikalischen Untersuchungen konnte ein genaueres Bild über eingesedimentierte Munitionskörper und Schiffswracks im Versenkungsgebiet erhalten werden. Hierbei ist auch außerhalb des ausgewiesenen Versenkungsgebiets Munition gefunden worden. Hinsichtlich des Zustands der Munition und Wirkmittel wurde festgestellt, dass die in den letzten 20 Jahren aufgefishete Munition nach Angaben von Fischern und lokalen Gruppen fast komplett korrodiert war und keine Wirkmittel mehr enthielt, wobei unbehülltes Zäh-Lost in bröckeliger Klumpenform auftrat.

Eine Untersuchung der Meeresumwelt im Versenkungsgebiet und in der Umgebung hinsichtlich Kontamination mit Kampfstoffen erfolgte mittels chemischer Analytik unter Verwendung von Proben des Sediments, des bodennahen Wassers und des Porenwassers. In keiner Probe des bodennahen Wassers konnten Kampfstoffe (Yperit, α -Chloracetophenon, Clark I, Adamsit, sowie Arsinöl-Komponenten) oder deren Abbauprodukte nachgewiesen werden. In einer von 59 Sedimentproben konnte intakter Kampfstoff, die stabile Arsinöl-Komponente Triphenylarsin, nachgewiesen werden. In vier Proben des Porenwassers und in 56 Sedimentproben aus insgesamt je 59 Proben wurden Abbauprodukte von Kampfstoffen nachgewiesen.

Durch mikrobiologische Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass spezielle, im Versenkungsgebiet vermehrt vorkommende Mikroorganismen einerseits gegenüber chemischen Abbauprodukten des Senfgases (Lost, Yperit) unempfindlich, andererseits auch in der Lage sind, diese weiter zu verstoffwechseln und abzubauen. Die betreffenden Mikroorganismen traten an 40 % der Beprobungsorte im Versenkungsgebiet, jedoch nur an 3 % der außerhalb des Versenkungsgebiets befindlichen Stationen auf. An den Stellen Ihres Auftretens im Versenkungsgebiet war zudem die Vielfalt der mikrobiologischen Population eingeschränkt, weshalb diese Mikroorganismen letztendlich als Indikator für die Gegenwart von Abbauprodukten des Yperits anzusehen sind. Die Ergebnisse zeigen das Potential zur Selbstreinigung von mit Kampfstoffen kontaminiertem Wasser und Sediment durch spezielle Mikroorganismen. Unter den physikochemischen Bedingungen des Bornholms-Beckens rechnen die Autoren mit einem fast vollständigen Abbau der freigewordenen Kampfstoffe innerhalb von 50-100 Jahren.

Innerhalb eines theoretischen Untersuchungsansatzes führten Modellrechnungen zu dem Ergebnis, dass ein Risiko für die Fischpopulation nicht völlig ausgeschlossen werden kann und weitere gebietsbezogene Risikoanalysen als notwendig erachtet werden. Befragte Fischer haben bisher keine Veränderungen der Fischpopulationen auf die mögliche Gegenwart von Kampfstoffen zurückführen können.

Das ökologische Risiko von chemischen Kampfmitteln und darin enthaltenen Kampfstoffen für die Ostsee ist nach Einschätzung der Autoren trotz der bisherigen Ergebnisse schwer abzuschätzen. Es wird auf den Bedarf nach weiteren Untersuchungen zur Absicherung der bisherigen Ergebnisse hingewiesen. Insbesondere sollte die Ausdehnung der Versenkungsgebiete präziser erfasst und das Verhältnis von intakter und korrodierter Munition im Sediment bestimmt werden. Weiterhin ist eine Verbesserung der chemischen Analyseverfahren sowie der ökotoxikologischen und physikochemischen Informationen anzustreben. Durch zu entwickelnde ökotoxikologische Indikatoren könnte das Vorhandensein von chemischen Kampfstoffen bzw. -mitteln angezeigt werden. Zudem wird eine Verbesserung der Kenntnisse über das Verhalten von (Werk-) Stoffen und über Transportmechanismen im marinen Milieu empfohlen.

Mit den offenen Fragestellungen des MERCW-Projekts und verwandten Thematiken beschäftigt sich das derzeit laufende CHEMSEA-Projekt (s. Kap. 2.5.4).

2.4.2.4.4 Ergänzende Untersuchungen in Nord- und Ostsee

Die Ergebnisse über Untersuchungen im Skagerrak sind als Anlage 10.4.2.2 beigelegt. Untersuchungen zum Versenkungsgebiet Gotland-Becken wurden im Rahmen des MERCW-Projekts durchgeführt (vgl. Kap. 2.4.2.4.3, <http://www.mercw.org>).

2.5 Internationale Aktivitäten zum Schutz der Meere

Die Versenkung von chemischer und konventioneller Munition war weltweit bis in die 70iger Jahre hinein allgemein akzeptierte und gängige Praxis. Steigendes Umweltbewusstsein, sowie die Besorgnis über die möglichen Auswirkungen auf das Meer führte jedoch bereits in den 60iger Jahren weltweit zu einer Abnahme der Einbringungsaktivitäten.

Mit dem Inkrafttreten verschiedener Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt seit Beginn der 70iger Jahre wurde die Versenkung chemischer und biologischer Kampfstoffmunition explizit verboten sowie die Versenkung konventioneller Munition über das allgemeine „Dumping“-Verbot untersagt (in den Ausnahmefällen wird die konventionelle Munition nicht aufgeführt). Davon ausgenommen sind Einbringungen in akuten Gefahrensituationen.

2.5.1 „London Dumping“-Übereinkommen / London-Protokoll

Das „Übereinkommen über die Verhütung der Meeresverschmutzung durch das Einbringen von Abfällen und anderen Stoffen“ (London Convention) wurde 1972 in London geschlossen und trat 1975 mit weltweitem Gültigkeitsbereich in Kraft. Im November 1996 wurde die „London Convention“ neuen Entwicklungen angepasst (Protokoll vom 7. November 1996 zum London Übereinkommen). Danach ist unter anderem die Einbringung von Munition im weltweiten Konventionsbereich untersagt. Davon ausgenommen ist die Einbringung in akuten Gefahrensituationen.

2.5.2 OSPAR-Übereinkommen

Das „Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks“ (einschließlich der Nordsee; OSPAR-Übereinkommen) wurde 1992 in Paris geschlossen und ist seit 1998 in Kraft. Vorläufer waren die Meeresschutzübereinkommen von Oslo (Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch das Einbringen durch Schiffe und Luftfahrzeuge, 1972) und Paris (Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung vom Lande aus, 1974). In Artikel 4 in Verbindung mit der Anlage 2 wird jegliche Einbringung von Stoffen ausdrücklich untersagt. Dieses Verbot ist umfassend auszulegen, d.h. es umfasst auch chemische und konventionelle Munition. Vom Einbringungsverbot ausgenommen sind die in Anlage 2, Artikel 3, Ab-

satz 2 genannten Stoffgruppen, sowie die Einbringung von Stoffen in akuten Gefahrensituationen (Anlage 2, Artikel 7).

Die OSPAR-Gremien befassen sich seit rund 10 Jahren intensiv mit der chemischen und konventionellen Munition. Die Aktivitäten spiegeln sich in folgenden, vier wesentlichen Veröffentlichungen wider:

- ✓ Implementation of OSPAR Recommendation 2003/2 Database on Encounters with Dumped Conventional and Chemical Munitions, 2009 Nr.439 [*Überblick über die bekannten Einbringungsorte im Konventionsbereich; basiert auf den Meldungen der Vertragsstaaten*].
- ✓ Assessment of the Impact of Dumped Conventional and Chemical Munitions, update 2009 [*Beschreibung des Gefahrenpotentials, das von der eingebrachten chemischen und konventionellen Munition ausgeht*].
- ✓ Convention-wide Practices and Procedures in relation to marine dumped chemical weapons and munitions, 2004 Nr.185 [*Beschreibung, wie das Problem der im Meer versenkten Munition in den Vertragsstaaten behandelt wird, sowie Richtlinien für Fischer und Küstenbewohner*].
- ✓ Kapitel „Dumped Munitions“ im Quality Status Report 2010 Nr. 497 (siehe Anlage 10.4.2.1).

Alle Berichte sowie weitere Informationen und Untersuchungsergebnisse sind auf der Webseite der Kommission (www.ospar.org), sowie in Kapitel 2.4.2 und den Anlagen 10.4.2.1 und 10.4.2.2 verfügbar.

2.5.3 Helsinki-Übereinkommen (HELCOM)

Das „Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebiets“ (Helsinki Convention) wurde 1974 von den Ostsee-Anrainerstaaten geschlossen. 1992 wurde das Übereinkommen aufgrund neuer politischer Entwicklungen neu gefasst (Inkrafttreten 2000). In Art. 11 des Übereinkommens wird die jegliche Einbringung von Stoffen ausdrücklich untersagt. Dieses Verbot ist umfassend auszulegen, d.h. es umfasst auch chemische und konventionelle Munition. Vom Einbringungsverbot ausgenom-

men sind lediglich die Einbringung von Baggergut sowie die Einbringung von Stoffen in akuten Gefahrensituationen (Art.11, § 4).

In Betrachtungen der ins Konventionsgebiet eingebrachten Munition behandeln die Helsinki-Vertragsstaaten bisher nur die chemischen Kampfmittel. Die bisherigen Aktivitäten spiegeln sich in den folgenden Veröffentlichungen wider:

- ✓ The Final Report of the *ad hoc* Working Group on Dumped Chemical Munitions (HELCOM CHEMU) to the 16th Meeting of the Helsinki Commission (1995).
- ✓ Report on Chemical Munitions Dumped in the Baltic Sea, Report to the 15th Meeting of Helsinki Commission 8-11 March 1994 from the *ad hoc* Working Group on Dumped Chemical Munitions (HELCOM CHEMU), January 1994.

Darüber hinaus werden jährlich die Vorkommnisse und Unfälle mit chemischen Kampfstoffen von den Vertragsstaaten gemeldet und von Dänemark zusammengefasst an die Kommission weitergeleitet.

Im März 2010 haben die Helsinki-Vertragsstaaten eine Arbeitsgruppe eingesetzt (HELCOM MUNI - „HELCOM *ad hoc* Expert Group to update and review the existing information on dumped chemical munitions in the Baltic Sea“), um den Wissensstand über chemische Munition in der Ostsee auf den aktuellen Stand zu bringen. Die Gruppe hat im Herbst 2010 ihre Arbeit aufgenommen. Die Thematik der konventionellen Munition ist durch die Helsinki-Kommission bisher nicht aufgegriffen worden. Am vorliegenden Bericht beteiligte Vertreter des Bundes (Repräsentanten des „Netzwerks Munition“ der Bundesregierung aus BMU und dem Geschäftsbereich des BMVBS) sowie aus Schleswig-Holstein (IM SH) arbeiten bei HELCOM MUNI mit. So wird sichergestellt, dass die im vorliegenden Bericht erarbeiteten Erkenntnisse in die HELCOM-Arbeit einfließen und zukünftig ein Informationsaustausch zwischen der vorliegenden nationalen Studie mit HELCOM und weiteren Projekten aus dem Bereich der EU-Ostseestrategie stattfinden kann (s. unten).

Alle Berichte sowie weitere ausführliche Informationen und Untersuchungsergebnisse sind auf der Webseite der Kommission (www.helcom.fi), sowie in Kapitel 2.4.2 und den Anlagen 10.4.2.3 und 10.4.2.4 verfügbar.

2.5.4 EU-Ostseestrategie

Der Europäische Rat hat im Oktober 2009 den Beschluss zur Umsetzung der EU-Ostseestrategie gefasst. Ziel der Strategie sind Verbesserungen in den Bereichen Umwelt, Wirtschaft, Infrastruktur und Sicherheit der Region durch gemeinsames, ostseeweites Handeln. Grundlage der Umsetzung ist ein Aktionsplan, der 15 prioritäre Handlungsfelder definiert, denen jeweils konkrete Aktionen und Projekte zugeordnet sind. Priorität 3 des Aktionsplans lautet „Verringerung des Einsatzes und der Auswirkungen gefährlicher Stoffe“.

Eines der sog. Flaggschiffprojekte dieser Priorität ist die „Bewertung der Notwendigkeit der Beseitigung chemischer Waffen“. Federführend für das Projekt ist die zentrale Umweltbehörde Polens, beteiligt sind alle HELCOM-Vertragsstaaten. Somit sind die HELCOM-Aktivitäten (Arbeitsgruppe HELCOM MUNI, siehe oben) in diesem Bereich Bestandteil der EU-Ostseestrategie.

Ein weiteres Flaggschiffprojekt der EU-Ostseestrategie unter polnischer Federführung ist das Projekt CHEMSEA (Chemical Munitions Search & Assessment), das mit 3,6 Mio. € aus dem EU-Ostseeprogramm (INTERREG IV B) gefördert wird und von Juni 2011 bis März 2014 läuft. CHEMSEA ist ein Kooperationsprojekt führender wissenschaftlicher Institute und entscheidungsrelevanter Behörden, das bestehende Lücken im Bereich der Forschung, aber auch der Fundstellen schließen will. Im Detail strebt CHEMSEA eine Fortführung des 2005-2008 durchgeführten MERCW-Projekts an (Kapitel 2.4.2.4.3). Eine detailliertere Kartierung und ökologische Risikobewertung der offiziellen Versenkungsgebiete Bornholm-Becken, Gotland-Becken und Skagerrak soll erfolgen. Als Erweiterung zu MERCW sind entsprechende Untersuchungen auch für das inoffizielle Versenkungsgebiet der Gdansk-Tiefe geplant. Weiterhin wird CHEMSEA Richtlinien zur Entsorgung von mit Kampfstoff-typischen Verbindungen kontaminierten Sedimenten entwickeln und bereitstellen, Daten zum geografischen Ausmaß der Kampfstoffkontamination des Meeresbodens liefern und eine Einschätzung zu Wahrscheinlichkeit, Ausbreitungsverhalten und ökologischen Folgen einer Kampfstofffreisetzung aus versunkener Munition geben. Insgesamt soll eine Verbesserung der Sicherheit von Unterwasseraktivitäten, unter anderem auch durch Erstellung von Richtlinien und Schulung der relevanten Akteure und Verwaltungsstellen,

erreicht werden. Zu diesem Zweck sollen die Ergebnisse des Projekts auch an HEL-COM und relevante Verwaltungsstellen auf Länderebene verteilt werden.

Weitere Informationen zum CHEMSEA-Projekt und den teilnehmenden Kooperationspartnern finden sich auf der Webseite des Projekts (<http://chemsea.iopan.gda.pl>) sowie auf den Seiten des „Baltic Sea Region Programme“ (<http://eu.baltic.net>).

2.5.5 Weitere Aktivitäten

2.5.5.1 Bilaterale Aktivitäten

Im Jahr 1996 wurde im Rahmen eines bilateralen Abkommens zwischen der Bundesrepublik Deutschland und Lettland durch die Marinen beider Nationen im Bereich der Rigaer Bucht gezielt nach Altlasten gesucht und gefundene Objekte beseitigt. 1998 und 1999 erfolgte die Wiederholung dieses Unternehmens. Insgesamt wurden 65 Minen, Bomben und Torpedos gefunden und beseitigt. Diese bilaterale Arbeit wurde 1999 zu Gunsten der internationalen Operation OPEN SPIRIT aufgegeben.

2.5.5.2 NATO

Minenabwehreinheiten der NATO-Mitgliedsstaaten beteiligen sich regelmäßig an den verschiedenen „Post-War-Operations“, Minenräumoperationen zur Beseitigung von Altlasten. Im Bereich der Ostsee sind dies Operationen wie OPEN SPIRIT oder MCMOPLIT; MCMPOLAT oder MCMOPEST (Minenabwehroperationen Litauen, Lettland und Estland). Hier üben die Minenabwehreinheiten zusammen mit den nationalen oder anderen Einheiten die Minenabwehr und -beseitigung. Ein besonderer Vorteil dieser Operationen ist das Trainieren der Einheiten und Besatzungen in ihrer Hauptaufgabe sowie das Auffinden und Beseitigen von Altlasten. So konnten in den genannten Operationen seit 1994 bereits über 1.000 Minen, Bomben, Torpedos und Wasserbomben gefunden und beseitigt werden.

2.5.5.3 „Baltic Ordnance Safety Board“

Auf Grund der positiven Erfahrung des bilateralen Einsatzes „BALTIC SWEEP 1996“ zur Beseitigung von Altlasten in der Ostsee wurde diese Maßnahme erweitert. Bereits 1997 beteiligten sich Schweden und Estland an dieser Operation, die anderen Ostseeanrainer folgten in den Jahren darauf. Inzwischen sind alle Ostseeanrainer,

sowie NATO-Staaten mit wechselndem Einsatzmittelaufkommen daran beteiligt. Das Haupteinsatzgebiet ist die Küste der drei baltischen Staaten Litauen, Lettland und Estland. Hier wurden seit 1997 mehr als 600 Objekte, Minen, Bomben, Torpedos und Wasserbomben aufgespürt und entsprechend beseitigt. Das BOSB („Baltic Ordnance Safty Board“), eine Kommission von Marinespezialisten der Ostseeanrainerstaaten, sammelt die verfügbaren Daten über Altmunition und gibt zur Priorisierung der abzusuchenden Gebiete Empfehlungen heraus. Insgesamt betrachtet ist dieser multinationale Einsatz zur Reduzierung des Risikos von Altlasten ein Erfolg.

2.5.5.4 Chemiewaffenkonvention (CWC)

Die „Convention on the Prohibition of the Development, Production, Stockpiling and Use of Chemical Weapons and on their Destruction“ (CWC) ist ein internationales Übereinkommen von Mitgliedsstaaten der Vereinten Nationen. Es wurde am 13. Januar 1993 in Paris aufgelegt und trat am 29. April 1997 in Kraft. Das Übereinkommen verbietet die Entwicklung, die Herstellung, den Besitz, die Weitergabe sowie den Einsatz chemischer Waffen. Die Konvention sieht eine Reihe umfassender und konkreter Abrüstungsschritte vor. Mit Hinterlegung der Ratifizierungsurkunde bei den Vereinten Nationen verpflichten sich die Unterzeichnerstaaten, vorhandene Bestände zu deklarieren und bis zum Jahr 2012 sämtliche Chemiewaffen unter internationaler Aufsicht zu vernichten. Die CWC bezeichnet als chemische Waffen neben den toxischen Chemikalien auch Munition oder Geräte, die eigens dazu entworfen sind, durch Ausnutzung der Eigenschaften der aufgeführten Chemikalien den Tod oder sonstige Schäden herbeizuführen. Gemäß Art. II Nr. 2 CWC versteht man unter einer toxischen Chemikalie jede Chemikalie, die durch ihre chemische Wirkung auf Lebensvorgänge den Tod, eine vorübergehende Handlungsunfähigkeit oder einen Dauerschaden bei Mensch und Tier herbeiführen kann.

Die Organisation für das Verbot chemischer Waffen (OPCW) mit Sitz in Den Haag ist seit Inkrafttreten der Konvention 1997 mit der Durchführung von Überwachungsmaßnahmen zur Einhaltung der Konvention beauftragt. In einem „Verifikationsanhang“ zum Übereinkommen sind die einzelnen Schritte zur Vertragserfüllung festgelegt. Bei Verstößen kann die OPCW sowohl die UN-Generalversammlung als auch den UN-Sicherheitsrat einschalten, wobei letzterer die Nichteinhaltung mit Sanktionen ahnden kann. Die Bundesrepublik Deutschland ratifizierte das Übereinkommen bereits

im Jahr 1994. Inzwischen haben insgesamt 188 Staaten das Übereinkommen ratifiziert.

3 Eigenschaften der Munition und heutiger Zustand

Munition unterscheidet sich je nach Einsatzzweck in ihrer Bauweise und den enthaltenen Wirkmitteln. Neben konstruktionsrelevanten Merkmalen kann die Verfügbarkeit von Ressourcen während der Produktion die letztendliche Zusammensetzung der Munition beeinflussen. Die Zusammenstellung und Art der verwendeten Materialien wirkt sich auf den Alterungsprozess eines Munitionskörpers aus. Metalle korrodieren und werden brüchig, Sprengstoffe und Wirkmittel ändern ihre Zusammensetzung. Einen maßgeblichen Einfluss auf die Alterung haben die Umweltbedingungen. Das salzhaltige marine Milieu fördert generell die Korrosion von Metallen. Weitere Faktoren sind unter anderem die spezifische Lage eines Munitionskörpers auf dem Meeresboden oder im Sediment und etwaige den Körper umfließende Strömungen, die die Verfügbarkeit von Sauerstoff bestimmen und zu mechanischen Abnutzungen führen können. Wird die Umhüllung durchbrochen, werden die größtenteils als gefährlich bis sehr gefährlich wassergefährdend klassifizierten Inhaltsstoffe der Munition in die Meeresumwelt freigesetzt. Abhängig von ihren Eigenschaften können sie als Partikel verteilt und / oder gelöst werden. Ein Abbau der Stoffe ist prinzipiell möglich, nimmt allerdings insbesondere je nach chemischer Reaktivität der betreffenden Chemikalie und abhängig von weiteren abiotischen oder biotischen Umgebungsfaktoren sehr unterschiedliche Zeiträume - von Minuten bis zu Jahrzehnten - in Anspruch.

Im Folgenden wird ein Überblick über die generellen Eigenschaften der deutschen Nord- und Ostsee gegeben, auf verschiedene Munitionstypen und Bauformen, sowie auf die physikalisch-chemischen Eigenschaften und die Toxizität der Inhaltsstoffe relevanter konventioneller und chemischer Munition eingegangen. Weiterhin wird die Problematik der generellen Beschreibung eines heutigen Zustands der im Meer befindlichen Altmunition erläutert.

3.1 Deutsche Meere und ihre Eigenschaften

Nord- und Ostsee sind zwar beide Teile des Nordatlantiks, unterscheiden jedoch in ihren Eigenschaften stark voneinander.

Die Nordsee ist ein flaches Schelfmeer, das mit dem Nordatlantik über die enge Straße von Dover im Südwesten und eine weite Öffnung im Norden verbunden ist. Die komplexen hydrographischen Verhältnisse sind einerseits durch den Einstrom salzreichen Atlantikwassers, andererseits durch den Einstrom salzarmen Ostseewassers über das Kattegat und das Skagerrak und durch erhebliche, eine Ausübung bewirkende Süßwasserzuflüsse bestimmt. Aufgrund der Festlandsabflüsse nimmt der Salzgehalt entsprechend von der zentralen Nordsee zu den Küsten hin ab. Die geographische Salzgehaltsverteilung unterliegt allerdings relativ geringen jahreszeitlichen Änderungen und spiegelt die mittlere zyklonale (d.h. gegen den Uhrzeigersinn drehende) Nordseezirkulation wider. Die an der Oberfläche gemessene Strömung weist vor der niedersächsischen Küste hauptsächlich nördliche Richtungen auf.

Die Ostsee ist eins der größten Brackwassermeere der Erde, mit rund 413.000 km² jedoch generell ein relativ kleines Meer. Sie ist nur durch sehr schmale und flache Verbindungen mit der Nordsee verbunden, was den Wasseraustausch zwischen beiden Meeren stark einschränkt. Während eine Zufuhr von Süßwasser über Flüsse erfolgt (z.B. Oder und Weichsel), strömt über die Verbindung der Belte und des Sunds in Form einer Bodenströmung salzreiches, schweres Nordseewasser in das relativ flache, südwestliche Ostseebecken ein. Bei entsprechender Menge und Dichte des einfließenden Wassers werden auch die tieferen, weiter östlich gelegenen Regionen versorgt. Dies geschieht jedoch nur selten in einem solchen Ausmaß, dass auch die tiefen östlichen Becken der Ostsee mit frischem Sauerstoff versorgt werden. Dieser Umstand spiegelt sich auch in der Salzgehaltsverteilung des Ostseewassers wider, die ein ausgeprägtes West-Ost-Gefälle aufweist.

Bedingt durch ihre Lage und Größe sind in der Ostsee nur sehr geringe Gezeitenbewegungen vorhanden. Die deutschen Küstengewässer der Nordsee zeichnen sich hingegen durch ausgeprägte Gezeitenströmungen und relativ geringe Wassertiefen aus. Diese generellen Randbedingungen werden vor allem während der Wintermo-

nate, aber auch im Herbst und Frühjahr, durch Starkwindereignisse überlagert, die dann zu erheblichen Strömungsgeschwindigkeiten, extremen Wellen bis zur Grundberührung (Grundsee) und dadurch tiefgreifenden Turbulenzen im Wasserkörper führen. Neben den Erosions- und Sedimentationsprozessen, die schon bei durchschnittlichen Gezeitenströmungen zu einer Umgestaltung der Bodentopographie im Wattenmeer führen, haben diese Starkwindereignisse tiefgreifende Auswirkungen auf die Verlagerung von Sedimenten und gegebenenfalls darin eingelagerten Fremdkörpern. Aufgrund von örtlichen Besonderheiten sind Erosion und Sedimentation aber nicht nur saisonal, sondern auch örtlich äußerst unterschiedlich. Während die gesamte Nordsee in der kalten Jahreszeit vertikal durchmischt ist, bildet sich im Sommerhalbjahr in weiten Seegebieten, in denen sich die am Meeresboden erzeugte Gezeitenstromturbulenz nicht bis in die winddurchmischte Oberflächenschicht auswirkt, eine thermische Schichtung aus. Im Übergangsbereich zwischen Oberflächen- und Bodenschicht werden starke vertikale Temperaturgradienten beobachtet. Tiefe und Ausprägung dieser Temperatursprungschicht bilden in der „Vegetationsperiode“ wichtige Randbedingungen für biogeochemische Prozesse, die sich oberhalb (Produktion von Biomasse) und unterhalb der sperrenden Sprungschicht (Abbau von Biomasse) ergänzen. In der Ostsee auftretende Strömungen sind dichte- (einströmendes Nordseewasser) und windbedingt, gehen jedoch praktisch nicht auf Gezeitenbewegungen zurück. Insgesamt weist der Wasserkörper der Ostsee eine starke vertikale Schichtung bzw. verminderte vertikale Durchmischung auf, die auf eine entsprechende Verteilung der Wassertemperatur und des Salzgehalts zurückgeht bzw. sich darin abbildet. Dies wirkt sich auch auf den Gelöst-Sauerstoffgehalt des Wassers aus. Während das Auftreten von Sauerstoffmangel in den tieferen Bereichen der Ostsee (ab ca. 15 m Tiefe) im Spätsommer ein regelmäßiges Phänomen ist, stellt dies im gut durchmischten Wasserkörper der Nordsee eher die Ausnahme dar. Generell unterliegen die genannten Parameter jahreszeitlichen Schwankungen. Dies gilt auch für den pH-Wert des Wassers, der generell leicht alkalisch ist und im Nordseebereich bei ca. 8,0-8,3 und in der Ostsee bei 7,5-8,4 liegt.

Für die Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen Meer und darin lagernder Munition können jedoch keine generellen Betrachtungen genügen. Auf lokaler Ebene können durch Gezeitenströmung und andere Effekte deutlich davon abweichende Gegebenheiten auftreten. Beispielsweise können Aussagen über den Einfluss von

Strömung auf ggf. am Meeresgrund freigesetzte Substanzen daher allenfalls in kleinräumigem Maßstab getroffen werden. Über den Wasseraustausch aus der Tiefe heraus an die Oberfläche können ebenfalls lediglich Trendaussagen getroffen werden. Sofern sich Sprungschichten ausgebildet haben, wird der Austausch hierdurch zwar deutlich gehemmt, jedoch keineswegs unterbunden. Ein wichtiger Faktor ist die Lage der Munition im oder auf dem Sediment und die damit einhergehende Verfügbarkeit von Sauerstoff, sowie die Beschaffenheit der Sedimente selbst. Schwermetalle und unpolare organische Schadstoffe (viele Munitionsinhaltsstoffe) lagern sich bevorzugt an schlickige Sedimente mit einem hohen Anteil organischen Kohlenstoffs an. Durch starke Strömungen, insbesondere bei Starkwindereignissen, kann es zu einem Transport belasteter Sedimente und enthaltener Fremdpartikel und -körper kommen. Nach erfolgter Ablagerung der Partikel kann es bei einem erneuten Auftreten von geeigneten Bedingungen zu einer Remobilisierung des eingetragenen Materials kommen. Diese sedimentdynamischen Prozesse können allerdings auch anthropogene Ursachen wie z.B. Baggerarbeiten haben. Weiterhin haben die Dichte und Beschaffenheit von Munitionskörper-bedeckenden Sedimenten einen großen Einfluss auf Reichweite, Empfindlichkeit und letztendlich den Erfolg von zum Auffinden von Munition unter Wasser eingesetzter Verfahren (s. Kap. 6.1).

Zusammenfassend kann für die deutsche Nord- und Ostsee festgehalten werden, dass eine belastbare Aussage bezüglich Zustand, Lagestabilität etc. versenkter Kampfmittel allein auf der Basis meereskundlicher Kennzahlen nicht getroffen werden kann. Korrosionsbeeinflussende Faktoren wie Sauerstoffgehalt oder Strömung variieren lokal sehr deutlich. Eine über die Qualität einer Ersteinschätzung hinausgehende, aussagefähige Beurteilung bedarf somit grundsätzlich einer kleinräumigen oder sogar kleinströmigen Betrachtung.

3.2 Informationen zu versenkten Kampfmittelarten

Im wahrsten Sinne des Wortes „kriegsentscheidend“ ist die Verfügbarkeit modernster Kampfmittel. Aus diesem Grund ist ihre Entwicklung stets eng mit dem technischen Fortschritt der jeweiligen Epoche verbunden. Jede naturwissenschaftliche Erkenntnis wurde und wird auf ihren militärischen Einsatzwert hin überprüft, wenn sie nicht sogar selbst den Antrieb für die Forschung gegeben hat. Heute gibt es daher eine immense Vielzahl unterschiedlichster Waffen und Munitionsarten. Kampfmittel können daher auch in viele verschiedene Kategorien eingeordnet werden. Zum besseren Verständnis im Zusammenhang mit diesem Bericht erscheint es nachrangig, die militärischen Zwecke zu kennen. Vielmehr treten andere Kriterien in Bezug auf die Beurteilung der latenten Gefahren verklappter Munition für Mensch und Umwelt als besonders relevant in den Vordergrund.

3.2.1 Übersicht

3.2.1.1 Vollgeschosse

Historische Kampfmittel waren überwiegend Vollgeschosse, die aus Rohrwaffen verschossen wurden. Die „Kanonenkugeln“ wurde meist aus Eisen gegossen. Bei Abbauprozessen im Meer verrosteten diese Körper daher zu Eisenoxid. Vollgeschosse findet man in modernen Zeiten überwiegend bei Handwaffenmunition. Diese Projektile werden aus Bleikernen gefertigt, die mit hochwertigen Metalllegierungen (Tombak, eine hoch Kupfer-haltige Messinglegierung) ummantelt werden. Abbauprozesse solcher Metallkörper sind sehr langsam, sie setzen jedoch enthaltene Schwermetalle frei.

Eine eigene Gruppe von Vollgeschossen stellen Urankernprojektile dar, wie sie zum Beispiel in moderner Panzermunition zu finden ist.

3.2.1.2 Sprengstoff

Eine Vielzahl von chemischen Verbindungen und Aufbereitungen mit Hilfsstoffen haben die Fähigkeit zur Detonation und dürfen daher „Sprengstoff“ genannt werden. Eine grundlegende Bedingung für den Einsatz als militärischer Sprengstoff in Waffen ist vor allem die Handhabbarkeit der Verbindungen, also die Zuverlässigkeit in Bezug auf die ausschließlich durch besondere Zündmittel durchführbare Auslösung der Detonationsreaktion. Vollkommen ungeeignet sind Verbindungen, die sich durch physi-

kalische Klimaeinflüsse schnell wieder zersetzen oder die mit Metallen weiter reagieren. Schlagempfindliche Sprengstoffe werden in Zündsystemen verwendet, weshalb diese bei der Kampfmittelbeseitigung häufig weit gefährlicher eingestuft werden als eine mit großer Menge stabilem Sprengstoff gefüllte Bombe.

3.2.1.3 Moderne Kampfmittel

Moderne Kampfmittel sind meist Hohlformen, mittels derer sich so genannte Wirkladungen ins Ziel transportieren lassen. Die Wirkung dieser Munition übersteigt die kinetische Energie eines verschossenen Vollgeschosses um ein Vielfaches. Außerdem können Wirkladungen so zusammengestellt werden, dass sie unterschiedliche Effekte erzielen. So entsteht je nach chemischer Zusammensetzung der verwendeten Wirkladung beispielsweise Nebel-, Spreng-, Brand- oder sogar Kampfstoffmunition.

Bei moderner Munition lassen sich **Baugruppen** unterscheiden, die zwar jeweils ganz unterschiedlich konstruiert sind, denen aber vergleichbare Aufgaben zukommen und daher auch ähnliche, hier besonders relevante Eigenschaften zugeordnet werden können:

- **Gefäß oder Mantel:** Die Hülle ist aus Stahl, Buntmetall, hochwertiger Metalllegierung oder aus Kombinationen dieser Werkstoffe, deren Wandstärke je nach Kampfmittel von wenigen Millimetern bis zu einigen Dezimetern reicht.

Die Dicke der Wandung an der schwächsten Stelle ist bei der Beurteilung der Umweltrelevanz verklappter Munition wesentlich.

- **Wirk- Ausstoß- und Übertragungsladung:** Feste oder flüssige Mischungen von überwiegend giftigen und / oder umweltgiftigen Chemikalien und weiteren Hilfsstoffen. Das Volumen dieser Ladungen ist je nach Einsatzzweck sehr unterschiedlich, von wenigen Gramm bis zu einigen Tonnen bei schweren Bomben, Luftminen oder Raketensprengköpfen. Die Übertragungsladung von 100 bis 1.000 Gramm dient der Entzündung der Wirkladung, nachdem diese durch den Impuls einer Initialladung von wenigen Gramm Masse entzündet wurde. Bei Brand- und Kampfstoffmunition setzen sehr unterschiedlich dimensionierte Ausstoßladungen den überwiegend flüssigen oder pulverförmigen Wirkstoff

frei. Die Trennung von Initial-, Übertragungs- und Wirkladungen ermöglicht die Konstruktion weitgehend transport- und handhabungssicherer Munition, wie sie für militärische Einsätze unabdingbar ist.

Alterungsprozesse verändern allmählich die Eigenschaften der chemischen Verbindungen. Von einigen gealterten Ladungen ist bekannt, dass sie heute zur Selbstentzündung neigen. Andere büßen ihre Handhabungssicherheit durch erheblich zunehmende Reibungs- oder Schlagempfindlichkeit ein.

- **Treibladung (bei Rohrwaffen):** Feste, meist aufbereitete (granulierte) und oft separat verpackte Chemikalienaufbereitung mit definiertem Abbrennverhalten zur schlagartigen Erzeugung großer Mengen Brandgase im Verschluss der Rohrwaffe. Bei Patronenmunition befindet sich die Treibladung in der Kartusche oder der Hülse, die überwiegend aus Buntmetallen, im Krieg aber auch aus Stahl, gefertigt wurden.
- **Zünder mit Initialladungen:** Oft ausgeklügelte, elektrochemisch beeinflusste Mechanismen mit Sicherungen, Schlagbolzen und sehr schlagempfindlichen Chemikalien wie zum Beispiel Quecksilbercyanat („Knallquecksilber“) oder Bleiazid als Initialladung.

Insbesondere diese, nur in Mengen von einigen Gramm vorhandenen Ladungen enthalten hohe Anteile von Schwermetallen.

3.2.1.4 Mit Kampfstoffen gefüllte Kampfmittel

Als eigene Gruppe von Kampfmitteln wird Kampfstoffmunition gesehen. Bei Kampfstoffmunition findet sich neben dem Zünder und der Übertragungsladung eine Ausstoßladung mit relativ wenig Sprengstoff. Der übrige Hohlraum ist mit einer Chemikalie gefüllt, die je nach Zusammensetzung reizende, lähmende oder gar tötende Wirkung entfaltet. Die Hohlräume von Kampfstoffgranaten für die Artillerie oder Kampfstoffbomben für die Luftwaffe wurden oft mit Schraubverschlüssen abgedichtet. Diese Schrauben können aus anderen Metallen als der Geschossmantel hergestellt sein, so dass insbesondere elektrochemische Prozesse zu erhöhter Korrosion an

dieser Stelle führen. Es wurde vielfach beobachtet, dass Kampfstoffmunition an dieser Stelle undicht wurde und der Kampfstoff entweichen konnte, lange bevor der Kampfmittelmantel selbst korrodiert war.

Neben dem eigentlichen Kampfstoff enthält diese Munition oft noch als chemische Stabilisatoren oder als so genannte „Maskenbrecher“ fungierende Begleitwirkstoffe. Als „maskenbrechend“ werden Verbindungen bezeichnet, die dafür sorgen, dass ergriffene Schutzmaßnahmen wie das Tragen einer Atemschutzmaske ihre Wirksamkeit verlieren oder von den Soldaten beispielsweise durch Hervorrufen eines intensiven Brechreizes nicht mehr aufrecht erhalten werden können.

Chemische Kampfstoffe werden nach ihren Wirkeigenschaften auf den menschlichen Organismus klassifiziert. Die Eigenschaften chemischer Kampfstoffe in der Umwelt sind sehr verschieden. Moderne Kampfstoffe werden in der Atmosphäre meist zügig abgebaut. Andere Verbindungen, wie zum Beispiel „Senfgas“ (Lost), sind jedoch sehr stabil und behalten ihre Gefährlichkeit auch bei wechselnden physikalischen Eigenschaften über viele Jahrzehnte.

3.2.2 Besonders relevante Munitionstypen

3.2.2.1 Bomben und andere Abwurfmunition (allgemein)

Bomben und Luftminen werden aus Luftfahrzeugen abgeworfen und erfahren ihre Beschleunigung aus der Erdanziehungskraft. Entsprechend enthalten sie keine Treibladungen. Weiterhin wurden die Zünder überwiegend erst unmittelbar vor dem Einsatz montiert, so dass einzeln versenkte Abwurfmunition oft ohne Zünder und damit weniger gefährlich ist.

Die Wandstärken der stählernen Bombenmäntel variieren je nach Einsatzzweck zwischen wenigen Millimetern bis hin zu den einige Dezimeter dicken Mänteln von so genannten „Panzerbomben“. Eine weitere wichtige Unterscheidung betrifft die Füllung der Bomben. Je nach Einsatzzweck kann ihr Hohlraum mit unterschiedlicher „Nutzlast“ gefüllt worden sein.

3.2.2.1.1 Panzerbomben

Panzerbomben haben besonders massive Mäntel und wirken sowohl kinetisch als auch durch ihre Wirkladungen. Diese Bomben korrodieren sehr langsam.

3.2.2.1.2 Brandbomben

Brandbomben dienen der Bezeichnung nach der Brandstiftung. Brandbomben spielten in den englischen Luftangriffen auf die deutschen Städte mit ihren vielen mittelalterlichen Gebäuden eine große Rolle, so dass auch heute noch viele Brandbomben, vor allem an Land, gefunden werden. Technisch weitgehend gleich sind Markierbomben („Tannenbäume“), mittels derer die Zielgebiete für den Bombenabwurf gekennzeichnet wurden. Brand- und Markierbomben sind mit einem Zündmechanismus, einer Ausstoßladung und einem selbstzündenden Brandbeschleuniger, oft auf Basis weißen Phosphors, gefüllt. Die Füllungen sind zähflüssig und kleben durch beispielsweise beigemengten Kautschuk fest an vielen Oberflächen.

Brandbomben sind besonders dünnwandig und rosten daher schnell durch. Der enthaltene weiße Phosphor wird dann frei und kann nach entsprechender Verdriftung unter bestimmten Umständen mit angeschwemmtem Bernstein verwechselt werden. Mehr zu dieser speziellen Problematik lesen Sie in Kap. 3.5.

3.2.2.1.3 Streubomben

Unter dem Begriff „Streubombe“ werden hier alle Formen von Munition verstanden, die für einen gemeinsamen Abwurf zusammengefasst sind, vor dem Aufschlag aber in einzelne, selbständig wirkende Sprengkörper aufgeteilt werden. In Versenkungsgebieten finden sich heute Abwurfbehälter mit Streumunition. Die enthaltenen, oft relativ kleinen „Bomben“ sind mit einfachsten Aufschlagzündern ausgestattet, deren kleine Bauart keine umfangreichen Sicherungsmechanismen zulässt. Um die Produktionskosten dieser Massenmunition niedrig zu halten, sind hier einfachste Materialien zum Einsatz gekommen, die der Korrosionswirkung des Seewassers nur wenig entgegengesetzt haben. Insbesondere bei der Kampfmittelbeseitigung ist diese Munition heimtückisch, denn ein intakter Abwurfbehälter lässt keinen Rückschluss auf den Zustand der Zünder und Bomben in seinem Inneren zu. Bezüglich denkbarer Schadstoffeinträge sind Streubomben weniger relevant als „normale“ Bomben, da der Gewichtsanteil der Behälter bezogen auf die Gesamtmasse größer ist als der des Sprengstoffs.

3.2.2.1.4 Wasserbomben

Wasserbomben dienen zur Abwehr und Bekämpfung von U-Booten. Der Körper von Wasserbomben besteht aus einem Metallzylinder, ähnlich einer Tonne. In diesen Bombenkörper ist die Sprengladung eingebracht, die ein Gewicht zwischen 10 und 140 Kilogramm hat. Zusätzlich ist eine Zündeinrichtung eingebaut, für die eine Vielfalt verschiedener Ausführungen existiert. Mit einem einstellbaren Wasserdruckschalter kann die Detonationstiefe eingestellt werden. Zeitzünder mit Uhrwerken oder mit pyrotechnischen Verzögerungen erlaubten es, Wasserbomben nach Zeitablauf zur Explosion zu bringen. Auch Zünder, die auf die Änderungen des Magnetfeldes durch passierende U-Boote reagierten, konnten in Wasserbomben eingesetzt werden.

3.2.2.2 Granaten für Rohrwaffen

Granaten für die vielen verschiedenen Rohrwaffen sind entsprechend ihrer Rohrdurchmesser (Kaliber) sehr unterschiedlich konstruiert. Generell sind sie eher dickwandig und haben einen Zünder an der Spitze. Weiterhin sind in viele Zündeinrichtungen Sicherungen eingebaut, die erst durch das Verschießen entsichert werden. Flakgranaten verfügen zudem über Selbstzerstörungszünder. Nach Erfahrungen bei der Kampfmittelräumung muss allerdings berücksichtigt werden, dass Korrosion Eisenteile innerhalb von aus Nichteisenmetallen gefertigten Zündern derart zerstören kann, dass Sicherungsmechanismen nicht mehr funktionieren oder vorgespannte Schlagbolzen ausgelöst werden. Granaten ab 4 Zentimetern Durchmesser aufwärts werden meist ohne Zünder transportiert. Es stehen verschiedene Zündsysteme zur Verfügung, die erst unmittelbar vor dem Abschuss aufgeschraubt werden. Versenkte Granaten größerer Kaliber können daher unbezündert versenkt worden sein.

Granaten wurden für alle denkbaren Zwecke konstruiert – sogar zum Verschießen von Flugblättern zu Propagandazwecken. Granaten mit Kampfstofffüllung enthalten 0,5 bis 5 Liter Kampfstoffaufbereitung. Mittels farbiger Ringe wurden die enthaltenen Füllungen von außen erkennbar gemacht. Mit dem Kampfstoff Tabun befüllte, deutsche Granaten waren zum Beispiel mit drei grünen Farbringen gekennzeichnet, woraus sich die englische Bezeichnung „Green ring 3“ ableitete.

3.2.2.3 Flugkörper

Die Wehrmacht verfügte über angetriebene Flugkörper, wie die Mittelstreckenrakete A 4 („V 2“). Diese Waffen trugen Sprengköpfe mit bis zu einer Tonne Amatol. Doch

auch die Brennstofftanks und andere Bauteile bergen erhebliche Gefahren bei der Kampfmittelbeseitigung. Insbesondere die aus einem dichten Metallgeflecht gefertigten Druckbehälter werden auch heute noch an norddeutschen Küsten gefunden.

3.2.2.4 Ankertauminen

Ankertauminen sind als Waffe seit 1848 in der Ostsee bekannt. Die Ankertaumine besteht aus dem Minengefäß, Ankerstuhl und Ankerseil. Das Minengefäß besteht aus einem kugelförmigen oder ovalen Metallbehälter mit entsprechend großem Durchmesser. In diesem Behälter sind neben der aus 30-350 kg Sprengstoff bestehenden Sprengladung die Zündeinrichtung und die Sicherungseinrichtung untergebracht. Zusätzlich hat das Minengefäß auf Grund der Größe genügend Auftrieb, so dass es in der Wassersäule schwimmend verankert werden kann.

Bei den Zündeinrichtungen kennen wir verschiedene Systeme. Am gebräuchlichsten ist die Bleikappenzündung, für die das Minengefäß mit einer Reihe von Bleikappen versehen ist. Im Inneren der Bleikappe befindet sich ein Glasbehälter mit Elektrolyt. Berührt ein Schiff diese Bleikappe, verbiegt diese dabei, der Glasbehälter zerbricht, der Elektrolyt gelangt in eine Trockenzelle und erzeugt eine Spannung, die zur Zündung der Sprengladung ausreicht. Ähnlich funktioniert die Pendelstoßzündung. Mit diesem Mechanismus ausgestattete Minen benötigen keine Bleikappen, denn der Glasbehälter mit Elektrolyt befindet sich in einer Vorrichtung innerhalb des Minengefäßes. Bei der Berührung des Minengefäßes wird nun durch ein ausschwingendes Pendel die mechanische Zerstörung des Glasbehälters eingeleitet. Die Zündspannung wird wie im Rahmen des Bleikappenzündungsprinzips aufgebaut und die Sprengladung zündet. Eine weitere Variante der Zündung der Mine durch Berührung wird mit dem so genannten Stoßkappen- oder Stoßhörnerprinzip erreicht. Hier ist eine aufgeladene Batterie in die Mine eingebaut. Die Stoßhörner sind an Schaltern befestigt, wobei in Ruhelage (Normalstellung) der Zündstromkreis unterbrochen ist. Wird das Stoßhorn nun durch Berührung Mine – Schiff bewegt, schließt sich der Stromkreis und die Ladung wird gezündet.

Bereits im 2. Weltkrieg wurden in Ankertauminen Zündbereichserweiterungen mit dem Ziel eingebaut, eine Zündung auch ohne Berührung der Mine zu ermöglichen. So wurden akustische Sensoren entwickelt und verwendet, die Schiffsgeräusche aufnahmen und ab einer gewissen Intensität eine Zündung herbeiführten. Ebenso

gab es auch magnetische Sensoren, die die bei Annäherung eines eisernen Schiffes statt findenden Änderungen des Erdmagnetfeldes auswerteten und dann bei der größten Veränderung die Zündung der Mine veranlassten. Eine Sicherungseinrichtung sollte die Mine beim Lösen von der Ankereinrichtung unscharf schalten bzw. durch Öffnen der Fluteinrichtung selbst versenken.

Die Ankereinrichtung besteht aus einem verschiedenartig gestalteten Wagen mit entsprechendem Gewicht, der auf den Grund des Meeres sinkt. Hieran befestigt ist das Stahlseil, das durch unterschiedliche Einstellvorrichtungen das Minengefäß auf eine vorher bestimmte Tiefe unter der Wasseroberfläche steigen lässt und dort auch hält. Dieses Ankerseil ist ein Schwachpunkt der Mine. Beim Reißen durch Strömungseinfluss, Korrodieren oder durch Schneiden des Seils beim mechanischen Minenräumen treibt die Mine auf und verändert ihren bisherigen Standort. Oftmals unbemerkt wird das Minengefäß an einen unbekanntem Ort vertrieben und kann, wenn die Sicherungseinrichtung nicht funktioniert, weiter gefährlich sein.

3.2.2.5 Fernzündungs- oder Grundminen

Die ersten funktionstüchtigen Fernzündungsminen wurden im 1. Weltkrieg gebaut und eingesetzt. Bei der Grundmine handelt es sich um eine Waffe, die auf dem Grund des Meeres, Hafens oder Flusses abgelegt wird und die den Auslöseimpuls für die Zündung ohne eine Berührung zwischen Mine und Schiff erhält. Einsetzbar sind Fernzündungsminen von Schiffen, Flugzeugen und U-Booten aus.

Die Grundmine besteht aus einem Metallzylinder, dessen Enden als Halbkugel, gerade Schnitte oder schräge Schnitte ausgebildet sind. Aber auch kastenförmige oder halbkugelförmige Grundminengefäße sind gebaut und eingesetzt worden. In diesen Behältnissen ist die Sprengladung mit einem Gewicht zwischen 65 und 880 kg Masse und die Zündeinrichtung eingebaut. Diese Minentypen verfügen über Fernzündsysteme. Bei der magnetischen Zündeinrichtung spricht die Mine auf die Änderung des Erdmagnetfeldes bei Annäherung eines Schiffes an, während bei der Akustikvariante Unterwassermikrofone (Hydrophone) die Geräuschsignatur der anlaufenden Schiffe aufnehmen und diese Signale zur Zündung ausnutzen. Zusätzlich wurde ein Drucksystem entwickelt, welches die Änderung des Wasserdrucks beim Überlaufen der Mine aufnimmt und entsprechend eine Zündung einleitet. Um die Mine effektiver und wirkungsvoller gegen Schiffe zu machen, kann eine Kombination von zwei, oder

auch aller drei Zündsysteme in eine Mine eingebaut werden. Um die Räumung zu erschweren, sind Zählvorrichtungen entwickelt worden, die abhängig von der eingestellten Zahl von passierenden Schiffen die Zündung der Mine verzögern. Minen können auch Schutzvorrichtungen gegen ein Entschärfen („Entschärferfallen“) enthalten, die auf typische Manipulationen, wie das Öffnen des Minengefäßes reagieren.

Alle Fernzündungsminen sind mit einer Spannungsquelle (z.B. Zink-Kohle-Batterie) ausgerüstet, die für die Funktion der eingebauten Systeme und für die Zündspannung sorgen muss. Wenn die Batterien leer sind, kann der Zünder die Mine nicht mehr auslösen. Einige Minentypen konnten zusätzlich noch kontrolliert über ein Zündkabel von Land aus gezündet werden. Diese Version wurde aber seltener eingesetzt. Die Minengefäße sind eher dünnwandig, weshalb der enthaltene Sprengstoff heute in Einzelfällen offen liegt.

3.2.2.6 Küstenmine Abwehr (KM-A)

Die Basis dieser Mine war ein Betonblock mit einer 75 kg schweren Sprengladung, auf dem ein 2,5 Meter hoher Mast mit einer Bleikappe montiert war. In der Bleikappe war ein Elektrolytzünder wie bei einer Ankertaumine angebracht. Sie konnte am Meeresgrund im Flachwasser zur Abwehr von Landungsfahrzeugen abgelegt werden. Vor der deutschen Küste sind diese Minen in einem Bereich von Helgoland und vor Sylt eingesetzt worden.

3.2.2.7 Torpedos

Der Torpedo ist eine selbst fahrende Abstandswaffe gegen Überwasserziele und U-Boote. In einem zigarrenförmigen, schlanken Körper ist die Antriebsanlage, Steuerung und der Gefechtskopf mit Zündeinrichtung untergebracht. Waren bis zum 2. Weltkrieg hauptsächlich mit Pressluft angetriebene Torpedos gebräuchlich, so wurden nun vermehrt Torpedos mit Elektroantrieb entwickelt und gebaut. Anstatt des mit bis zu 200 bar Pressluft gefüllten Druckbehälters hatten die neuen Torpedos nun Batterien an Bord. Der Gefechtskopf mit einer Sprengladung zwischen 200 und 300 kg Sprengstoff war mit einer Aufschlagzündung versehen, die in dem Augenblick zündete, in dem der Torpedo den Schiffsrumpf traf. Im Lauf des Kriegs wurde die Magnetzündung entwickelt, bei der der Torpedo das Schiff unterlief und erst unterhalb des Kiels detonierte. Die Wirkung erhöhte sich bei diesem Verfahren erheblich.

Der Einsatz des Torpedos konnte von Überwasserschiffen, U-Booten und Flugzeugen aus erfolgen, wobei Flugzeugtorpedos in der Regel etwas kleiner waren und eine geringere Menge Sprengstoff mit sich führten.

3.2.2.8 Sprühbüchsen und Kanister

Nebel- und Kampfstoffe wurden auch in großvolumigen, eher dünnwandigen Kanistern und so genannten Sprühbüchsen bereitgestellt, an denen teils mit Zeitzündern versehene Ausstoßeinrichtungen angebracht werden konnten. Insbesondere auf den im Skagerrak versenkten Schiffen befinden sich solche Behälter, unter anderem gefüllt mit den Kampfstoffen Senfgas (Lost) und Tabun (GA = german agent).

3.3 Konventionelle Munition

Zur Feststellung des aktuellen Zustands der versenkten Altmunition sind umfangreiche Erkundungsmaßnahmen der für die Räumung bzw. Beseitigung der Kampfmittel jeweils zuständigen Dienststellen in jedem munitionsbelasteten Gebiet erforderlich. Ein nicht unbeträchtlicher Teil der nach dem 2. Weltkrieg versenkten Munition dürfte, insbesondere in den Ostseeküstengewässern, in weiches, schlickiges Sediment eingedrungen sein und kann daher nur sehr schwer geortet und beurteilt werden.

Der aktuelle Zustand der frei am Meeresboden liegenden Munition hängt nach rd. 65 Jahren der Lagerung im salzhaltigen Meerwasser erheblich von der ursprünglichen Materialqualität, Wandstärke und Sprengstoffverpackung sowie von der Wasserbeschaffenheit im Bereich der jeweiligen munitionsbelasteten Fläche ab. Entscheidend für den heutigen Zustand sind die vor Ort herrschenden gewässertypischen hydrochemischen und hydrophysikalischen Randbedingungen am und im Meeresboden sowie im Porenwasser, d.h. die Wassertemperatur, der Sauerstoffgehalt (oxidierendes oder reduzierendes Milieu) sowie der Salzgehalt. Dickwandige Rohrwarenmunition dürfte gegenwärtig weniger korrodiert sein als dünnwandige. Schwermetallhaltige Zünder, die Quecksilbercyanat („Knallquecksilber“) oder Bleiazid enthalten, sind häufig stark oxidiert, wodurch eine Bergung besonders risikoreich ist.

3.3.1 Sprengstoffverbindungen

In die munitionsbelasteten Seegebiete wurde Munition aller Art aus deutscher oder alliierter Produktion eingetragen. Der überwiegende Teil besteht aus Rohrwarenmunition (Spreng- und Panzergranaten unterschiedlicher Kaliber und Herkunft). Es wurden jedoch auch erhebliche Mengen an Infanteriekampfmitteln (Schützenminen, Infanteriegeschosse) sowie Torpedoköpfe, Seeminen, Ankertauminen und Fliegerbomben (Fehlabwürfe) versenkt. So unterschiedlich wie die Kampfmittel sind demzufolge auch deren Bestandteile bzw. Inhaltsstoffe.

3.3.1.1 Übersicht

Der mengenmäßig bedeutendste Sprengstoff ist 2,4,6-Trinitrotoluol (TNT). Bedeutung als Sprengstoff hatten auch die chemisch mit TNT nah verwandten Nitroaromaten 2,4- und 2,6-Dinitrotoluol, sowie die auch als Farbstoff „Kaisergelb“ bekannte

Verbindung Hexanitrodiphenylamin (Hexyl). Weitere, im 2. Weltkrieg eingesetzte Sprengstoffe sind Hexogen (RDX), Nitropenta (PETN bzw. NP), Nitroglycerin und (in geringen Mengen) Pikrinsäure. Als Treibladungsmittel sind Nitrocellulose, Diglycoldinitrat und Nitroguanidin zu nennen. Übliche, auch als Initialsprengstoffe bezeichnete Zündmittel waren Quecksilbercyanat („Knallquecksilber“) und Bleiazid.

Als Marinesprengstoff wurde hauptsächlich die sog. „Schießwolle 39“ verwendet, welche aus 45% TNT, 30% Ammoniumnitrat, 20% Aluminiumpulver und 5% Hexanitrodiphenylamin (Hexyl) besteht (Haas 1996).

3.3.1.1.1 2,4,6-Trinitrotoluol (TNT)

TNT gehört chemisch in die Stoffgruppe der Nitroaromaten und ist der wichtigste und gebräuchlichste Sprengstoff. TNT wurde erstmals 1863 von J. Wilbrand hergestellt und fand im 1. Weltkrieg wegen der mit der Herstellung größerer Mengen verbundenen technischen Schwierigkeiten nur wenig Verwendung. Erst im 2. Weltkrieg wurde TNT in großem Maße produziert.

3.3.1.1.2 Hexogen bzw. RDX (Hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazin)

Hexogen gehört chemisch zur Stoffgruppe der heterozyklischen Nitroamine. Es wurde erstmals 1897 von Lenz hergestellt. Im 2. Weltkrieg wurde es als RDX (Royal Demolition eXplosive) bezeichnet und in großen Mengen produziert. Neben TNT gehört es auch heute noch zu den wichtigsten Sprengstoffen, wobei es beispielsweise plastifiziert mit Kunststoffen oder Wachsen als sog. „Plastiksprengstoff“ Verwendung findet.

3.3.1.1.3 Nitropenta (NP bzw. PETN)

Nitropenta (chemisch Pentaerythrittetranitrat) gehört zu den hochbrisanten kristallinen Sprengstoffen. In technischem Maßstab wurde es bereits 1894 durch die Rheinisch-Westfälische Sprengstoff AG in Köln hergestellt. Die großtechnische Produktion erfolgte ab 1926. Während des 2. Weltkriegs ist in Deutschland eine Gesamtmenge von ca. 90.000 Tonnen hergestellt worden. Es fand Verwendung in Hohlladungen und panzerbrechenden Geschossen, und als Initialsprengstoff in Sprengkapseln und Sprengzündschnüren zum Zünden anderer, weniger empfindlicher Sprengstoffe.

3.3.1.1.4 Pikrinsäure

Pikrinsäure gehört zu den ältesten militärischen Sprengstoffen, wurde aber bei der Munition des 2. Weltkriegs nicht in großen Mengen eingesetzt. Für die hier behandelte Problematik von Altmunition im Meer ist Pikrinsäure als Sprengstoff nur von untergeordneter Bedeutung und wird daher in diesem Bericht nicht weiter behandelt.

3.3.1.1.5 Initialsprengstoffe

Hierzu gehören insbesondere Quecksilbercyanat („Knallquecksilber“) und Bleiazid. Technisches Knallquecksilber verliert nach längerer Lagerung seine Fähigkeit, als Initialsprengstoff zu wirken. Es ist nicht verwendbar, wenn Sprengkapseln aus Aluminium hergestellt worden sind, da es mit Aluminium eine Legierung bildet.

3.3.1.2 Physikalisch-chemische Eigenschaften und Toxizität

Stoffe mit einer geringen bzw. schlechten Wasserlöslichkeit wie beispielsweise TNT sind meist schwer abbaubar. Bei einer Freisetzung durch Korrosion der Altmunition am Meeresboden oder im Sediment verbleiben sie daher über einen längeren Zeitraum im Bereich der munitionsbelasteten Flächen im wässrigen Milieu und werden gegebenenfalls mit der Meeresströmung partikulär verdriftet und verteilt.

Zu den physikalisch-chemischen Eigenschaften der verschiedenen Sprengstoffe und ihrer Abbauprodukte gibt es in der einschlägigen Fachliteratur zahlreiche Angaben. Eine umfangreiche Zusammenstellung ist dem Fachbericht der ARSU GmbH „Ökotoxikologische Bewertung Rüstungsaltpasten - Munitionsversenkungsgebiete in der Nordsee“ (1993) zu entnehmen. In diesem Fachbericht sind physikalisch-chemische Stoffkenndaten sowie Daten zum Transportverhalten in der gasförmigen und in der wässrigen Phase zu finden.

3.3.1.2.1 Verhalten im marinen Milieu

3.3.1.2.1.1 2,4,6-Trinitrotoluol (TNT)

Die Wasserlöslichkeit von TNT ist gering, in der Literatur finden sich unterschiedliche Angaben, die zwischen 100 mg/L und 150 mg/L variieren, je nach Bezugstemperatur (20°C oder 25°C). Einen Einfluss auf die Wasserlöslichkeit hat auch der Salzgehalt des umgebenden Milieus: Ein hoher Salzgehalt, wie z.B. in der Nordsee, hat eine geringere Wasserlöslichkeit zur Folge.

TNT wird relativ wenig von Boden und Sediment sorbiert, diese Vorgänge sind abhängig von der Temperatur und dem pH-Wert, je größer diese Werte sind, desto mehr wird adsorbiert. Joos *et al.* (2008) weisen darauf hin, dass insbesondere die anaerob entstandenen Reduktionsprodukte von TNT an organische Partikel sorbiert werden können. Nach Haderlein *et al.* (1996) spielt hier auch die Ionenstärke der Umgebung eine große Rolle. In Salzwasser mit seinem hohen Natriumchlorid-Gehalt scheinen Sorptionsprozesse deutlich stärker abzulaufen als in Süßwasser. Bereits adsorbiertes TNT wird nur langsam wieder desorbiert, wodurch sich über längere Zeiträume eine Gefährdung für das Umgebungswasser ergibt.

Durch Hydrolyse (d.h. durch chemische Reaktion mit Wasser) wird TNT praktisch nicht abgebaut. Die Halbwertszeiten für die Hydrolyse werden in der Literatur mit >50 Jahren angegeben. Im wässrigen Milieu wird TNT dagegen photolytisch (d.h. durch die Energie des Sonnenlichts) in Abhängigkeit vom pH-Wert und dem Gehalt an organischer Substanz abgebaut. In der Literatur werden Halbwertszeiten mit großen Schwankungsbreiten zwischen 10 Minuten und 22 Stunden angegeben, auch ist diese abhängig von der geographischen Breite. So beträgt die Halbwertszeit für den photolytischen TNT-Abbau am 50. Breitengrad im Sommer 14 Stunden, im Winter ist sie dagegen mit 84 Stunden deutlich höher. Insgesamt sind 18 verschiedene, photolytische Abbauprodukte des TNT bekannt, darunter 1,3,5-Trinitrobenzol (ARSU 1993).

3.3.1.2.1.2 Hexogen bzw. RDX (Hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazin)

Zur Wasserlöslichkeit sind in der Literatur sehr unterschiedliche Angaben zu finden. Je nach Bezugstemperatur variiert die Wasserlöslichkeit zwischen 44,7 mg/L (18°C) und 60 mg/L (25°C). Hexogen wird im wässrigen Milieu hauptsächlich durch Photolyse abgebaut. Während TNT zumeist unvollständig transformiert wird, kann RDX vollständig mineralisiert werden. Dabei entstehen Ameisensäure, Formaldehyd, Formamid und Ammoniak (Burmeier *et al.*, 2009). Bezüglich der Sedimentadsorption von Hexogen ist bekannt, dass keine nennenswerte Adsorption an das Sediment aus dem Wasser heraus erfolgt.

3.3.1.2.1.3 Nitropenta (NP bzw. PETN)

Nitropenta ist wenig mobil und wird auch nur wenig abgebaut. Die Wasserlöslichkeit wird in der Literatur mit 2,1 mg/l (25°C) bzw. 2,0 mg/l (20°C) angegeben. Die Hydrolyse läuft vergleichsweise langsam ab (Rodriguez Bares et al. 2005).

3.3.1.2.2 Ökotoxikologische Eigenschaften

Zu den (öko-)toxikologischen Eigenschaften der verschiedenen Sprengstoffe und sprengstofftypischen Verbindungen (STV) sind in der Fachliteratur unter anderem folgende Angaben zu finden [TNT = 2,4,6-Trinitrotoluol (Burmeier 2009); RDX = Hexogen (Burmeier 2009); PETN = Nitropenta (ARSU 1993)]:

Tabelle 1: Toxizitätsdaten von Sprengstoffverbindungen (nach Burmeier 2009; ARSU 1993).

Sprengstoff	Klasse	Art	Toxikologische Kenngröße	Konzentration
TNT	Mollusken	Mittelmeermuschel (Larven)	EC-50	0,75 – 19,5 mg/l
	Fische	Fische allg.	LC-50	0,8 – 3,7 mg/l
		Roter Trommler	EC-50	8,2 mg/l
RDX	Algen	Marine Grünalgen	EC-50	9,8 mg/l
	Fische	Goldelritze	LC-50	12,7 mg/l
		Roter Trommler	EC-50	> 68 mg/l
PETN	Wirbellose	<i>Daphnia magna</i>	LC-50	8.500 mg/l
	Fische	<i>Pimephales promelus</i>	LC-50	27.000 mg/l (NP neutralisiert)
		<i>Pimephales promelus</i>	LC-50	1.000 mg/l (NP nicht neutral)

Auch von den Initialsprengstoffen gehen toxische Wirkungen aus. Quecksilberverbindungen können durch Biomethylierung in das wesentlich toxischer wirkende Methylquecksilber umgewandelt werden. Die LD-50-Konzentration für die Ratte, oral, wird hierfür mit 10 mg/kg angegeben. Der Biokonzentrationsfaktor (Verhältnis der Konzentration eines Stoffs in Biota zu der im umgebendem Wasser unter Gleichgewichtsbedingungen) variiert für Fische zwischen 1.000 und 2.500 und ist recht hoch. Bleiazid zersetzt sich in Bleiverbindungen, deren Wasserlöslichkeit vom jeweiligen pH-Wert und vom Salzgehalt des Wassers abhängt. In Gewässersedimenten erfolgt eine Adsorption an Eisenhydroxide. Blei wird von Organismen angereichert.

3.3.1.2.3 Wirkungen auf den Menschen

2,4,6-TNT wirkt giftig auf Lebewesen, auch auf Menschen. Bei Hautkontakt kommt es zu typischen Verfärbungen (Kontaktekzem), die dazu führen, dass die Haut eine hellgelb-orange Farbe annimmt (Burmeier 2009). Die Aufnahme von TNT kann auch über Lunge und Verdauungstrakt erfolgen. Bei der Metabolisierung entstehen aromatische Amine, die eine leberschädigende Wirkung haben. Als letale TNT-Dosis für den Menschen wird eine Aufnahme von 14 - 28 mg/kg Körpergewicht (KG) angegeben, damit ist es bei oraler Aufnahme als hochtoxisch zu bewerten. TNT wird hinsichtlich der Kanzerogenität als mögliches Humankanzerogen eingestuft.

Umfangreiche toxikologische Daten zu anderen Sprengstoffen und Metaboliten finden sich in: Huber, P. und Mross, K.G. Zur Toxikologie militärspezifischer Sprengstoffe und deren Zersetzungsprodukte. Ingelheim 2001.

Von der im Meer versenkten Altmunition geht, abgesehen von Mitarbeitern des Kampfmittelräumdienstes oder Berufsfischern, keine unmittelbare Gefährdung für die allgemeine Bevölkerung aus. Die verschiedenen munitionsbelasteten Flächen bzw. Munitionsversenkungsgebiete sind in amtlichen Seekarten verzeichnet, es bestehen teils Fischereiverbote oder auch Befahrensverbote.

Zur Frage, ob in konventionellen und chemischen Kampfmitteln enthaltene Substanzen, ihre Zwischen- und Endabbauprodukte in die marine und schließlich die humane Nahrungskette gelangen können, liegen in der verfügbaren Literatur kaum belastbare Informationen vor. Aufgrund der oftmals kanzerogenen, mutagenen oder teratogenen (embryonenschädigenden) Eigenschaften vieler Munitionsinhaltsstoffe und ihrer Abbauprodukte ist die Klärung dieser Fragen von hoher Bedeutung. Während die Aufnahme von STV durch Muscheln nachgewiesen ist, sind weitergehende Effekte noch weitgehend unerforscht (Maser 2010). Direkte Auswirkungen von kontaminierter Nahrung hinsichtlich der o.g. Effekte beim Endkonsumenten Mensch sind bisher in den verfügbaren, als belastbar anzusehenden Publikationen nicht belegt (Koch 2009).

3.3.1.2.4 Methoden zum Nachweis von sprengstofftypischen Verbindungen

Für den Nachweis von sprengstofftypischen Verbindungen in verschiedenen Umweltkompartimenten stehen für die Matrix Wasser zwei genormte Analyseverfahren zur Verfügung:

1. Bestimmung ausgewählter Explosivstoffe und verwandter Verbindungen - Verfahren mittels Hochleistungsflüssigkeits-Chromatografie (HPLC) und UV-Detektion nach (DIN EN ISO 22478 – DEV F21, Juli 2007). Die Bestimmungsgrenzen liegen, ausgehend von einem Probenvolumen von 1 Liter, je nach Komponente zwischen 0,05 µg/l und 0,5 µg/l. Damit lassen sich TNT und dessen Abbauprodukte nach Fest-Flüssig-Extraktionen in Wasser-Ausgangspuren nachweisen.
2. Bestimmung ausgewählter nitroaromatischer Verbindungen mittels Gaschromatographie und Phosphor-Stickstoff-Detektor oder massenselektivem Detektor (DIN 38407 - 17 bzw. DEV F17). Die Bestimmungsgrenzen liegen, ausgehend von einem Probenvolumen von 1 Liter, je nach Komponente zwischen 0,05 µg/l und 0,1 µg/l. Damit lassen sich TNT und dessen Abbauprodukte nach Fest-Flüssig-Extraktionen in Wasser-Ausgangspuren nachweisen. Als Alternative zur Untersuchung von entnommenen Einzelproben (1 Liter Volumen) kommt auch der Einsatz von sog. Passivsammlern (speziell konditioniertes Aktivkohle-Papier in einer Draht-Einhausung zur Anreicherung von Schadstoffen) in Betracht. Damit lassen sich räumlich- und zeitlich-integrierte Proben beispielsweise im Rahmen einer Ausbringung von Passivsammlern im Bereich einer munitionsbelasteten Fläche gewinnen, die nachfolgend mit den oben genannten Methoden analysiert werden können.

Nach den beiden o.g. Analyseverfahren können auch sprengstofftypische Verbindungen (STV) wie TNT, Nitro- und Aminoaromaten sowie Diphenylamine in Sediment- und Boden-Matrizes analysiert werden, wenn zuvor eine Fest-Flüssig-Extraktion vorgenommen wird.

3.3.1.3 Untersuchungen zum Nachweis sprengstofftypischer Verbindungen im marinen Milieu

3.3.1.3.1 Untersuchungen an bekannten Munitionsversenkungsstellen

Bei 2007 an 36 Sedimentproben aus dem MVG „Kolberger Heide“ durchgeführten Untersuchungen (12 Entnahmestellen im MVG mit je 3 Proben) konnten keine TNT- oder anderen STV-Gehalte oberhalb der Bestimmungsgrenze von 20 µg/kg Trocken-substanz festgestellt werden. Zuvor war im März 2007 bei Sedimentuntersuchungen an fünf Proben aus der unmittelbaren Umgebung von frei am Meeresboden liegender Altmunition (d.h. im Abstand von ca. 20 – 30 cm von erheblich korrodierten Minen oder Torpedoköpfen) eine mögliche Belastung mit TNT und weiteren sprengstofftypischen Verbindungen (STV) geprüft worden. Eine 6. Referenzprobe abseits des MVGs wurde ebenfalls in die Untersuchungen einbezogen, darin waren aber weder TNT noch andere STV nachweisbar. Ergebnisse dieser Untersuchungen: In der 1. Analysenserie wurden nur in einer Probe (P3) zwei Abbauprodukte des TNT nachgewiesen und zwar 2-Amino-4,6-dinitrotoluol mit 0,021 mg/kg OS und 4-Amino-2,6-dinitrotoluol mit 0,046 mg/kg OS [OS = Originalsubstanz bzw. Feuchtgewicht]. TNT war nicht nachweisbar. In den anderen vier Proben waren weder Sprengstoffverbindungen noch Abbauprodukte nachweisbar. Zur Absicherung der Ergebnisse der Probe P3 wurde eine zweite unabhängige Analyse erstellt. Das Ergebnis zeigte dann, dass dabei nicht nur wesentlich höhere Gehalte der beiden o.g. TNT-Abbauprodukte gemessen worden, sondern auch TNT selbst, und auch die weiteren TNT-Abbauprodukte 2,4-Dinitrotoluol und 1,3,5-Trinitrobenzol. In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse zu Probe P3 noch einmal dargestellt.

Tabelle 2: Ergebnisse der Untersuchung von Sedimentproben auf STV (OS = Originalsubstanz).

Stoff	1. Analyse (mg/kg OS)	2. Analyse (mg/kg OS)	3. Analyse (mg/kg OS)
TNT	<0,02	7,1	<0,02
2-Amino-4,6-dinitro-toluol	0,046	3	<0,02
4-Amino-2,6-dinitro-toluol	0,021	1,6	<0,02
2,4-Dinitrobenzol	<0,02	0,06	<0,02
1,3,5-Trinitrobenzol	<0,02	0,076	<0,02

Diese Ergebnisse zeigen, dass eine TNT-Freisetzung in dem Munitionsversenkungsgebiet erfolgt sein muss. Die Wiederholung der Analyse macht allerdings das große Maß an Zufälligkeit eines einzelnen Untersuchungsergebnisses in einer Sedimentprobe deutlich, das somit nicht als repräsentativ für die untersuchte Probe bzw. für den Meeresboden im Munitionsversenkungsgebiet gelten kann. Zur weiteren Absicherung der vorliegenden Ergebnisse bzw. zur Ermittlung der Streubreite bei Wiederholungsuntersuchungen wurde mit dem vorhandenen Probenmaterial eine 3. Analysenserie auf Nitroaromaten einschl. des Sprengstoffs TNT durchgeführt. Ergebnis dieser Nachuntersuchungen: Es wurden 13 Sedimentuntersuchungen auf jeweils 24 Einzelkomponenten durchgeführt. In keiner Analyse wurden Gehalte oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,02 mg/kg Originalsubstanz (OS) gemessen. Damit muss die einmalig in einer Probe (P3) gemessene TNT-Konzentration von 7,1 mg/kg OS als ein einmaliges, nicht reproduzierbares Messergebnis bewertet werden. Offensichtlich ist TNT, möglicherweise in partikulärer Form, nur in dem zur Aufbereitung und Analyse entnommenen Probenanteil, und damit statistisch gesehen nur zufällig, enthalten gewesen. Die Hochrechnung der in der Messlösung enthaltenen absoluten TNT-Menge auf die Bezugsgröße „Kilogramm Originalsubstanz“ ist bei derart inhomogener Stoffverteilung mit einem hohen statistischen Fehler verbunden. In solchen Fällen inhomogenen Probenmaterials ist eine sichere Bewertung mit nur einer Analyse pro Probe nicht möglich. Bei der Untersuchung von Sedimentproben aus dem Bereich einer munitionsbelasteten Fläche sollten daher stets mehrere unabhängige Analysen durchgeführt werden, z.B. Dreifachbestimmungen, um so bei positivem Nachweis von sprengstofftypischen Verbindungen die Streuung der Einzelergebnisse zu kennen und in die Bewertung einzubeziehen.

Ergänzend zu den Sedimentuntersuchungen wurden im Juni 2008 auch Wasserproben, die dem MVG „Kolberger Heide“ entnommen wurden, auf TNT und weitere sprengstofftypische Verbindungen untersucht. Die an 8 Stellen entnommenen Proben stammen jeweils aus der Entnahmetiefe ein Meter unter der Oberfläche und ein Meter über dem Grund. Diese insgesamt 16 Wasserproben wurden auf 27 sprengstofftypische Verbindungen analysiert. Als Ergebnis ist festzustellen, dass in keiner Probe TNT oder sprengstofftypische Verbindungen nachgewiesen werden konnten. Sämtliche Analysenergebnisse liegen unter der Bestimmungsgrenze, die je nach Schadstoffkomponente bei einem Probenvolumen von einem Liter zwischen 0,1 µg/l

und 1,0 µg/l liegt. Mit diesen Untersuchungen konnte belegt werden, dass in diesem Munitionsversenkungsgebiet im Medium Wasser keine Schadstoffbelastung des Pelagials (uferferner Freiwasserbereich oberhalb der Bodenzone) durch den Sprengstoff TNT oder durch sprengstofftypische Verbindungen vorliegt.

Zur Untersuchung von biologischem Material liegt noch keine standardisierte Methode für die Analyse von TNT oder STV vor. Zum Nachweis von diesen Stoffen in Organismen wurde am Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Universität Kiel eine Analysenmethode im Auftrag des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR) erarbeitet. Erste Ergebnisse zeigen auf, dass mit der Methode eine Nachweisgrenze von 0,2 mg/kg erreicht werden kann. Jedoch müssen zur weiteren Ergebnisabsicherung zusätzliche Vergleichsmessungen an Miesmuscheln sowie an Fischen erfolgen (Maser 2010; http://www.schleswig-holstein.de/.../Abschlussbericht_STV.pdf).

3.3.1.3.2 Untersuchungen nach erfolgten Detonationen unter Wasser

Der Chemismus von Sprengstoffdetonationen an Land und unter Wasser (subhydrisch) ist unterschiedlich, hauptsächlich, weil im Wasser weit weniger Sauerstoff vorhanden ist als in der Luft. Die chemischen Vorgänge bei Detonationen an Land sind wesentlich besser untersucht als unter Wasser. Im Munitionsversenkungsgebiet „Kolberger Heide“ vor Heidkate (Kreis Plön) ist anlässlich von Munitionsvernichtungssprengungen eine Begleituntersuchung durch das Büro für Umweltgeologie & Sicherheitsforschung Marburg (Pfeiffer 2008/2009) im Auftrag des Landesamts für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein durchgeführt worden. Es sollte geprüft werden, ob durch die Unterwassersprengungen TNT bzw. sprengstofftypische Verbindungen (STV) in nachweisbarer Konzentration in die Wasserphase (Pelagial) freigesetzt werden. Dazu wurden sog. Passivsammler (speziell konditioniertes Aktivkohle-Papier in einer Draht-Einhausung zur Anreicherung von Schadstoffen) im Bereich um die Sprengstelle ausgebracht, da die analytische Fragestellung mit der herkömmlichen Entnahme von Wasserproben mittels Schöpfer nicht zu beantworten ist. Die erste Untersuchung erfolgte im April 2008. Dabei wurden insgesamt 16 sogenannte Passivsammler auf drei Traversen in je zwei Tiefen ausgebracht und auf den Gehalt an möglicherweise durch die Serie der Test-Sprengungen freigesetzten STV analysiert.

In zwei der jeweils auf 10 Stoffe untersuchten 18 Passivsammler konnte TNT in geringen Konzentrationen nachgewiesen werden.

Im Abstand von 40 m vom Sprengpunkt und in einer Wassertiefe von 1 m unter der Oberfläche wurde eine TNT-Konzentration von 0,92 ppm (d.h. Mikrogramm pro Gramm Passivsammler) gemessen, und im Abstand von 100 m und in 9 m Wassertiefe eine TNT-Konzentration von 0,43 ppm. Die Bestimmungsgrenze für TNT liegt bei 0,25 ppm. Die übrigen 9 untersuchten STV waren in keinem der 16 Passivsammler nachweisbar. Wesentliches Ergebnis der Begleituntersuchung ist die Aussage: „Eine toxikologisch relevante Schadstoffbelastung des Meeresgebietes im Bereich der Umgebung der Sprengstelle mit einem statischen Wasservolumen von 80.000 - 90.000 m³, in dem die Sprengungen durchgeführt wurden, besteht durch gelöste STV bei vollständiger „High-Order“-Detonation [diese ist bei den Test-Sprengungen erfolgt] somit nicht“ (Pfeiffer 2008).

Eine zweite Begleituntersuchung erfolgte während der Sprengungen im Februar 2009 anlässlich der Vernichtung mehrerer Großsprengkörper. Dabei wurde wiederum im Munitionsversenkungsgebiet „Kolberger Heide“ Altmunition gesprengt (5 Ankertauminen mit je 250 - 300 kg „Schießwolle 39“). Diesmal wurden 18 Passivsammler auf drei Traversen an jeweils 3 Positionen und in zwei Tiefen ausgebracht und auf insgesamt 10 verschiedene Schadstoffe analysiert. In Folge des seewetterbedingten Verlusts von 8 Passivsammlern während der Aufsammlphase in der Woche nach den Sprengungen konnten nur noch 10 geborgen und im Labor auf STV analysiert werden. In 5 der 10 Passivsammler konnte TNT nachgewiesen werden, in einigen davon sogar in erhöhten Konzentrationen. Es wurde jeweils Doppelbestimmungen mit dem Aktivkohle-Trägermaterial durchgeführt. Die TNT-Gehalte, bezogen auf die Passivsammlermasse, liegen bei den Doppelbestimmungen in 2 der 5 Passivsammler weit auseinander. Insgesamt variieren die TNT-Gehalte stark zwischen 212 µg/g (= ppm) und 2.420 µg/g. Dies lässt auf eine deutliche Partikelfracht statt einer Lösungsfracht schließen, d.h. auf eine stark inhomogene Verteilung als Folge von unvollständigen Detonationen bei den Vernichtungssprengungen.

Die Analyseergebnisse zeigen, dass TNT nur im Nahbereich, d.h. 20 m bis max. 50 m um die Sprengstelle in der Oberflächen- und/oder in der Tiefenposition nachgewiesen werden konnte. Im 100-m-Abstand ist TNT in den Passivsammlern dagegen

nicht mehr nachweisbar. Auffällig war während der Unterwassersprengungen, dass mindestens 2 von 5 Munitionskörpern deutlich reduzierte Detonationsstärken zeigten. Dies kann an der „Alterung“ des Sprengstoffs „Schießwolle 39“ liegen. Außer TNT konnten keine der anderen 9 untersuchten STV nachgewiesen werden (Pfeiffer 2009; http://www.schleswig-holstein.de/.../Bericht_Begleituntersuchung_2010.pdf).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sprengstofftypische Verbindungen eine Belastung bzw. Gefahr für die Meeresumwelt darstellen können. Eine über den unmittelbaren Nahbereich versenkter Kampfmittel hinausgehende konkrete Gefährdung konnte jedoch bisher nicht nachgewiesen werden. Weitere Gefährdungsabschätzungen müssen jeweils einer individuellen standörtlichen Einzelbetrachtung vorbehalten bleiben.

3.4 Chemische Munition

Chemische Munition enthält im Gegensatz zu konventioneller Munition eine Füllung mit einem chemischen Kampfstoff oder mit einem Gemisch aus mehreren Kampfstoffen. Der in chemischer Munition enthaltene Kampfstoff stellt jedoch nicht die einzige chemische Komponente dieser Munition dar: Ebenso wie konventionelle Munition enthält auch chemische Munition Sprengstoff, der im Rahmen des Munitionseinsatzes zur Freisetzung des Kampfstoffs aus der Umhüllung benötigt wird. Da chemische Munition ihre Wirkung nicht durch Detonation, sondern durch den Kampfstoff entfalten soll, ist die Sprengstofffüllung zwar generell geringer als bei konventioneller Munition, aber weit davon entfernt, unerheblich zu sein. Dies führt dazu, dass selbst wenn schon jeglicher Kampfstoff ausgetreten oder unschädlich ist, im Meer lagernde, chemische Munition durch den enthaltenen Sprengstoff eine Gefahr darstellen kann.

Die in der Nordsee und Ostsee lagernden chemischen Kampfstoffe wurden überwiegend in Form von Munition, insbesondere enthalten in Granaten und Bomben, versenkt. Zusätzlich wurden chemische Kampfstoffe in Aufbewahrungsbehältern (z.B. Fässern) versenkt. Die Munition war entsprechend ihrem Inhalt bzw. ihrer Wirkungsweise mit verschiedenen Farben markiert, nach denen die Kampfstoffe auch oft benannt wurden (z.B. Blaukreuz – Nasen- und Rachenkampfstoffe, Gelbkreuz – Hautkampfstoffe, Grünkreuz – Lungenkampfstoffe, Weißkreuz – Augenkampfstoffe).

Granaten gab es in Größen bis 15 cm Durchmesser, wobei die wichtigsten Kaliber 10,5 cm und 15 cm waren. Granaten hatten eine Metallwandstärke von bis zu ca. 30 mm. Die Kampfstoffbomben hingegen hatten Durchmesser von 20 cm bis 48 cm und eine Länge von 109 cm bis 181 cm; die Wandstärke betrug nur 1,5 bis 3 mm. Die kleineren Bomben enthielten 13 kg bis 15 kg, die großen bis zu 200 kg Kampfstoff. Die Füllmengen an Kampfstoff, bezogen auf das Gesamtgewicht der jeweiligen Munition, bewegten sich zwischen 3 % und 60 %, der Mittelwert für die chemische Munition insgesamt liegt bei 15 %.

Gefahren können von der Munition erst ausgehen, wenn der Kampfstoff freigesetzt wird. Die Freisetzung kann schlagartig durch Explosion (z.B. ausgelöst durch mechanische Beanspruchung bei der Bergung der Munition) oder langsam durch Korrosion der Wandungen erfolgen. Der derzeitige Zustand der Munition lässt sich nicht

allgemeinverbindlich beschreiben, da er von mehreren Faktoren abhängt: Ursprüngliche Wandstärke der Kampfmittel (Granaten, Bomben. etc.), Material der Munitionshüllen beziehungsweise der Zünder/Zündkörper (Eisen, Aluminiumlegierungen), Art der zusätzlichen Verpackung, Art der Versenkung (in Schiffsrümpfen oder Betonkörpern), Beschaffenheit des Lagerortes wie fester Boden (Munition liegt frei im Wasser) oder Schlick (Munition ist von Sauerstoffzufuhr abgeschlossen), sowie mechanische Belastungen durch Strömungen.

3.4.1 Chemische Kampfstoffe

Chemische Kampfstoffe sind militärisch genutzte chemische Verbindungen, die die physiologischen Funktionen des menschlichen Organismus dermaßen stören, dass die Kampffähigkeit der Soldaten beeinträchtigt oder sogar der Tod herbeigeführt wird. Es sind gasförmige, flüssige oder feste Stoffe, die in Granaten und Bomben oder auch durch Abblasen oder Versprühen gegen Menschen eingesetzt werden.

Im 1. Weltkrieg wurden chemische Kampfstoffe eingesetzt und führten zu ca. 100.000 Toten und ca. 1.2 Millionen Verletzten. Dagegen wurden im 2. Weltkrieg zwar große Mengen (in Deutschland ca. 65.000 t) Kampfstoffe produziert und auch neu entwickelt, kamen aber in Europa nicht zum Einsatz. S-Lost stellte mit ca. 39 % der Gesamtproduktion die Hauptmenge dar. Genauere Angaben über die produzierten Mengen einzelner Kampfstoffe sind in der unten gezeigten Abbildung 9 dargestellt.

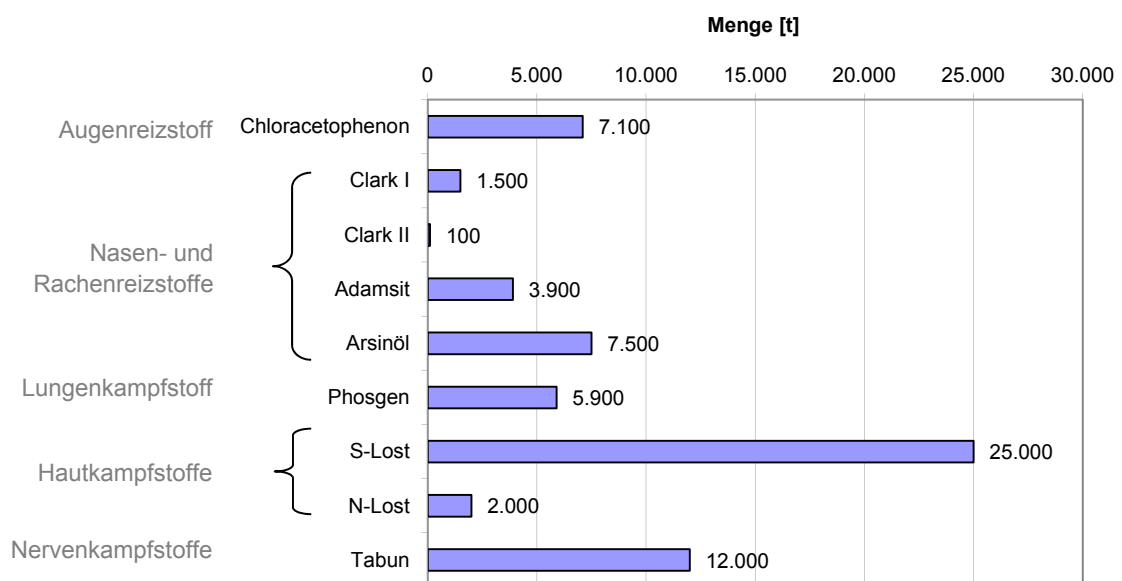


Abbildung 9: Mengen im Deutschen Reich von 1935 bis 1945 produzierter, wichtiger chemischer Kampfstoffe (nach BSH 1993).

3.4.1.1 Physikalisch-chemische Eigenschaften

Ausgewählte physikalisch-chemischen Eigenschaften, die für das Verhalten der für die vorliegende Betrachtung wichtigsten Kampfstoffe in der Umwelt von Bedeutung sind, sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Die Schmelz- und Siedepunkte (Schmp., Sdp.) zeigen, dass die meisten Kampfstoffe bei 20° C flüssig oder fest sind, und nur Phosgen bei Temperaturen oberhalb von 8° C gasförmig ist. Die gemeinschaftliche Bezeichnung als "Giftgase" ist somit irreführend. Da die Kampfstoffe häufig nicht in reiner Form, sondern mit Beimengungen anderer Stoffe verwendet wurden, liegen die Schmelzpunkte meist etwas niedriger als die der angegebenen Reinstoffe.

Tabelle 3: Chemische und physikalisch-chemische Eigenschaften wichtiger Kampfstoffe (aus BSH, 1993).

Name	Synonyma	Schmp. [°C]	Sdp. [°C]	Dampfdruck [mm Hg] 20 °C	Dichte [g/cm ³]	Löslichkeit in Wasser [g/L]
Chloraceto-phenon	2-Chlor-1-phenylethanon, CN, Mace	54-56	244	0,013	1,32	1
Clark I	Diphenylarsinchlorid, Sternite	38-44	307-333	0,0016	1,422	2
Clark II	Diphenylarsincyanid, Sternite	30-35	290-346	0,000047	1,45	2
Adamsit	10-Chlor-5-hydrophenarsazin(10), Phenarsazinchlorid	195	410	$2 \cdot 10^{-13}$	1,65	Gering
Phosgen	Kohlenoxidchlorid, Carbonyldichlorid, CG, Kohlen-säuredichlorid	-128	7,6	1178	3,4	9
Diphosgen	Chlorameisensäuretrichlormethyl-ester, Perstoff	-57	127	10,3	1,65	

Munition im Meer

S-Lost	2,2'-Dichlor-diethylsulfid, Lost, Schwefel-Lost, Senfgas, Yperit	14	228	0,72	1,27	0,8
Zäh-Lost	(Gemischvariante von S-Lost)				1,3	gering
Winter-Lost	(Gemischvariante von S-Lost, z.B. mit Lewisit)	-14	<190		1,66	
N-Lost	2,2',2''-Trichlor-triethylamin, Trichlormethin	-4	235	0,011	1,24	0,16
Lewisit	Dichlor-(2-chlorvinyl)-arsan, L	-18	190	0,35	1,89	0,5
Tabun	<i>p</i> -Cyano- <i>N,N</i> -dimethylphosphoramidsäureethylester, Trilon 83, GA	-50	246	0,07	1,07	120

Der Dampfdruck ist als Maß für die Tendenz anzusehen, wie leicht eine Substanz verdampft. Je höher der Dampfdruck, desto größer wird die Konzentration des Stoffes in der Luft sein und desto leichter wird auch eine toxische Konzentration erreicht - desto schneller ist er aber auch verflüchtigt. Die Löslichkeit in Wasser ist eine der wichtigsten Größen für das Verhalten im marinen Milieu, da sowohl die chemischen Reaktionen (Abbaureaktionen), als auch die Verteilung im Meer (Verdriftung, Verdünnung) in gelöstem Zustand um Größenordnungen schneller ablaufen. Die Dichte der Kampfstoffe bestimmt schließlich, ob die Stoffe im Meer zu Boden sinken oder zur Wasseroberfläche aufsteigen bzw. sich dort anreichern. Mit Ausnahme von Tabun sind alle hier betrachteten Kampfstoffe deutlich schwerer als Meerwasser (Dichte: 1.08 g/cm^3). Versenkter Kampfstoff zeigt somit keine Tendenz, an die Meeresoberfläche aufzusteigen und dort verdriftet zu werden.

3.4.1.2 Verhalten im marinen Milieu

Das Verhalten von chemischen Stoffen in der Umwelt ist sowohl von den chemischen und physikalisch-chemischen Eigenschaften der einzelnen Substanzen selbst, als auch von den herrschenden Umweltbedingungen (Temperatur, Salzgehalt, pH-Wert des Wassers) abhängig. Da der pH-Wert des Meerwassers mit Werten von rund 8 leicht alkalisch ist und nur wenig schwankt, stellen Salzgehalt und die Temperatur die wesentlichen ortsabhängigen Umweltparameter dar, welche Einfluss auf chemische Reaktionen haben. Sowohl die Löslichkeit der Verbindungen, als auch die Geschwindigkeit der Reaktionen nehmen mit steigender Temperatur zu, wobei sich bei einer Temperaturerhöhung um 10°C die Geschwindigkeit in etwa verdoppelt. Beispielsweise variieren die Wassertemperaturen in der Ostsee zwischen 0 und 20 °C, d.h. bei 20 °C laufen die Reaktionen ca. 4-mal schneller ab als bei 0 °C. Da chemische Reaktionen im Feststoff nur äußerst langsam ablaufen, wird als wesentlicher, erster Schritt für den Abbau der Kampfstoffe ihre Lösung in Wasser angesehen. Neben einer höheren Temperatur beschleunigen insbesondere Wasserbewegungen bzw. Strömungen die Auflösung. Wie Tabelle 3 zeigt, variieren die Löslichkeiten der einzelnen Kampfstoffe zwischen gut (Tabun) bis sehr schlecht (Adamsit, Zäh-Lost). Eine Schwerlöslichkeit bewirkt im Allgemeinen eine Erschwerung des Abbaus. Darüber hinaus wird das Verhalten im Meer auch von den physikalischen Eigenschaften der Kampfstoffe beeinflusst. Beispielsweise kann ein zäher bzw. hochviskoser oder in Klumpen vorliegender Kampfstoff von Fischernetzen eingefangen werden, während dies bei flüssigen oder in Pulverform vorliegenden Stoffen nicht möglich ist. Dies ist unter anderem ein Grund dafür, dass die meisten der bisher bekannten Unfälle mit Kampfstoffen durch Zäh-Lost verursacht wurden (s. Kap. 4.1; den einzigen bekannten Fall einer Vergiftung durch verharztes Xylylbromid Jahren beschreibt Martinus 1958). Infolge der Beimengung von Verdickungsmitteln tritt neben normalem, durch Alterungsprozesse verharztem Lost insbesondere Zäh-Lost in größeren, mechanisch relativ stabilen Klumpen auf. Es gibt zwar noch weitere Kampfstoffe, die ebenfalls sehr beständig gegenüber Meerwasser sind (z. B. Clark und Adamsit, s. u.), doch bilden diese keine Klumpen. Alle Kampfstoffe reagieren mit Seewasser, doch können die Reaktionsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der chemischen Struktur sehr unterschiedlich sein. Durch die Reaktion mit Wasser, der Hydrolyse, entstehen neue Verbindungen, die sich in ihren Eigenschaften von den Kampfstoffen

unterscheiden. Die Reaktionsprodukte sind entweder weniger oder auch nicht mehr toxisch und meistens auch gut wasserlöslich.

Untersuchungen über das Verhalten der Kampfstoffe unter den in der Nordsee und Ostsee vorherrschenden Bedingungen liegen nur für wenige Stoffe vor. Im Folgenden kann das Verhalten daher oft nur qualitativ beschrieben werden, während exakte Aussagen über die Geschwindigkeiten, mit denen diese Prozesse ablaufen, meist fehlen.

3.4.1.3 Verhalten einzelner Kampfstoffe im Meerwasser

- **Chloracetophenon** wird zwar von Wasser nicht oder nur sehr langsam hydrolysiert, ist aber aufgrund seiner chemischen Struktur einem biologischen Abbau zugänglich. Nach Enthaloxygenierung (Entfernung des Chlor-Atoms) entstehen Produkte, die ungiftig sind und im Meerwasser leicht vollständig abgebaut werden können.
- **Clark I** reagiert mit Wasser sehr langsam zu Tetraphenyldiarsinoxid und Salzsäure. Während Salzsäure durch das Meerwasser neutralisiert wird, ist über das weitere Abbauverhalten des Tetraphenyldiarsinoxids nur wenig bekannt. Da Tetraphenyldiarsinoxid ähnliche Reizwirkungen aufweist wie Clark I, wird der Kampfstoff hierdurch nicht entgiftet. Die physikalisch-chemischen Eigenschaften lassen erwarten, dass Clark I und seine Reaktionsprodukte auf dem Meeresgrund lange Zeit konserviert werden können und möglicherweise in Organismen angereichert werden (Bioakkumulation). Bei vollständiger Mineralisierung bleibt eine anorganische Arsenverbindung zurück, die keine Kampfstoff-Eigenschaften mehr besitzt und in den natürlichen, marinen Kreislauf der abiotischen und biotischen Arsen-Spezies-Umwandlung einfließen kann (Maher und Butler 1988). Dabei entstehen – wie auch aus den bereits natürlich in beträchtlichem Maß im Meer vorkommendem Arsen – kaum bis ungiftige Organo-Arsen-Verbindungen oder giftigere anorganische Arsenverbindungen.
- **Clark II** wird im Meerwasser zunächst zu Tetraphenyldiarsinoxid (s. Clark I) und Blausäure abgebaut. Die Blausäure ist zwar ebenfalls toxisch, wird aber im Meer relativ schnell zu ungiftiger Ameisensäure bzw. ihrem Natriumsalz abgebaut.

- **Adamsit** ist in Wasser nur in äußerst geringen Mengen löslich. Es hydrolysiert sehr langsam und bildet Phenarsazinoxid und Salzsäure. Es gelten die für Clark I und II gemachten Bemerkungen entsprechend, da auch Adamsit Arsen enthält.
- **Schwefel-Lost (S-Lost)** hydrolysiert im Meerwasser in zwei Schritten unter Bildung von Thiodiglycol und Salzsäure. Thiodiglycol ist ungiftig; die Salzsäure wird vom Meerwasser neutralisiert. Die Hydrolysegeschwindigkeit des S-Losts ist in reinem Wasser mit einer Halbwertszeit (Zeit, in der die Hälfte der Kampfstoffmenge zersetzt wird) im Minutenbereich zwar hoch, doch ist im Seewasser, vor allem bei tiefen Temperaturen, die Hydrolyse bedeutend langsamer; die Halbwertszeit liegt hier im Stundenbereich. Diese Angaben gelten jedoch nur für gelöstes Lost. Da Lost relativ schlecht löslich ist, wird der noch langsamere Lösungsvorgang zum geschwindigkeitsbestimmenden Schritt. Der Lösungsvorgang selbst hängt von vielen Parametern ab, wie Salzgehalt, Temperatur, Strömungsgeschwindigkeit des Wassers und Bedeckungsgrad des Kampfstoffes. Die Hydrolyse des festen Kampfstoffes kann somit Wochen bis Jahre dauern. Weitergehende Aussagen sind z. Z. nicht möglich.
- **Zäh-Lost** ist eine Variante des S-Lost, dem Verdickungsmittel zugemischt worden sind. Zäh-Lost hat ein gänzlich anderes Aussehen als normales S-Lost und ein unterschiedliches physikalisches Verhalten. Die Farbe reicht von rotbraun / braun-grün bis schwarz, die Konsistenz von schmieriger Paste - wie Pflaumenmus - bis zum gelatineähnlichen Erscheinungsbild. Es ist durchweg zäh und sehr klebrig. Ca. 20 % des gesamten S-Lostes wurden zu Zäh-Lost verarbeitet. Für das Verhalten im Meerwasser ist entscheidend, dass der S-Lost-Anteil durch die wasserunlöslichen Verdickungsmittel (z.B. Polystyrol, Wachs) vor einer Reaktion mit dem Meerwasser geschützt wird. Eine Hydrolyse ist erst möglich, nachdem S-Lost aus dem Zäh-Lost herausdiffundiert ist. Die Verdickungsmittel bleiben zurück und bilden das Grundskelett einer entstehenden Kruste, in die sich zusätzlich feine Sand- und Schlicketeile ablagern können. Dadurch wird das Herausdiffundieren noch vorhandener, aktiver Lost-Anteile weiter erschwert. Der in den entstehenden Zäh-Lost-Brocken enthaltene Kampfstoff kann so über Jahre konserviert werden. Dies wird umso eher

der Fall sein, je größer der Zäh-Lost-Brocken ist. Da die Brocken in sich sehr elastisch sind und noch durch die lederartige Kruste geschützt werden, wird eine mechanische Zerkleinerung im Meer erschwert. Es muss daher davon ausgegangen werden, dass Zäh-Lost nur in sehr langen Zeiträumen zu unschädlichen Stoffen abgebaut wird. Je nach ozeanographischen Bedingungen können auf dem Grund liegende Zäh-Lost-Brocken durch Wellenbewegungen bzw. Grundströmungen am Meeresboden transportiert werden.

- **N-Lost** hydrolysiert wesentlich langsamer und benötigt mehr Stufen als S-Lost. Die Halbwertszeit der ersten Stufe beträgt ca. 9 Stunden. Die Zeitdauer zur vollständigen Zersetzung beträgt im Süßwasser ca. 3 Wochen. Für Meerwasser liegen keine Untersuchungen vor. Es entstehen mehrere verschiedene Hydrolyseprodukte (wahrscheinlich Ethanolamine), die gut wasserlöslich und kaum giftig sind.
- **Lewisit** reagiert mit Wasser zu Chlorvinylarsinoxid. Dieses kann in alkalischer Lösung weiter reagieren zu arseniger Säure und Acetylen. Während Acetylen ein in diesem Zusammenhang unproblematisches Gas ist, kann die anorganische Arsen-Spezies in den natürlichen, marinen Kreislauf der abiotischen und biotischen Arsen-Spezies-Umwandlung einfließen (s. Clark I).
- **Tabun** ist gut wasserlöslich und relativ wenig beständig. Bei einer Temperatur von 7°C beträgt die Halbwertszeit im Wasser ca. 5 Stunden. Bei der Hydrolyse entstehen nichttoxische Phosphorsäureester und Blausäure. Die giftige Blausäure wird relativ leicht zu ungiftiger Ameisensäure, bzw. ihrem Natriumsalz umgesetzt.
- **Zyklon B** besteht aus Salzen der Blausäure; diese sind gut wasserlöslich. Die giftige Blausäure wird relativ leicht zu ungiftiger Ameisensäure, bzw. ihrem Natriumsalz umgesetzt.
- **Phosgen** ist eine sehr reaktionsfähige Verbindung, die in Meerwasser zu Kohlendioxid und Salzsäure abgebaut wird. Im leicht alkalischen Meerwasser wird die entstehende Salzsäure neutralisiert. Der Abbau erfolgt sehr schnell, selbst bei 0 °C ist eine 1 %ige wässrige Phosgen-Lösung bereits nach 20 Sekunden vollständig zersetzt.

Viele Kampfstoffe werden im Meerwasser innerhalb kurzer Zeiträume zu weniger giftigen, gut wasserlöslichen Stoffen abgebaut. Langfristig stellen sie daher keine nennenswerte Gefährdung der Meeresumwelt dar, da keine höheren Konzentrationen im Meerwasser zu erwarten sind (s. Kap. 2.4.2.4.3). Ausnahmen stellen Zäh-Lost und arsenhaltige Verbindungen dar. Zäh-Lost (und in geringerem Maße auch normales S-Lost) kann auch längere Zeit nach Freisetzung aus Munitionsbehältern in Form von mehr oder weniger großen, elastischen Brocken auftreten und noch seine volle Wirksamkeit als Hautkampfstoff entfalten, wenn es an die Meeresoberfläche gebracht wird und dort mit der Haut in Berührung kommt. Die arsenhaltigen Verbindungen Clark I, Clark II und Adamsit können aufgrund ihrer Beständigkeit auch längerfristig im marinen Milieu existieren und insbesondere im Sediment lokal in höheren Konzentrationen verbleiben. Sie bilden jedoch keine Klumpen wie Zäh-Lost. Bioakkumulationsvorgänge sind denkbar.

3.4.2 Toxikologische Eigenschaften

3.4.2.1 Wirkungen auf den Menschen

Die in der Literatur beschriebenen Wirkungen der einzelnen Kampfstoffe beziehen sich hauptsächlich auf den Einsatz der Kampfstoffmunition im Kriegsfall, d.h. auf die Wirkung bei feiner Verteilung und konzentrierter Einwirkung. Wirkungen können von der Kampfstoffmunition erst ausgehen, wenn der Kampfstoff freigesetzt wird. Dies kann entweder plötzlich, durch Explosion, oder langsam, nach Durchrosten der Munition, erfolgen. Bei Explosion der Munition (z.B. bei unsachgemäßer Handhabung bei der Bergung) werden schlagartig größere Kampfstoffmengen freigesetzt und als Aerosol fein verteilt, das eingeatmet werden oder den ganzen Körper kontaminieren kann. Dies entspricht der Wirkung im Kriegseinsatz. Dies ist im Fall der in der Ostsee lagernden Munition nach heutigem Kenntnisstand jedoch noch nie geschehen. Die bisher bekannt gewordenen Verletzungen von Fischern ereigneten sich vielmehr ausschließlich dadurch, dass aus durchgerosteter Munition ausgetretenes flüssiges oder festes S-Lost oder Zäh-Lost lokal begrenzt mit Hautpartien in Berührung gekommen ist. Daher werden an dieser Stelle nur die Wirkungen dieses Kampfstoffes näher beschrieben. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die aufgetretenen

Verletzungen nur bei Fischern aufgetreten sind, nachdem diese Zäh-Lost mit Grundschleppnetzen an die Meeresoberfläche geholt hatten.

S-Lost (2,2-Dichlor-diethylsulfid - *Synonyma*: Gelbkreuz, HD, Lost, Schwefel-Lost, Senfgas, Yperit) ist eine ölige, durch Verunreinigungen leicht gelb gefärbte Flüssigkeit mit einem charakteristischen Geruch ähnlich dem von Senf oder Knoblauch. Es durchdringt sehr gut Materialien wie Gummi, Leder, Textilien, Holz und Beton. Schädigungen durch Lost können über die Haut oder durch Inhalation erfolgen. Ohne jegliches Warnsignal wie z.B. Brennen oder Jucken durchdringt es innerhalb kurzer Zeit die kontaminierte Haut. Nach einigen Stunden treten Rötungen und sehr schmerzhafte, mit Flüssigkeit gefüllte Blasen auf. Als gefährliche Folgeschäden werden oft eitrige bakterielle Infektionen, besonders nach Öffnung der Blasen, beobachtet, da Lost auch die zelluläre Infektionsabwehr schwächt. Lostdämpfe reizen die Augen stark und führen zu starkem Tränenfluss und Schmerzen besonders gegenüber Licht. Direkter Kontakt der Augen mit Lost ruft Hornhauttrübung, Entzündungen und Nekrosen bis hin zur Erblindung hervor. Auf Inhalation der Lostdämpfe reagieren die Atmungsorgane mit Husten, Schnupfen und Bronchitis. Höhere Dosen bewirken Entzündungen und Nekrosen der Schleimhäute und Lungenödem. Inkorporation über den Verdauungstrakt erzeugt Übelkeit, Erbrechen, blutigen Durchfall, Fieber und Gewichtsverlust. Neben den lokalen Symptomen einer Lost-Exposition treten zusätzlich systemische Veränderungen auf: Atembeschwerden, Herz-Kreislaufstörungen und Schädigung des Nervensystems. Apathie, Siechtum und Tod sind die Endstadien bei schweren Vergiftungen. S-Lost kann darüber hinaus die Erbsubstanz (DNS) schädigen und gilt als krebserregend (kanzerogen).

Die angeführten Betrachtungen gelten auch für die Varianten des S-Losts wie Zäh-Lost und Winter-Lost: Die Vermischung mit Verdickern schützt den Schwefellostanteil des Zäh-Losts vor dem Einfluss von Wasser, ohne die Giftwirkung zu verringern. Zur Herabsetzung des Schmelzpunktes wurden für Winter-Lost Mischungen aus S-Lost mit diversen Zusätzen. Die Wirkung und das sonstige Verhalten entsprechen denen des S-Lostes.

3.4.2.2 Wirkungen auf die marine Umwelt

Die bisher durchgeführten, gezielten Untersuchungen zur toxischen Wirkung der Kampfstoffe auf das marine biotische System (ökotoxikologische Untersuchungen) sind noch sehr lückenhaft.

Die meisten Untersuchungen konzentrierten sich auf S-Lost und N-Lost. In Aquarierversuchen wurden Fische verschiedenen Lost-Konzentrationen ausgesetzt, um so Grenzwerte für die letalen Dosen abzuschätzen. Erwartungsgemäß reagieren verschiedene Lebewesen unterschiedlich empfindlich. Die akut toxischen Konzentrationen liegen für einige Algenarten bei 1 mg/l (ppm), für niedere Krebse bei etwa 10 mg/l, für Zebraquärlinge bei 3 mg/l, für Aale und Plattfische deutlich unter 10 mg/l. Bei diesen Konzentrationen treten bei Fischen schon nach wenigen Stunden im niederen Temperaturbereich von 4° C bis 15° C Seiten- oder Rückenlage, Krämpfe, Lähmungen, Kiemen- und Oberhautschäden sowie Gewebstod und Exitus auf. Laboruntersuchungen von Halsband haben gezeigt, dass bei Verfütterung sowohl ungekochter, als auch gekochte und gebratener, vergifteter Fische an Ratten keine Beeinträchtigungen aufgetreten sind.

Bei den arsenhaltigen Kampfstoffen der Clark-Reihe sowie Adamsit ist aufgrund ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften nicht auszuschließen, dass sie bioakkumulierbar sind. Untersuchungen hierüber liegen allerdings nicht vor. Bei vollständiger Mineralisierung bleibt eine anorganische Arsenverbindung zurück, die in den natürlichen, marinen Kreislauf der abiotischen und biotischen Arsen-Spezies-Umwandlung einfließen kann. Die entstehenden Arsenverbindungen besitzen keine Kampfstoffeigenschaften mehr, insbesondere anorganische Arsenverbindungen sind aber z.T. humankarzinogen, während organische Spezies wie Arsenobetain praktisch ungiftig sind. Bei der Bewertung der Toxizität von Arseneinträgen sollte berücksichtigt werden, dass im Ostseewasser bereits hohe natürliche Konzentrationen von ca. 1 µg/l beobachtet werden.

3.4.3 Untersuchungen zur Belastung mit chemischen Kampfstoffen

Im Herbst 1971 und im Frühjahr 1972 wurden in zwei Aktionen im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums durch die WSD-Kiel, die Munitionsräumgruppe Schleswig-Holstein und die Erprobungsstelle 53 der Bundeswehr Proben der Kampfstoffmunition (Phosgen- und Tabungranaten) geborgen, die im Südausgang des Kleinen Belts

lagern. Die Untersuchung der gehobenen 28 Bomben und 15 Granaten zeigte, dass ein großer Teil der Munition, die ungefähr 50 cm in den Schlick eingesunken war, durch Korrosion zerstört war und keinen Kampfstoff mehr enthielt. In den in unmittelbarer Nähe genommenen Wasser- und Sedimentproben konnten keine Spuren der Kampfstoffe nachgewiesen werden. Vom norwegischen Forschungsinstitut des Verteidigungsministeriums (Forsvarets Forskningsinstitut) wurde im Jahre 1989 eine große Untersuchung von im Skagerrak versenkten munitionsbeladenen Schiffen durchgeführt. Die Bomben, die sich in den Wracks oder in ihrer unmittelbaren Umgebung befanden, waren zum größeren Teil noch nicht durchgerostet, bei anderen waren schon Korrosionslöcher entstanden (vgl. auch 2.4.2.4.4).

Ein recht gutes Bild der Lage ergibt sich auch aus den zahlreichen Bergungen konventioneller und chemischer Munition durch die Kampfmittelräumdienste, vor allem aus ehemaligen, in küstennahen Bereichen liegenden Versenkungsplätzen von konventioneller Munition wie beispielsweise in der Neustädter Bucht und der Kieler Förde, sowie durch Zufallsaufnahmen von Munition durch Fischer im Rahmen der Grundnetzfisherei:

- ✓ Dickwandige Rohrwaffenmunition (Wandstärke 10 mm und größer, kaliberabhängig), gelagert auf Sand oder Kies, ist in der Regel nur wenige Millimeter stark angerostet. Die Zünder/Zündkörper aus Aluminium/Aluminiumlegierungen sind größtenteils oder vollständig oxidiert.
- ✓ Kleinkalibrige Munition, zum Beispiel 2-cm-Patronen, die frei im Wasser gelegen hat oder deren Packgefäße bereits völlig zersetzt waren, weist eine ebenfalls fast völlige Oxidation der Zünder auf. Initialsprengstoffe oder Wirkladungen liegen frei.
- ✓ Patronen in noch intakten Packgefäßen oder gelagert im Schlick weisen noch einen sehr guten Erhaltungszustand auf, manchmal sind sie fast noch verwendungsfähig.
- ✓ Dünnwandige Munition wie zum Beispiel Bomben, ist, wenn sie frei am Grund gelegen hat, mehr oder weniger durchgerostet. Meist enthält sie keinen Kampfstoff mehr.

Aufgrund der Vielzahl von Einflussgrößen ist anhand von theoretischen Überlegungen oder Berechnungen eine exakte Aussage über den Zustand der Munition an einem speziellen Versenkungsort nicht möglich. Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass sowohl intakte Munition, als auch vollständig korrodierte Hüllen ohne Kampfstoffreste gefunden werden.

3.5 Phosphor

Weißer Phosphor findet als Wirkmittel in bestimmter Brandmunition Verwendung (z.B. Phosphor-Brandbomben) und wurde früher auch in Nebelmunition eingesetzt. Er ist die reaktivste Form (genauer: Modifikation) elementaren Phosphors, von farblos-durchsichtiger bis gelblicher (syn.: Gelber Phosphor), wachsartiger Erscheinung, und entzündet sich unter Kontakt mit Sauerstoff bei 20-40 °C selbst, wobei er dann mit einer bis zu 1.300 °C heißen Flamme unter starker Entwicklung weißen Rauchs brennt. Durch das bei Sauerstoffkontakt unter anderem gebildete Phosphortrioxid wird weißem Phosphor indirekt ein markanter, Knoblauch-artiger Geruch zugesprochen. Neben der Brandwirkung und den entsprechend bei Hautkontakt schon durch geringe Mengen verursachten schweren Verletzungen, sind weißer Phosphor und seine Dämpfe (sowie bestimmte Reaktionsprodukte) hochgiftig. Mengen ab 1 mg/kg Körpergewicht können zum Tod führen. Da sowohl die Lösungsgeschwindigkeit als auch die Löslichkeit des weißen Phosphors schon in Süßwasser sehr gering sind (rd. 3 mg/L bei 15 °C), wird weißer Phosphor in sauerstofffreiem und salzhaltigem Wasser als wahrscheinlich auf unbeschränkte Zeit persistent eingeschätzt (Walsh, M. E. et al. 1995).

Bis heute wird besonders bei Sturmwindlagen weißer Phosphor in Brockenform an Strände der deutschen Küste, vor allem Mecklenburg-Vorpommerns, gespült. An dieser Stelle sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass keine umhüllten Kampfmittel wie Granaten oder Bomben angespült werden. Derartige Objekte sind entweder (z.B. bei alten Flakstellungen etc.) bereits im Strandsand vorhanden, oder sie wurden durch Sandaufspülungen (Küstenschutz) mit kampfmittelverseuchtem Sand aus der Ostsee dort aufgebracht. Ungeachtet der Herkunft stellt das An- bzw. Freispülen dieser Wirk- bzw. Kampfmittel eine Gefährdung dar, durch die im Laufe der Jahrzehnte eine Vielzahl von Personen zu Schaden gekommen ist, insbesondere im Bereich um Usedom (s. Kapitel 4.1). Auf das Gebiet um Peenemünde, wo sich im 2. Weltkrieg eine Heeresversuchsanstalt befand, wurde am 17./18.08.1943 durch die Royal Air Force ein Bombenangriff geflogen, bei dem phosphorhaltige Brandbomben weit an den Zielen vorbei auch in die küstennahen Bereiche der Ostsee fielen. Nach den derzeit verfügbaren britischen Unterlagen wurden bei dem Angriff 10.282 Brandbomben (Typ INC 30 lb Mk III, Flüssigbrandbombe, rd. 14 kg) und 79.840 Stabbrand-

bomben (Typ INC 4 lb, rd. 2 kg, Füllung ohne weißen Phosphor) abgeworfen. Unter der Annahme, dass ca. 40 % der Brandbomben als Fehlwürfe ins Meer gelangten und dass nach den heutigen verfügbaren Angaben durchschnittlich ca. 300 g weißen Phosphors (fester Phosphor ohne Kautschukzusatz, Schwankungsbreite 150-600 g) in der Bombenspitze der INC 30 lb Mk III Flüssigbrandbombe eingegossen waren, ergibt sich eine Gesamtmenge von rund 1,2 t weißen Phosphors (bei maximaler Füllmenge rund 2,5 t), die ins Meer gelangten (MBD MV 2011; Deutsch, H. 2010). Aufgrund der Zünderkonstruktion haben die Brandbomben ausgelöst und die Brandmasse sowie der als Anzünder dienende Phosphor wurden ausgestoßen. Allerdings hat sich der Phosphor beim Eintritt in das Wasser nicht entzündet oder ist abgesunken und wieder gelöscht worden, so dass er nun in Brockenform vorliegt. Freigespülter Phosphor ähnelt sehr stark Bernstein, der gern an Stränden gesammelt wird. Sobald Phosphor aber beispielsweise in der Hosentasche getrocknet ist, entzündet er sich von selbst, wodurch beispielsweise im Herbst 2004 eine Touristin bei Peenemünde schwere Verbrennungen erlitt. Weitere Vorfälle wurden unter anderem am 08. April 2010 im schleswig-holsteinischen Niendorf sowie im Sommer 2007 auf Fehmarn registriert. Auch aus der Kieler Förde gibt es einen Hinweis auf mögliche Phosphorfunde an den Stränden von Laboe und Strande im Jahr 2007. Schadensfälle sind hier aber bisher nicht bekannt geworden. Der Nachweis, dass es sich bei den Fundsachen tatsächlich um Phosphor handelte, konnte nicht erbracht werden, zumal sich die gefundenen Gegenstände keinem Kampfmittel aus den Weltkriegen zuordnen ließen.

Die besonders nach Sturmfluten angespülten, bernsteinfarbenen Phosphorklumpen gefährden vor allem Touristen. Präventiv wurden die bekannten Anspülbereiche (insbesondere um Usedom) in Mecklenburg-Vorpommern mit Warnhinweisen beschildert. Eine Analyse und Bewertung dieser Maßnahmen findet sich in Deutsch (2010).

4 Bisherige Vorkommnisse und aktuelle Gefährdungslage

Die während der Kriege ins Meer gelangte Munition, sowie die nach den Kriegen ins Meer eingebrachte Munition, stellt auch heute noch ein Gefahrenpotential dar. Dabei werden insbesondere Gefahren durch versenkte chemische Munition („Giftgas“) als besonders bedrohlich angesehen.

Zu Gefahrensituationen kommt es, wenn ein schützenswertes Gut auf eine Gefahrenquelle trifft, z.B. ein Mensch auf eine alte Bombe. Dann kann es zu Unfällen kommen, die typischerweise nachvollziehbare Ursachen haben, z.B. die Manipulation eines Kampfmittels durch die beteiligten Personen, gefolgt von dessen anschließender Detonation.

Kann die Ursache für solch eine Detonation (oder auch nur für ein beobachtetes Ereignis, wie beispielsweise ein Knall oder eine Erschütterung, bei dem als Ursache eine Detonation vermutet wird) nicht nachvollzogen oder nicht auf menschliche Aktivitäten zurückgeführt werden, wird oftmals von einer Selbstdetonation gesprochen. Der Begriff „Selbstdetonation“ legt zwar nahe, dass ein Kampfmittel aus sich selbst heraus detoniert, allerdings ist üblicherweise eine vorhergehende, äußere Einwirkung zu vermuten. Weil oftmals nicht die Detonationen an sich, sondern nur unerklärliche Ereignisse beobachtet werden, müssen scheinbare Selbstdetonationsereignisse besonders überprüft werden. Es gibt bisher keinen Fall einer Selbstdetonation in deutschen Meeressgewässern: Beispielsweise wurde ein am 08. Juli 2004 auf Sylt von Zeugen vernommenes, bis heute ungeklärtes Beben nur in ersten, ungerichteten Mutmaßungen mit einer Explosion auf See, also einer etwaigen Selbstdetonation versunkener Kampfmittel, in Verbindung gebracht und kann entsprechend nicht als belegtes Beispiel für Selbstdetonationen in deutschen Meeressgewässern herangezogen werden.

Im Gegensatz dazu ist die Datengrundlage für Vorkommnisse und Unfälle mit menschlicher Beteiligung im Großen und Ganzen als belastbarer anzusehen. Im Folgenden werden die bekannten Fälle dargestellt und diskutiert, woraufhin in Kapitel 4.2 eine Einschätzung der aktuellen Gefährdungslage mit Angabe betroffener Risikogruppen gegeben wird.

4.1 Bekannte Vorkommnisse und Unfälle

Seit Ende des 2. Weltkriegs ist es – insbesondere in Jahren unmittelbar nach 1945 – zu teilweise schwerwiegenden Zwischenfällen mit Toten und Verletzten gekommen. In den Strandbereichen der Nord- und Ostsee wird gelegentlich weißer Phosphor aufgefunden, im Bereich der Insel Usedom geschieht dies relativ häufig. Der Grund dafür liegt an den massiven Bombardierungen der Gegend mit phosphorhaltigen Brandbomben während des 2. Weltkriegs. Die Phosphorbrocken werden sehr leicht mit vermeintlichem Bernstein verwechselt. Da sich die Phosphorbrocken nach Trocknung selbst entzünden, kommt es immer wieder zu Unfällen, die insbesondere Strandbesucher betreffen. Die bekannten Fälle sind in Abbildung 19 aufgeführt.

4.1.1 Quellen

In den letzten Jahren sind sowohl international als auch national z.T. umfangreiche Statistiken erstellt und bewertet worden. In den Statistiken sind die Fälle zusammengestellt worden, in denen Munition aufgefunden wurde. Schwerwiegende Unfälle mit ernststen Verletzungen und Todesfällen sind mit Ausnahme der Jahre 1945 -1957 nur in wenigen Fällen aufgetreten. Für die gesamte Nordsee und den Nordostatlantik hat die OSLO/PARIS-Kommission 2009 die von den Vertragsstaaten gemeldeten Vorkommnisse veröffentlicht („Database on Encounters with Dumped Conventional and Chemical Munitions“, Implementation of OSPAR Recommendation 2003/2; vgl. Anlage 10.4.2.1). Für den Ostseebereich werden Vorkommnisse mit chemischen Kampfstoffen im Rahmen von HELCOM jährlich durch Dänemark erhoben. HELCOM erfasst Vorkommnisse mit konventioneller Munition bisher nicht. Nach dem 2. Weltkrieg in der deutschen AWZ und den Küstengewässern in Nord- und Ostsee vorgekommene Unfälle wurden durch Recherchearbeiten von Dr. Stefan Nehring sowie durch das Innenministerium Mecklenburg-Vorpommern erfasst. In einer kürzlich publizierten Dissertation von Dr. Marc Koch wurden Zwischenfälle mit konventionellen und chemischen Kampfmitteln für die Ostsee umfassend zusammengestellt (Anlage 10.4.1.5). Weitere Zusammenstellungen sind in den Burmeier-Gutachten für Niedersachsen und Schleswig-Holstein enthalten (Anlagen 10.4.1.2 und 10.4.1.3).

4.1.2 Zusammenstellung von Unfällen in den deutschen Gewässern der Nordsee

Offiziell überprüfte Aufstellungen über Unfälle in den deutschen Küstengewässern und der AWZ liegen aufgrund fehlender personeller und zeitlicher Ressourcen bisher nicht vor. In Tabelle 4 sowie in Anlage 10.4.1.5 sind die bisher bekannten Unfälle aufgelistet. Die Liste beruht weitgehend auf Recherchen von Dr. Stefan Nehring und Dr. Marc Koch. Eine behördliche Überprüfung der einzelnen Vorfälle würde einen immensen Aufwand bedeuten und war bisher nur in Teilen möglich. Danach haben sich die drei Unfälle mit chemischen Kampfstoffen im Jahr 1954 bei Bergungsarbeiten auf der Jade ereignet. Aufgrund der Art der Verbrennungen wird vermutet, dass es sich um den Kampfstoff Lost (Senfgas) handelte. Die Herkunft der Munition ist unbekannt. Von den angeblich durch Phosphor ausgelösten Unfällen im Jahr 2004 an den Stränden von Wangerooge und Tossens konnte lediglich der Unfall bei Tossens bestätigt werden. Hierbei kam es bei einem Strandbesucher zu Verbrennungen durch Phosphor aus einer britischen Brandbombe. Eine Recherche bei der Gefahrenabwehrbehörde der Gemeinde Wangerooge dagegen ergab, dass dort im Jahr 2004 kein Unfall mit Munition bekannt ist. In den 1960er Jahren haben sich dort Vorfälle mit Kampfmitteln ereignet, bei denen zwei Sprengmeister getötet wurden.

Wie aus Abbildung 12 und Abbildung 20 zu ersehen ist, ereignete sich die Mehrheit der Unfälle bereits in den Jahren 1945 bis 1950 und kann damit noch als unmittelbare Kriegsfolge bewertet werden. Ein Teil der Unfälle erfolgte sogar im Rahmen der Versenkung und Bergung von Munition. Weitere, in der Vergangenheit häufiger von Vorfällen mit Munition betroffene Bereiche sind die Fischerei und die Schifffahrt.

Die Vorfälle in der deutschen Nordsee sind vor allem auf konventionelle Munition zurückzuführen. Der überwiegende Teil der Unfälle wurde durch sog. Sperrwaffen ausgelöst, als Seesperren ausgelegte, bezünderte Seeminen. Eine Zusammenstellung der nach Ende des 2. Weltkriegs durch Seeminen verursachten Verluste und Beschädigungen ist in Tabelle 4 dargestellt.

Etwa 86% aller bekannten Fälle haben sich nach der vorliegenden Aufstellung in dem Zeitraum bis 1960 ereignet. Seit dieser Zeit hat die Zahl der Vorfälle stark abgenommen.

4.1.3 Bewertung von Unfällen in den deutschen Gewässern

Insbesondere die nach den beiden Weltkriegen in Nord- und Ostsee versenkte Munition ist heute immer wieder Thema öffentlicher Diskussionen, die aufgrund vorhandener Ängste oft sehr emotional geführt werden. Dabei werden insbesondere die Gefahren durch versenkte chemische Munition („Giftgas“) als besonders bedrohlich angesehen. In den Jahren 2007 und 2008 sind in diesem Zusammenhang zwei Veröffentlichungen von S. Nehring erschienen, in denen der Autor Zusammenstellungen über Vorfälle vorlegte, die nach dem 2. Weltkrieg in den deutschen ausschließlichen Wirtschaftszonen und Küstenmeeren der Nord- und Ostsee bekannt geworden sind. Diese informative Zusammenfassung wurde 2009 durch N. Theobald (BSH) aufgeschlüsselt, was im Folgenden wiedergegeben wird. Die Schlussfolgerungen gelten grundsätzlich auch unter Berücksichtigung der nach 2007 aufgetretenen Fälle.

4.1.3.1 Ostsee

4.1.3.1.1 Gesamtfälle

Insgesamt wurden 117 Vorkommnisse mit Munition im Küstenmeer und der deutschen AWZ der Ostsee erfasst, die sich in den Jahren von 1945 bis 2007 ereignet haben (Abbildung 10).

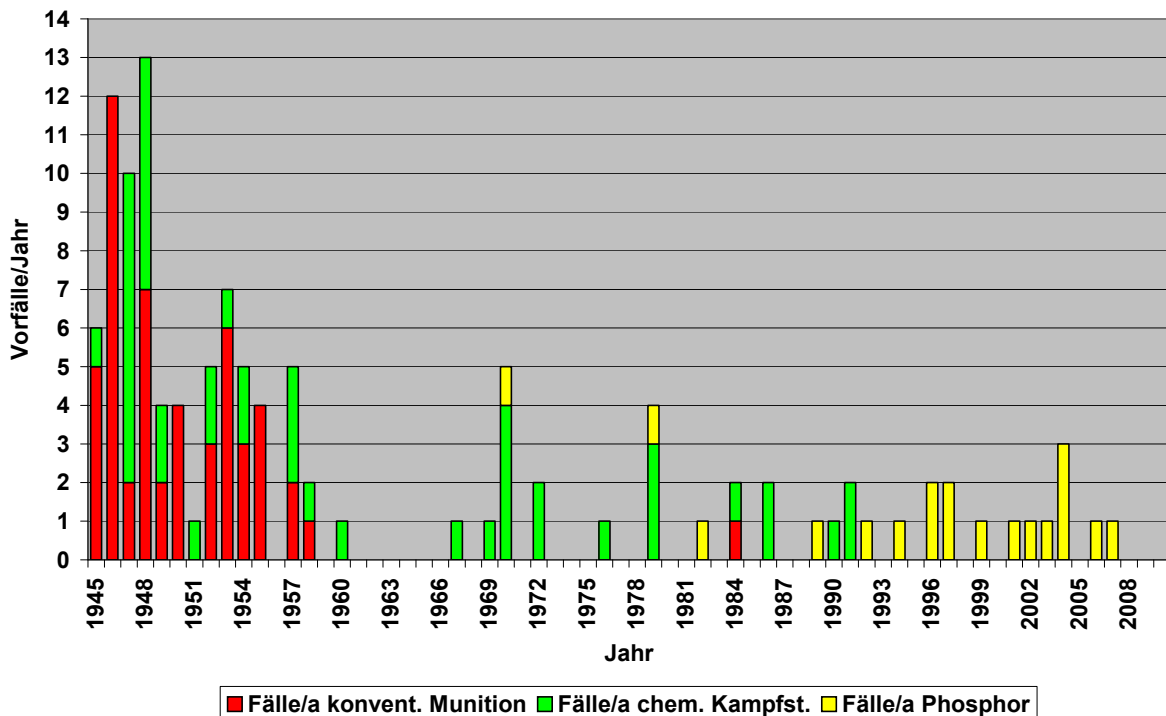


Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf der beobachteten Vorfälle in der Ostsee (nach Nehring 2007).

Wie die Abbildung 10 verdeutlicht, ereigneten sich bereits 38 % der Fälle unmittelbar nach dem Krieg in den Jahre 1945 bis 1949 und können als unmittelbare Kriegsfolgen gewertet werden. Bis 1954 erfolgten im Ostseebereich weitere 19 % und bis 1960 ereigneten sich 66 % der Gesamtfälle. Danach war im Mittel ein Vorfall pro Jahr zu verzeichnen.

Bemerkenswert sind die zeitlichen Verläufe der unterschiedlichen Ursachen der Vorfälle. Unmittelbar nach dem Krieg traten Vorfälle mit konventioneller Munition relativ häufig auf, was jedoch recht schnell abnahm (bis ca. 1958). Fälle mit chemischer Munition ereigneten sich ebenfalls vornehmlich kurz nach dem Krieg, wobei die Häufigkeit dieser Vorkommnisse in den Folgejahren aber langsamer abnahm als die der Vorfälle mit konventioneller Munition. Die letzten Fälle wurden Anfang der 1990-iger Jahre beobachtet (zu beachten ist dabei, dass dies nur Fälle mit deutscher Beteiligung betrifft, s. aber auch „HELCOM“ Berichte mit hauptsächlich dänischer Beteiligung). Bei Fällen in Folge von Phosphor-Funden und –Kontakt begannen die berichteten Vorfälle erst 1970, ziehen sich dann aber relativ gleichbleibend bis in die heutigen Tage hin. Mögliche Gründe und Erklärungen für diese unterschiedlichen zeitlichen Verläufe werden weiter unten separat für die einzelnen Gruppen diskutiert.

Die Aufteilung der gesamten 117 Vorfälle nach Ursachen (s. Abbildung 11) zeigt, dass etwa gleich viele Fälle durch konventionelle Munition (45 %) und chemische Munition (39 %) erfolgten, während durch Phosphor 16 % verursacht wurden.

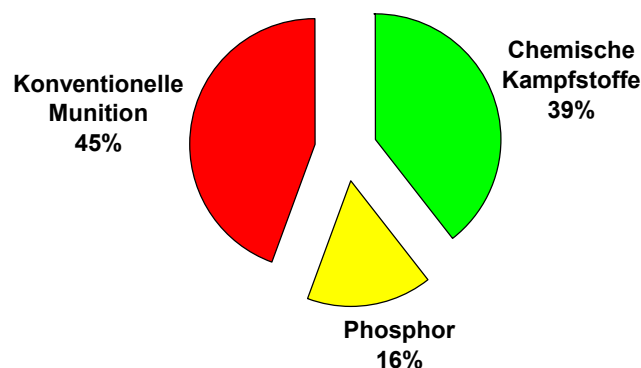


Abbildung 11: Aufteilung der Gesamtfälle nach Munitionsart (nach Nehring 2007).

Im Folgenden werden die Vorfälle zum einen nach Fällen mit Todesopfern und mit Verletzten, zum anderen nach Ursachen aufgegliedert diskutiert.

4.1.3.1.2 Fälle mit Todesopfern

Bei den 15 Vorfällen mit insgesamt 168 Todesopfern ist der Einfluss des Kriegs noch deutlicher zu beobachten als bei der Betrachtung der reinen Fallzahlen: 90 % der Todesfälle waren in den Jahren 1945 und 1946 zu verzeichnen. Nach 1957 war kein weiterer Todesfall zu beklagen (Abbildung 12).

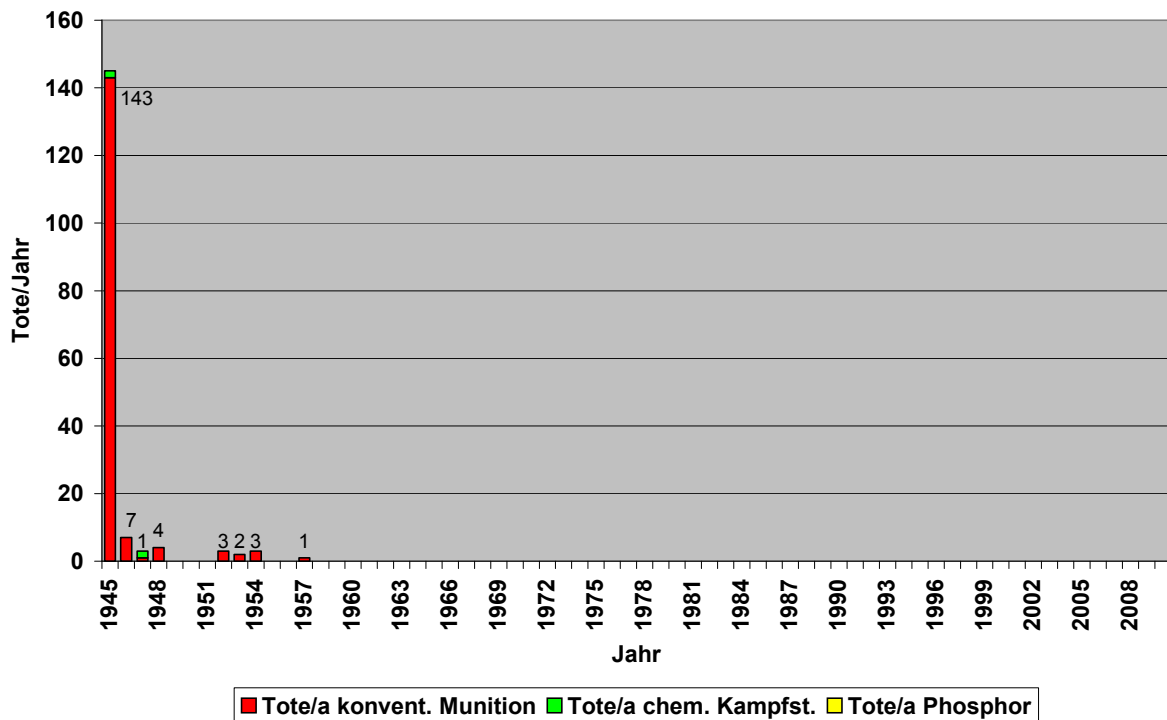


Abbildung 12: Zeitlicher Verlauf der Anzahl von Todesopfern in der Ostsee (nach Nehring 2007).

Wie Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen, handelt es sich bei den Fällen mit Todesopfern überwiegend um Vorfälle mit konventioneller Munition. Bei drei Fällen mit vier Toten war chemischer Kampfstoff beteiligt. In allen dieser drei Fälle ereigneten sich die Unfälle bei der Versenkung von Munition. Insgesamt waren die meisten tödlichen Unfälle bei der Munitionsversenkung (88 %) und –bergung (6 %) zu verzeichnen. Die restlichen 6 % der Opfer starben in den Jahren 1946 bis 1948 bei der Explosion von Seeminen (s. Tabelle 4). Die hohe Zahl von Todesopfern vermittelt den Eindruck, dass diese Unfälle zu dieser Zeit alltäglich gewesen sind. Tatsächlich verteilen sich 85 % aller verzeichneten Todesfälle auf nur zwei Unfälle. Bei den Opfern handelt es sich wahrscheinlich hauptsächlich um Seeleute und Personal zur Munitionsbeseitigung.

Abbildung 13: Ursachen der Todesfälle (nach Nehring 2007).

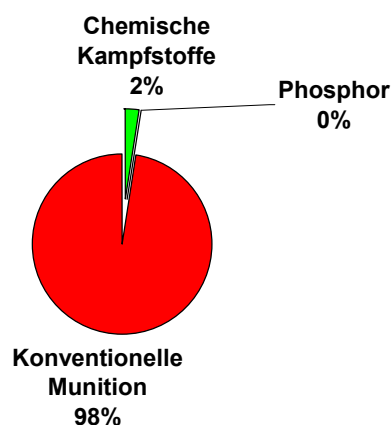


Tabelle 4: Vorfälle mit Todesopfern (nach Nehring 2007).

Datum	Ort	Aktivität	Kampfmittel	Ereignis	Tote
14.06.1945	Flensburg	Munitionsentschärfung	Kampfmittel	Detonation, 5 Schiffe versenkt bzw. beschädigt	88
14.08.1945	Kattegat	Munitionsversenkung	Kampfmittel	Detonation, Dampfer versenkt	55
Ende 1945	Kieler Förde	Munitionsversenkung	Kampfstoff	Leck, Besatzung direkt vergiftet	2
1946	Lübecker Bucht	Munitionsversenkung	Kampfmittel	Detonation, Schute versenkt	2
10.03.1946	Kieler Bucht	Schifffahrt	Seemine	Detonation, Dampfer versenkt	2
07.06.1946	Kieler Bucht	Schifffahrt	Seemine	Detonation, Fischkutter versenkt	3
1947	Arkona See	Munitionsversenkung	Senfgas	Leck, Besatzung direkt vergiftet	1
13.08.1947	bei Bornholm	Munitionsversenkung	Senfgas	Leck, Besatzung direkt vergiftet	1
18.10.1947	Fehmarn Belt	Schifffahrt	Seemine	Detonation, Fischkutter versenkt	1
29.01.1948	Kieler Förde	Schifffahrt	Seemine	Detonation, Hilfsschiff versenkt	2
17.10.1948	W Rügen	Schifffahrt	Seemine	Detonation, Fischdampfer versenkt	2
04.06.1952	Kieler Bucht	Wrackbergung	Torpedokopf	Detonation	3
14.03.1953	Kieler Förde	Munitionsbergung	Kampfmittel	aufgefischt und detoniert, Fischkutter versenkt	2
30.01.1954	Kieler Bucht	Munitionsbergung	Torpedokopf	beim Delaborieren detoniert	3
27.06.1957	Neustädter Bucht	Munitionsbergung	Sprenggranaten	aufgefischt und detoniert	1
SUMME (mindestens)					168

Vorfälle mit Todesfolgen sind nur kurz nach dem Krieg aufgrund von Versenkungs- und Bergungsmaßnahmen oder durch Seeminen zu verzeichnen. Aus der relativ hohen Gesamtzahl an Opfern lässt sich keine allgemeine, noch immer bestehende, hohe Gefährdung ableiten.

4.1.3.1.3 Fälle mit Personenschäden

Bei den 69 Fällen mit insgesamt 262 Verletzten zeigt sich im Vergleich zu den Betrachtungen zu Todesfällen keine derart prägnante, zeitliche Häufung. Die durchschnittlichen, jährlichen Personenschäden² nahmen im Laufe der Zeit von 6 auf 1 pro Jahr ab (Abbildung 14). Hierbei fällt jedoch ein einzelner Fall im Jahr 1979 mit 100 Verletzten durch Phosphor-Verbrennungen am Strand von Usedom aus dem statistischen Rahmen. Das Auftreten einer derart hohen Zahl von Verletzten konnte bisher nicht durch Zeitzeugenaussagen verifiziert werden.

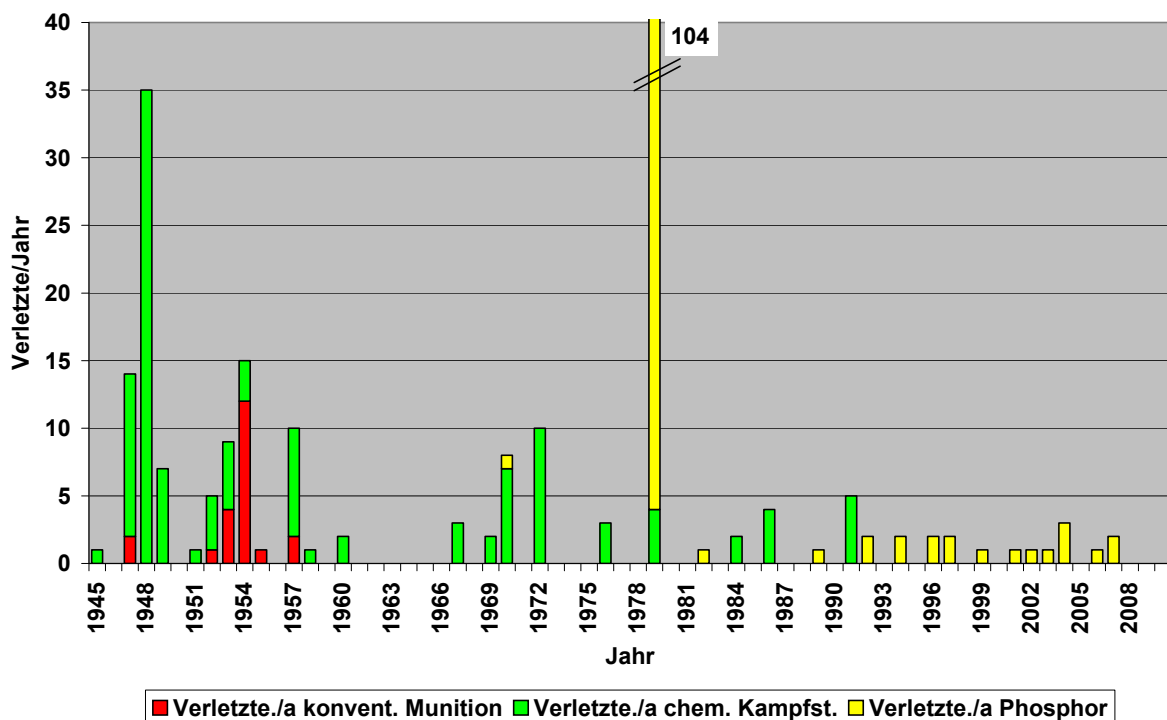


Abbildung 14: Zeitlicher Verlauf der Anzahl von Verletzten (nach Nehring 2007).

² Berechnet jeweils für 5-Jahresabschnitte ab 1945.

Der zeitliche Verlauf der Verletzungsursachen ähnelt dem der Vorfallszahlen (Abbildung 10). Allerdings ist die Aufteilung der gesamten 69 Verletzungsfälle nach Ursachen anders als bei den Fallzahlen. Abbildung 15 zeigt, dass etwa gleich viele Verletzungen durch Phosphor (47 %) und chemische Munition (45 %) erfolgten, während durch konventionelle Munition nur 8 % verursacht wurden.

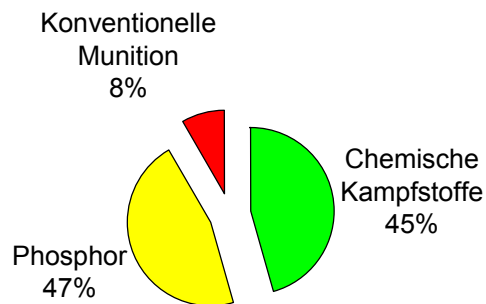


Abbildung 15: Ursachen der Verletzungen (nach Nehring 2007).

4.1.3.1.4 Vorfälle mit konventioneller Munition

Vorfälle mit konventioneller Munition ereigneten sich vor allem in den ersten Jahren nach dem Krieg. Sie erfolgten hauptsächlich durch Seeminen und bei der Munitionsbergung. Entsprechend waren vor allem Seeleute und Mitarbeiter von Munitionsräumdiensten gefährdet.

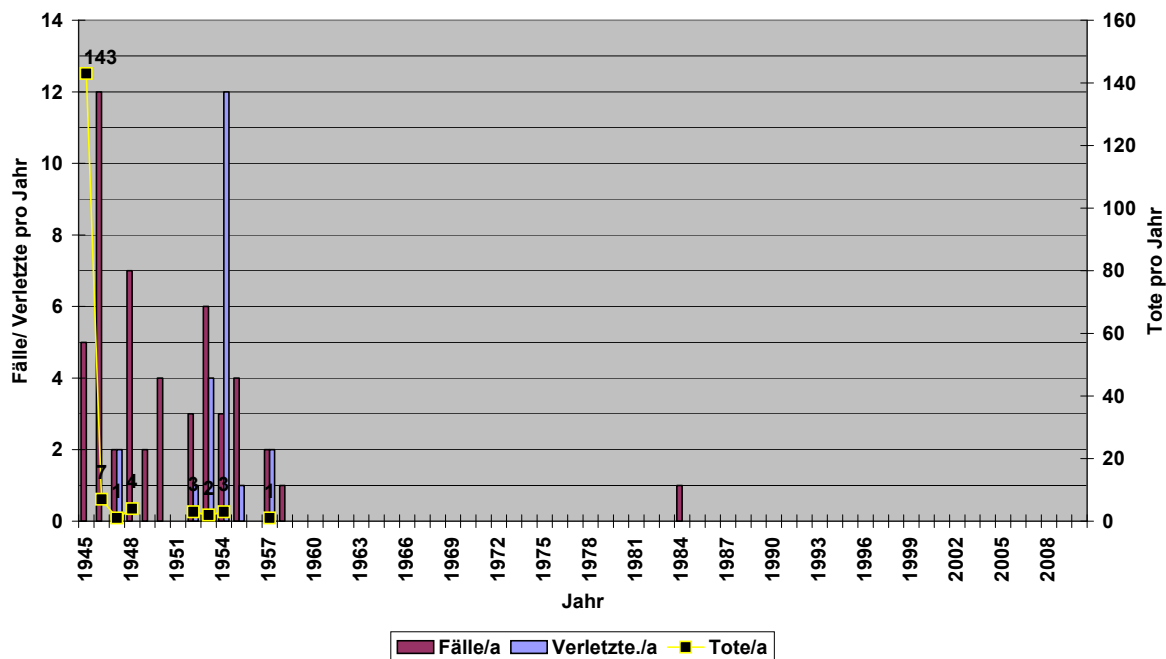


Abbildung 16: Vorfälle mit konventioneller Munition in der Ostsee (nach Nehring 2007).

Bei Unfällen mit konventioneller Munition waren die meisten Todesfälle und Verletzten zu beklagen. Bei einem einzelnen Fall im Jahr 1945 waren 143 Tote zu verzeichnen. Wie Abbildung 16 jedoch klar zeigt, ist die Gefährdung nach 1957 nur noch als sehr gering einzuschätzen.

4.1.3.1.5 Vorfälle mit chemischer Munition

Auch bei Fällen mit chemischer Munition ist eine Häufung unmittelbar nach dem Krieg vorhanden, die ursächlich in der Handhabung dieser Munition im Rahmen von Versenkungsaktionen zu sehen ist. Hierbei waren mit 4 Toten und 12 Verletzten auch die meisten Personenschäden zu verzeichnen. In den Folgejahren standen die meisten Vorfälle und Verletzungen im Zusammenhang mit Fischerei-Aktivitäten. Abbildung 17 vermittelt den Eindruck, dass sich nach 1991 keine Vorfälle mehr ereignet hätten. Dies gilt jedoch nur für Fälle mit deutscher Beteiligung oder in der deutschen AWZ.

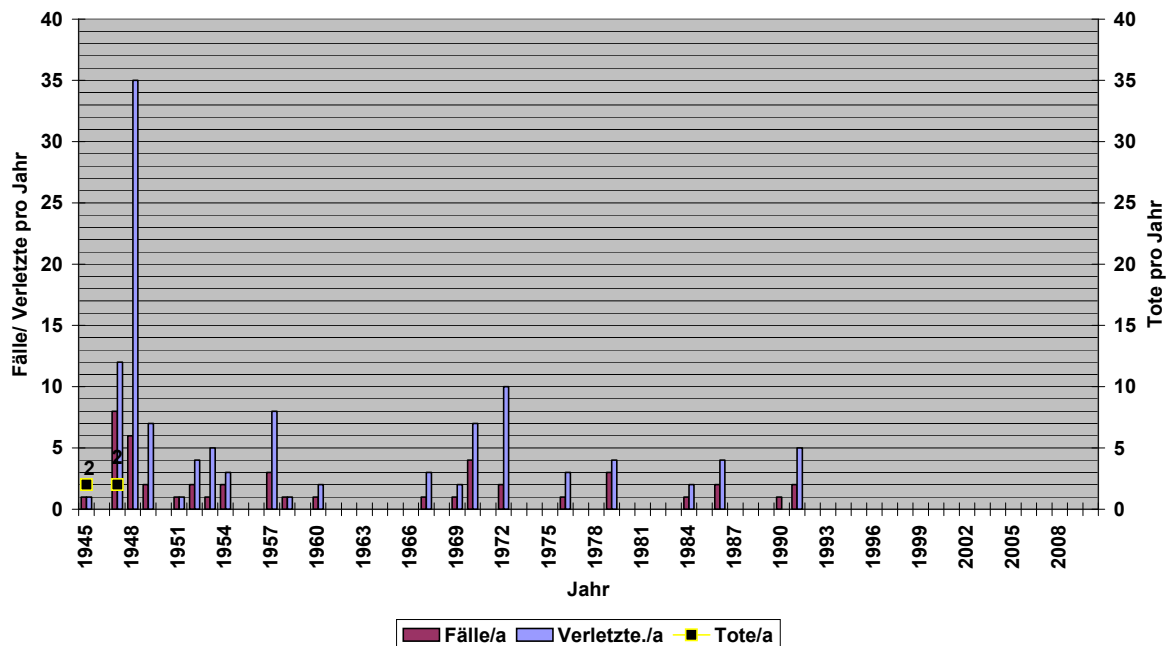


Abbildung 17: Vorfälle mit chemischer Munition in den deutschen Hoheitsgewässern, der AWZ oder mit deutscher Beteiligung (nach Nehring 2007).

Um ein umfassendes Gesamtbild zu erhalten, werden im Folgenden die von HELCOM veröffentlichten Vorfälle in der gesamten Ostsee zur Bewertung mit herangezogen. In Abbildung 18 sind die vom „Lead Country“ Dänemark erfassten Vorfälle mit chemischer Munition zusammengestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Zahl

der Vorfälle nach einem Höchstwert mit über 100 Fällen im Jahr 1991 in den letzten Jahren stark abgenommen hat und im Durchschnitt auf 2-3 Fälle pro Jahr gesunken ist.

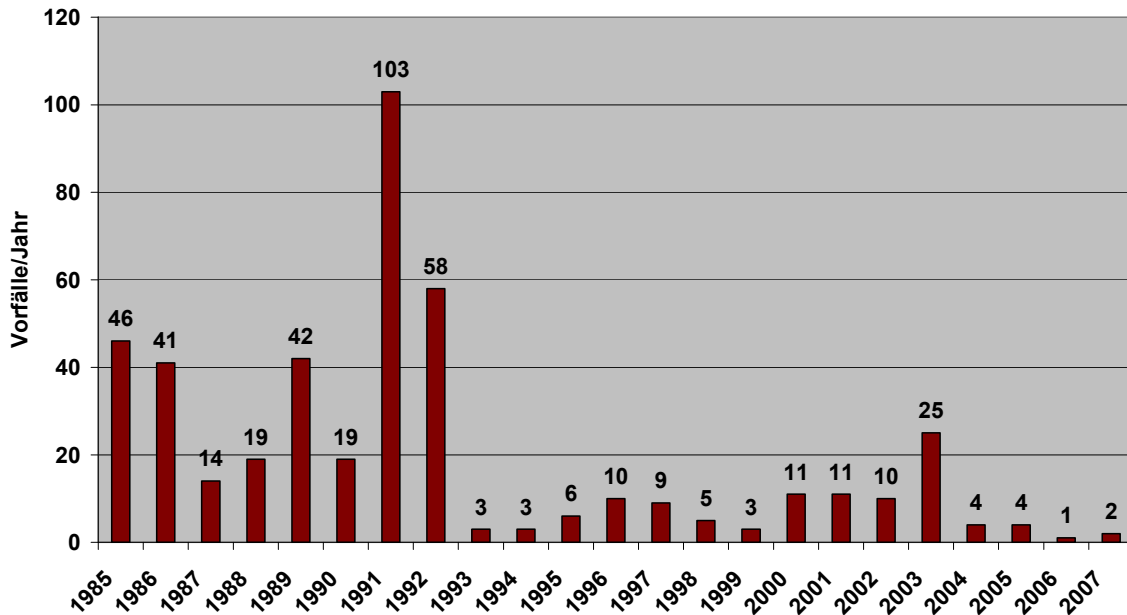


Abbildung 18: Kampfstoff-Funde durch Fischer in der gesamten Ostsee (nach 10.4.2.3).

Charakteristisch für Vorfälle mit chemischer Munition ist, dass sie hauptsächlich im und um das Versenkungsgebiet östlich von Bornholm auftreten und ausschließlich Fischer betroffen (und somit gefährdet) sind, die Munition oder Zäh-Lost-Klumpen mit Grundschleppnetzen aufgefischt haben. Im Versenkungsgebiet südlich von Gotland und auf den Transportwegen von Wolgast zu den Versenkungsgebieten wurden nur sehr wenige Funde bekannt.

4.1.3.1.6 Vorfälle mit Phosphor

Vorfälle mit Phosphor weisen einige Besonderheiten auf: Zum einen können sie sehr vereinzelt an den Stränden der Nord- und Ostsee auftreten, sind aber insbesondere lokal konzentriert an den Stränden von Usedom (der Grund hierfür liegt in den massiven Bombardierungen der Gegend mit phosphorhaltigen Brandbomben durch das Vereinigte Königreich im 2. Weltkrieg). Zum anderen lag bisher die Verletzungswahrscheinlichkeit bei den Funden bei praktisch 100 %. Bei jedem der zwischen 1970 und 2007 berichteten 19 Vorfälle wurden Personen verletzt. Insgesamt wurden 121 Ver-

letzte verzeichnet, wobei ein einzelner, bisher nicht durch Zeitzeugenaussagen verifizierter Fall mit 100 Verletzten statistisch schwer zu bewerten ist (Abbildung 19).

Dass die Vorfälle erst relativ spät nach dem Krieg auftraten, mag verschiedene Gründe haben: Zum einen könnten sie in der DDR relativ lange verschwiegen worden sein, so dass sie nicht bekannt wurden. Zum anderen kann aber auch die Zahl der Besucher an den Stränden von Usedom erst in den 1970-ern signifikant gestiegen sein. Es waren fast ausschließlich Strandbesucher (Touristen) an den Stränden um Usedom betroffen.

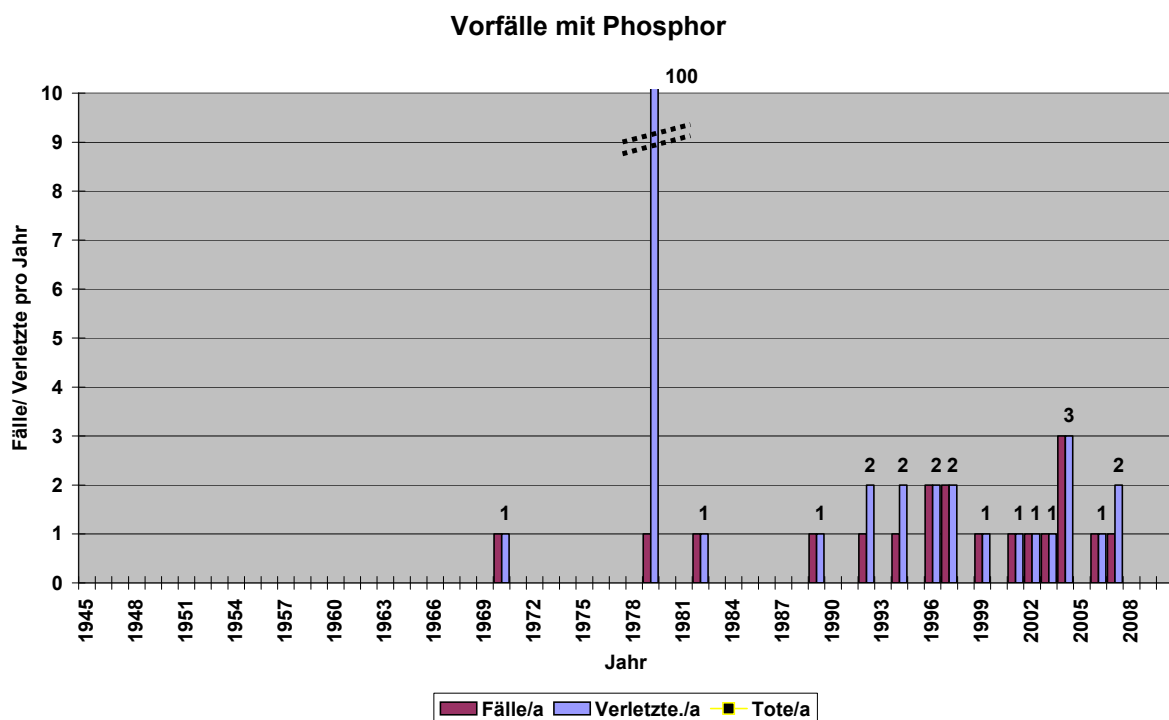


Abbildung 19: Vorfälle durch Phosphor in deutschen Hoheitsgewässern oder mit deutscher Beteiligung (nach Nehring 2007).

4.1.3.1.7 Zusammenstellung von Vorkommnissen und Unfällen in den Gewässern der Ostsee

Eine umfangreiche Aufstellung über Vorkommnisse und Unfälle in der gesamten Ostsee ist in der Dissertation von Marc Koch enthalten (siehe Anlage 10.4.1.5). In der Aufstellung sind die in der deutschen AWZ aufgetretenen Vorkommnisse und Unfälle enthalten. Für die chemischen Kampfmittel werden vom HELCOM-Sekretariat jährlich die Funde erfasst und dokumentiert. In dem 2009 vom HELCOM-Sekretariat

veröffentlichten Bericht (s. Anlage 10.4.2.3) wird festgestellt, dass die Anzahl der Vorkommnisse seit 2003 signifikant abgenommen hat. Inwieweit die Abnahme der Vorkommnisse auf eine Entspannung der Situation oder die unzuverlässige Meldung durch die Vertragsstaaten hinweist, kann derzeit nicht geklärt werden.

Eine Gefährdung durch versenkte Munition in der Ostsee ist auch heute noch vorhanden, allerdings hat die Wahrscheinlichkeit von Vorfällen mit durchschnittlich einem Fall pro Jahr im Laufe der Jahre abgenommen. Die am stärksten gefährdeten Gebiete sind bekannt und die Gefahren lokal begrenzt. Eine Gefährdung durch chemische Munition besteht z.Z. vor allem für Fischer im Versenkungsgebiet des Bornholm-Beckens. Für Strandbesucher besteht eine Gefährdung an den Stränden um Usedom durch Phosphor-Funde, insbesondere beim Bernsteinsammeln. Die Gefährdung durch konventionelle Munition war in den letzten 50 Jahren relativ gering. Allerdings ist zu beachten, dass bei Aktivitäten mit Grundberührung (Schleppnetzfisherei oder Baggerarbeiten (z.B. Pipeline-Bau)) die Gefährdung deutlich größer sein kann.

4.1.3.2 Nordsee

4.1.3.2.1 Gesamtfälle

Insgesamt wurden 57 Vorkommnisse mit Munition in der Nordsee (deutsche Küstengebiete und AWZ) erfasst, die sich in den Jahren von 1945 bis 2007 ereignet haben (Abbildung 20), etwa halb so viele Fälle wie in der Ostsee.

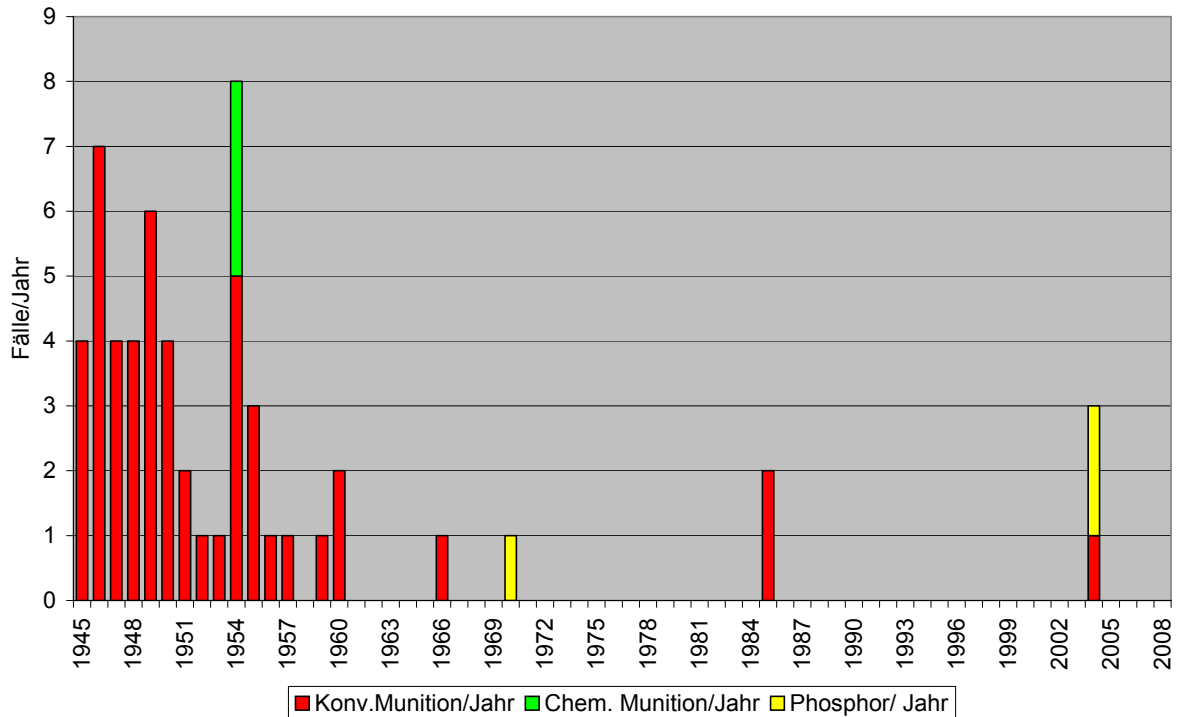


Abbildung 20: Zeitlicher Verlauf der Vorfälle in der Nordsee (deutsche AWZ und Hoheitsgewässer) (nach Nehring 2008).

Wie Abbildung 20 verdeutlicht, ereigneten sich 44 % (25) der Fälle bereits unmittelbar nach dem Krieg in den Jahre 1945 bis 1949 und können als unmittelbare Kriegsfolgen gewertet werden. Die meisten Vorfälle erfolgten durch Seeminen und betrafen die Schifffahrt. Bis 1960 hatten sich 86 % der heute bekannten Gesamtfälle ereignet. Danach waren nur 7 Fälle zu verzeichnen. Wie Abbildung 21 zeigt, wurden 90 % der Vorfälle durch konventionelle Munition verursacht; 55 % allein durch Seeminen. Nur bei 5 % der Fälle war chemische Munition beteiligt (alle drei Fälle ereigneten sich 1954). Bei 5 % der Vorfälle erfolgten Verletzungen durch Phosphor (1970 und 2004).

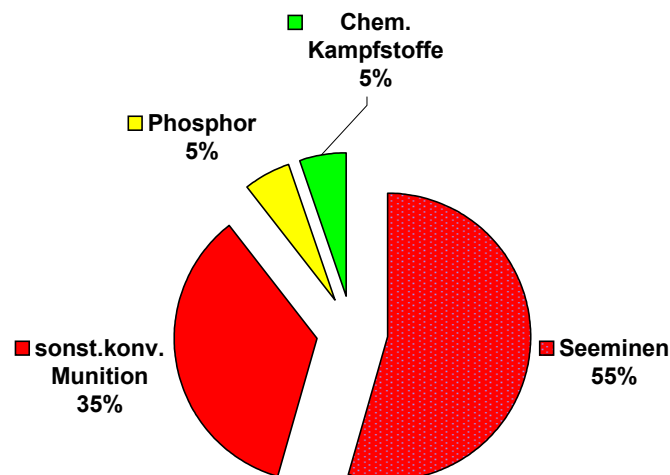


Abbildung 21: Aufteilung der Gesamtfälle nach Munitionsart (nach Nehring 2008).

Todesfälle ereigneten sich ausschließlich durch konventionelle Munition. Von den insgesamt 115 Opfern starben 98 (85 %) bei einem einzigen Vorfall im Jahre 1946. Bis 1960 ereigneten sich weitere 5 Fälle mit 16 Toten (Abbildung 22). Ab 1961 wurde nur noch ein einziger Fall mit einem Todesopfer bekannt (1985).

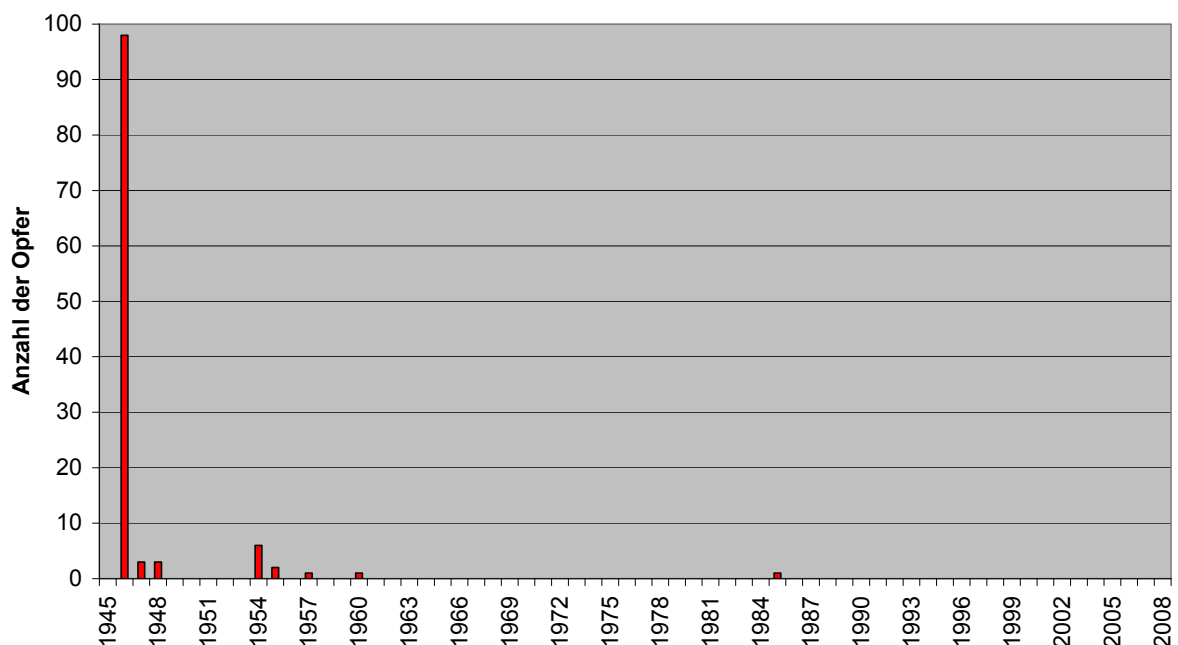


Abbildung 22: Zeitlicher Verlauf der Anzahl von Todesopfern in der Nordsee (deutsche AWZ und Hoheitsgewässer) (nach Nehring 2008).

Bei 19 Vorfällen wurden insgesamt 35 Personen verletzt. Wie Abbildung 23 zeigt, ähnelt der zeitliche Verlauf der Verletzungszahlen dem der Gesamtzahlen. Es ist eine Häufung unmittelbar nach dem Krieg festzustellen. Neben Verletzungen durch konventionelle Munition sind auch Opfer durch chemische Munition und Phosphor zu beklagen.

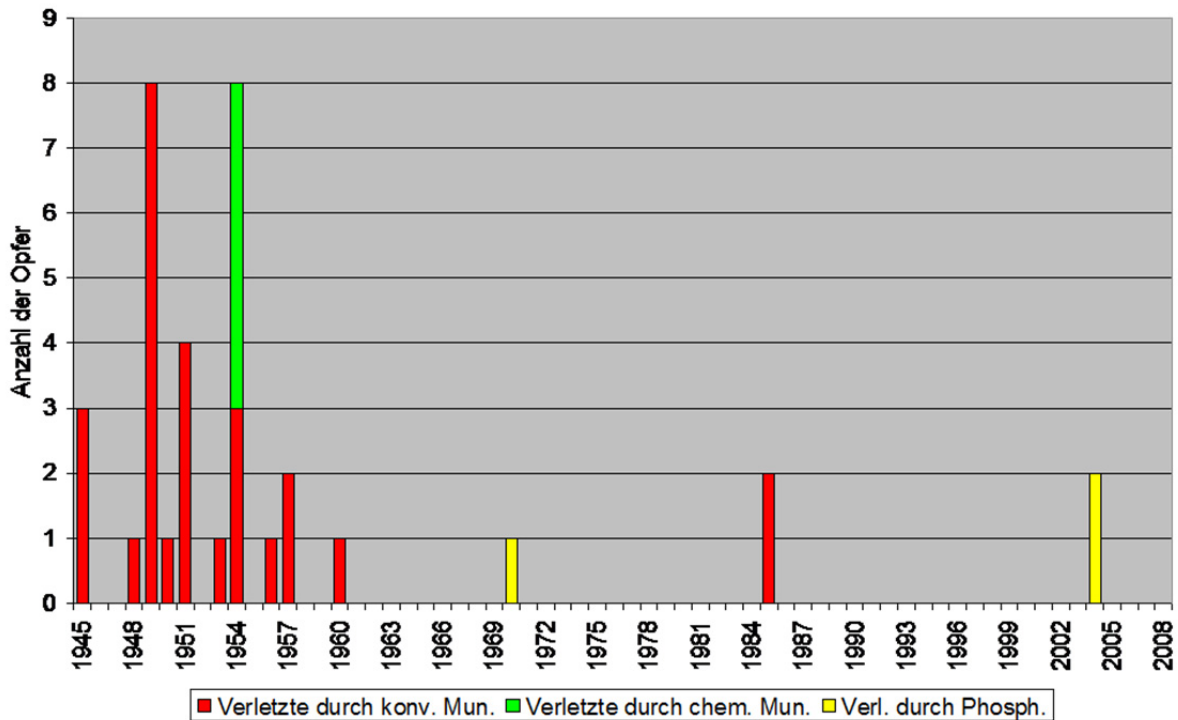


Abbildung 23: Zeitlicher Verlauf der Anzahl von Verletzten in der Nordsee (deutsche AWZ und Hoheitsgewässer) (nach Nehring 2008).

4.1.3.2.2 Konventionelle Munition

Auf Basis der vorhandenen Fallzahlen ist die Gefährdung durch Munition in der Nordsee vor allem auf konventionelle Munition zurückzuführen. Die Vorfälle konzentrieren sich jedoch auf den Zeitraum nach dem 2. Weltkrieg, wobei Seeminen aus Kriegsaktivitäten die Hauptursache waren. In den letzten 50 Jahren ereigneten sich nur wenige Vorfälle, so dass die aktuelle Gefährdung als gering eingestuft werden muss.

4.1.3.2.3 Chemische Munition

Vorfälle mit chemischer Munition ereigneten sich ausschließlich bei der Bergung von Munition im Jahr 1954. Auf Basis dieser Zahlen erscheint die bestehende Gefähr-

dung durch chemische Munition im Gebiet der deutschen AWZ und der Küstenmeere der Nordsee als äußerst gering.

4.1.3.2.4 Phosphor

Vorfälle mit Phosphor erfolgten, wie auch im in diesem Rahmen betrachteten Ostseebereich, ausschließlich bei Strandbesuchen. Allerdings ist die Zahl mit drei Vorfällen und drei Verletzten erheblich geringer, so dass die Gefährdung entsprechend gering ist. Auch ist an der Nordseeküste kein Gebiet mit einer entsprechend hohen Belastung durch Bombardierungen bekannt.

4.1.3.2.5 Zusammenstellung und Bewertung von Vorkommnissen und Unfällen in den übrigen Gewässern der Nordsee

Eine umfangreiche Dokumentation über Vorkommnisse und Unfälle in der Nordsee und dem Nordostatlantik hat die OSLO/PARIS-Kommission in 2009 veröffentlicht („Database on Encounters with Dumped Conventional and Chemical Munitions“; Biodiversity Series). Dieser Bericht, der als Anlage 10.4.2.1 beigefügt ist, enthält auch die nationalen Regelungen für die Meldewege sowie Verhaltensregelungen bei Munitionsfunden.

Insgesamt ist jedoch festzuhalten, dass aufgrund der z.T. unbefriedigenden Meldungen der Vertragsstaaten dieser Bericht nur einen groben Überblick über die Gesamtsituation gibt.

Ein erhebliches Gefahrenpotential - insbesondere für Fischer - ist weiterhin gegeben, wie ein Unfall im April 2004 vor der niederländischen Küste mit drei Toten gezeigt hat.

Die Ausführungen bedeuten nicht, dass eine Gefahr durch Munition in der deutschen Nordsee auszuschließen ist, schließlich ist versenkte Munition noch an vielen Orten vorhanden. Zumindest für größere Anhäufungen sind die Orte meist bekannt. Die meisten Vorfälle ereigneten sich bis 1960. Seitdem hat die Zahl der Vorfälle deutlich abgenommen. Die Restgefährdung wird in Kapitel 4.2 diskutiert.

4.2 Gefahrenpotential

Von Fundmunition gehen mindestens latente Gefahren aus, die in Eigenart und Ausprägung wiederum von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst werden. Für die Beurteilung einer Gefahrensituation müssen diese Faktoren ermittelt, bewertet und sowohl miteinander, als auch gegeneinander abgewogen werden. Abhängig von der Bedeutung lassen sich drei Gruppen von Gefahren bilden. Wegen ihrer unterschiedlichen Wirkungsrichtungen empfiehlt sich die Bewertung in der genannten Reihenfolge, denn bei Feststellung einer gegenwärtigen Gefahr, muss eine geeignete Maßnahme der Gefahrenabwehrbehörde erfolgen, die sich auf die Faktoren der Gefährdungsbeurteilung auswirken wird:

1. Gefahren der Explosions- und Brandwirkung des Kampfmittels auf Menschen, Tiere oder die Umwelt;
2. Gefahren aus dem unmittelbaren Kontakt zu Inhaltsstoffen von Kampfmitteln (Verätzung, Vergiftung), insbesondere für Menschen und Tiere;
3. Gefahren für das marine Ökosystem (inklusive einer möglichen Belastung der Nahrungskette und damit gegebenenfalls auch von Lebensmitteln).

Weiter ist zu beachten, dass enthaltene Brandbeschleuniger oder Kampfstoffe die von konventioneller Munition ausgehende Gefahr lediglich erweitern: Auch viele mit chemischen Kampfstoffen oder Brandbeschleunigern geladene Kampfmittel enthalten konventionelle Sprengstoffe, zum Beispiel als Ausstoßladung und im Zündsystem. Für eine sachverständige Bewertung ist es daher in aller Regel erforderlich, erfahrene Fachleute interdisziplinär zu beteiligen.

4.2.1 Konventionelle Munition

Kampfmittel sind so konstruiert, dass sie die erwünschte Waffenwirkung unter größtmöglicher Sicherheit der eigenen Seite erst gegenüber dem Gegner entfalten. Dieses Ziel wird insbesondere durch die Art der Ummantelung, die Aufbereitung der verwendeten Wirkmittel, deren Zusammenstellung sowie durch geeignete Sicherungssysteme erreicht. Im fabrikneuen Zustand ist Munition daher in Bezug auf eine „übliche“ Manipulation handhabungssicher.

Für die Beurteilung einer konkreten Situation sind das Alter, die Lagerungsumstände und der Ursprung der aufgefundenen Kampfmittel daher von großer Bedeutung. Physikalische Lagerbedingungen wie Druck, Temperatur und Strömung beeinflussen die im Kampfmittel enthaltenen Chemikalien. Chemische Wechselwirkungen innerhalb des Kampfmittels und mit Verbindungen aus dem Lagermedium können den ursprünglichen Zustand ebenfalls verändern. Eisenoxid, das sich an einem korrodierenden Behälter aus Stahl bildet, beschädigt unter Umständen Schutzlacke auf der Innenseite einer Granate. Solche Beschichtungen sind oft nötig, um einer chemischen Reaktion des im Geschossmantel enthaltenen Eisens mit Verbindungen aus der Wirkladung vorzubeugen. Diese Prozesse können bei einer Betrachtung des äußeren Mantels nicht objektiv bewertet werden. Erschwerend kommt hinzu, dass wegen der schwindenden Verfügbarkeit von Rohstoffen, insbesondere zum Ende des 2. Weltkriegs, von der ursprünglichen Rezeptur einiger Wirkladungen abgewichen wurde.

Solche schwierig abschätzbaren Veränderungen in der Munition können so weit gehen, dass geringste mechanische Einwirkungen eine Detonation auslösen können. Dies führt dazu, dass auch eine denkbare Entnahme einer Probe aus einer Wirkladung zur Beurteilung des gegenwärtigen Zustands tatsächlich sehr gefährlich ist. Daneben sind Gefahren aufgrund unklarer Zustände von Zündsystemen (zum Beispiel Langzeit- oder Säurezünder) oder selbstzündenden Inhaltsstoffen (Brandmittel auf der Basis von Phosphor) sowie viele weitere Faktoren bekannt.

Die chemischen Eigenschaften von sprengstofftypischen Verbindungen sind bereits unter 3.3 beschrieben worden. Mechanisch zerstörte oder korrodierende Geschossmäntel stellen eine Gefahr für Menschen und Tiere dar, die nun versehentlich oder fahrlässig mit giftigen oder ätzend wirkenden Chemikalien in Kontakt kommen können. Bei der Bewertung der Wechselwirkung freigesetzter Inhaltsstoffe von Kampfmitteln mit der belebten und der unbelebten Umwelt müssen die Mengen mit dem (theoretischen) Volumen des Lagermediums in Beziehung gesetzt werden. Die unmittelbare Wirkung auf Lebewesen ist daher nach dem heutigen Stand der Wissenschaft auf den unmittelbaren Bereich um das Kampfmittel herum begrenzt. Über weitere, konzentrationsabhängige Wirkungen innerhalb der Nahrungskette oder über den Einfluss hormonartig wirkender Verbindungen auf marine Lebewesen oder den

Menschen ist bisher wenig bekannt. Die vorhandenen Erkenntnisse legen nahe, dass hieraus, insbesondere im Vergleich zu anderen Stoffeinträgen in die Meere, keine entsprechenden Gefahren ausgehen werden.

4.2.2 Chemische Kampfstoffmunition

Die chemischen Kampfstoffe befanden sich zum Zeitpunkt der Versenkungen in Granaten, Bomben und Metallkanistern. Oftmals waren die Bomben noch einzeln in Holzkisten oder Weidenkörben verpackt. Solange diese Behälter intakt sind und am Meeresgrund verbleiben, geht keine Gefahr von ihnen aus. Erst wenn die Munition absichtlich (z. B. zwecks Untersuchung oder Verlagerung) oder unabsichtlich (durch Fischerei mit Grundschleppnetzen) gehoben wird, entsteht eine Gefahr: Durch unsachgemäße Handhabung kann die Munition explodieren und Kampfstoff freigesetzt werden. Diese Gefahr ist unabhängig vom Inhalt der Munition.

Zusätzlich zeigten die Hebungen der Jahre 1971/72, dass Munition unter einem Innendruck stehen kann - durch bei Füllung eingebrachten Gasballast oder durch Zersetzungsprodukte. Es ist deswegen grundsätzlich davon auszugehen, dass Munition einen Innendruck aufweist, der zum Aufplatzen der Munition beim Bergen führen kann. Verbleiben die Munitionskörper am Meeresgrund, so werden die Metallwände im Laufe der Zeit der Munition durch das Meerwasser korrodiert.

Erst nach Durchrosten der Hüllen kann Kampfstoff in die marine Umwelt gelangen. Die Gefahren, die davon ausgehen können, hängen von der Art und Menge des freigesetzten Kampfstoffs ab. Da insbesondere die Kampfstoffe Phosgen, Tabun, N-Lost, Lewisit und teilweise auch S-Lost durch Meerwasser abgebaut werden, ist von ihnen keine länger andauernde Gefährdung der marinen Umwelt zu erwarten. Untersuchungen im Bornholm-Becken haben gezeigt, dass im bodennahen Wasser nur noch Abbauprodukte der Kampfstoffe nachgewiesen werden konnten (Kap. 2.4.2.4.3). Nur die schwerlöslichen und schwer abbaubaren Stoffe Clark, Adamsit, sowie bestimmte Arsinöl-Komponenten und S-Lost können über einen längeren Zeitraum im Meer verbleiben und müssen daher speziell bewertet werden. Von den genannten Kampfstoffen muss sowohl S-Lost als auch insbesondere Zäh-Lost eine besondere Aufmerksamkeit zuteilwerden, da diese auch heutzutage noch als persistente Klumpen auftreten können.

Der derzeitige Zustand von Munition im Meer lässt sich nicht allgemeinverbindlich beschreiben. Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass sowohl intakte Munitionskörper als auch vollständig korrodierte Hüllen ohne Kampfstoffreste gefunden werden können. Nach Auskunft der dänischen Behörden wird bei Bornholm nur noch stark korrodierte Munition und Zäh-Lost in Klumpenform aufgefunden.

4.2.3 Faktoren einer Gefährdungsbeurteilung

Die wesentlichen Faktoren lassen sich folgenden Gruppen zuordnen:

✓ **Eigenschaften der Versenkungsstelle**

- Wassertiefe / Sauerstoffgehalt
- Salzgehalt (genauer: Gehalt an basischen Ionen)
- Strömung und Vertikalaustausch in der Wassersäule
- Nutzungsart und -intensität (Hafen, Verkehrsweg, Fischerei, Tourismus)
- Wassertiefe der Versenkungsstelle
- Bodenart am Meeresgrund

✓ **Eigenschaften des Sprengkörpers**

- Munitionsart
 - Bauart (Unterwasserwaffen wie Ankertauminen oder Torpedos, die Luftkammern von Torpedos sind mit Druckluft gefüllt, können auftrieben)
 - Größe des Sprengkörpers (absolute Masse gefährlicher Stoffe)
 - Wandstärke der Ummantelung (Granate, Bombe, Mine, Kanister, ...)
 - Material der Ummantelung → Korrosionsverhalten
 - Vorhandensein und ggf. Art der Zündeinrichtung(en)
 - Wirkladung (Spreng-, Brand-, Nebel-, Kampfstoffwaffe)
- Sprengstoffe
 - chemische Zusammensetzung
 - Sprengkraft
 - typische Alters- und Umwandlungsprozesse (Wasserdruck beachten!)
 - Abbauverhalten im (See-)Wasser

- Aktueller Zustand
 - des Mantels
 - des Sprengstoffs
 - ggf. der Zünder
- ✓ **Munitionsmenge**
 - Einzelne Körper
 - Ansammlungen an einem Ort
- ✓ **Art der Lagerung**
 - in einem Schiffswrack
 - in Transportbehältern
 - unverpackt in Haufen
 - unterverpackt und gemischt
- ✓ **Zusammenablagerung unterschiedlicher Munition**
 - Zünder
 - Brandmunition
 - Sprengmunition
 - Kampfstoffmunition
- ✓ **Ursprung der Munition**
 - Kriegsfolge, Übungsschießen
 - Munition wurde verschossen (Blindgänger)
 - Zündeinrichtungen sind entsichert
 - besonderes Risiko bei der Manipulation
 - Versenkung
 - Ungeordnet (auf Veranlassung der Besatzung)
 - Geordnet (unter Mitwirkung einer Aufsicht führenden Stelle)
 - a) unbehandelt – Zünder vorhanden, jedoch unscharf
 - b) unbehandelt – Zünder nicht montiert
 - c) behandelt – Zünder demontiert
 - d) getrennte Versenkung von Sprengkörper und Zünder

- Entsorgung von (besonders gefährlichen) Abfällen der Munitionszerlegebetriebe

In eine sachgerechte Gefährdungsbeurteilung müssen jeweils alle Faktoren einbezogen werden, da diese sich in der Ausprägung teilweise gegenseitig beeinflussen. Es macht zum Beispiel einen wesentlichen Unterschied, ob ein Torpedo oder eine Seemine mit ihrem durch Alterungsprozesse heute sensibleren Sprengstoff für sich allein am Meeresgrund liegt oder man befürchten muss, dass durch eine etwaige (Selbst-) Detonation weitere, an sich handhabungssichere Sprengkörper zur Explosion gebracht werden könnten (Gefahr einer Reihendetonation).

4.2.4 Beispiele für Tätigkeiten mit erhöhtem Risiko

4.2.4.1 Gefährdung bei Bauarbeiten

Von einer Gefährdung sollte, abhängig vom Ort der Arbeiten, insbesondere bei Bagger- oder Rammarbeiten, bei der Sedimententnahme, der Errichtung baulicher Anlagen am Meeresgrund sowie der Verlegung von Kabeln und Pipelines ausgegangen werden. Projektgebietsbezogen sollte daher stets eine konkrete Gefährdungsanalyse erfolgen.

4.2.4.1.1 Offshore-Anlagen

Ein besonderes Gefahrenpotential ergibt sich für seeseitige Bauvorhaben. So wurde mit Beginn der Sandgewinnung zur Aufspülung des JadeWeserPorts in Wilhelmshaven erstmalig auch für die in der Jade liegenden Sandgewinnungsflächen eine Kampfmittelbelastung sichtbar. Hierbei handelt es sich um außerhalb des nahe gelegenen Munitionsversenkungsgebiets versenkte Kampfmittel. Durch den Auftraggeber wurde in Zusammenarbeit mit dem niedersächsischen Kampfmittelbeseitigungsdienst ein umfassendes Arbeits-, Sicherheits- und Entmunitionierungskonzept abgesprochen und vor Ort umgesetzt. Im Rahmen der derzeit laufenden Planungen für Offshore-Windparks, Pipelineverlegungen und Hafenerweiterungen erfolgt nach Bau- und Planungsrecht eine laufende Beteiligung des zuständigen Kampfmittelbeseitigungsdienstes. Die jeweiligen Antragsteller erhalten entsprechende fachliche Einzelbeurteilungen und Ergebnisdarstellungen. Für die Vorranggebiete Windkraft und die damit verbundenen seeseitigen Kabeltrassen werden Entmunitionierungsempfehlungen für die einzelnen Trassenvarianten ausgesprochen. Viele Verfahren befinden

sich derzeit noch in der Planungsphase und sind daher für eine tatsächliche Gefährdungsabschätzung und seeseitige Entmunitionierung noch nicht in Auftrag gegeben worden.

4.2.4.1.2 Baggeraktivitäten

Bei Fahrrinnenanpassungen besteht in allen Gewässern Norddeutschlands die Gefahr der Aufnahme von Kampfmitteln durch das baggernde Fahrzeug. Ein Teil der Gebiete mit konkreter Gefährdung sind in den Seekarten eingetragen, dennoch sollte die Gefährdung in einem bestimmten Anpassungsbereich in Zusammenarbeit mit den Landesordnungsbehörden konkret ermittelt werden. Insbesondere bei Baggearbeiten zur Instandhaltung von Schifffahrtswegen sowie zur Gewinnung von Sanden ist von einer erheblichen mechanischen Belastung der Kampfmittel bei den Baggearbeiten auszugehen, die immer wieder zu Unfällen führen kann (vgl. Explosion am 10.10.2009 im Rahmen von Arbeiten des Schneidkopfsaugbaggers M-30 vor Wilhelmshaven). Allerdings ist das Risiko aufgrund der nahezu gleichbleibenden räumlichen Arbeitsbereiche (i.d.R. unveränderte Sollbreiten und –tiefen der Fahrrinnensohle) als vergleichsweise gering einzustufen.

4.2.4.1.3 Küstenschutz

Bei der Nutzung der gewonnenen Sande, beispielsweise zum Küstenschutz, besteht die Gefahr, dass Kampfmittel mit an Land gespült und damit zugänglich für Strandbesucher werden (vgl. Aufspülen von kampfmittelbelasteten Sanden bei Rerik, Kühlungsborn oder Poel).

4.2.4.2 Fischerei

Berufsbedingt traten Küstenfischer in der Vergangenheit recht häufig mit Fundmunition in Kontakt. Im Rahmen eines Projektes in den 1990er Jahren erhielten die vertraglich daran beteiligten Fischer eine munitionstechnische Unterweisung durch den niedersächsischen Kampfmittelbeseitigungsdienst. Die aufgefischte Munition sollte nicht zurück ins Meer geworfen, sondern bis zur Übergabe an den Kampfmittelbeseitigungsdienst im Heimathafen in einem speziell dafür konzipierten Transportbehälter verwahrt werden.

Dieses Gefahrenpotential ist heute nachrangig, da Munition als Beifang nur noch selten vorkommt. Entsprechende Entsorgungsverträge wurden seitens der Fischer nicht

mehr abgeschlossen. Die Lagerungsmöglichkeiten für Akutfunde stehen den Fischern aber weiter zur Verfügung, um ein erneutes Versenken von Fundmunition zu vermeiden. Die Einhaltung eines entsprechenden Meldewegs bei Munitionsfunden ist vorgeschrieben.

Obwohl munitionsbelastete Flächen bzw. Versenkungsgebiete in den Seekarten als unrein markiert sind, wird erfahrungsgemäß in diesen Gebieten trotz Warnungen gefischt. Beim Fischen mit Grundschleppnetzen besteht die Gefahr, dass Kampfmittel oder loser chemischer Kampfstoff (aufgrund der Eigenschaften (s. Kap. 4) kann es sich nur um S-Lost- bzw. Zähl-Lost-Klumpen handeln) in die Netze gerät. Beim Einholen der Netze und bei Nachfolgehandlungen besteht dann die Gefahr, dass Fischer getötet oder verletzt werden. Besonders groß ist die Gefahr, wenn noch explosionsfähige oder unter Druck stehende Munition an Bord geholt wird. Weiterhin könnte prinzipiell der Fang durch den Kampfstoff kontaminiert werden.

Die Meldungen von Fundmunition in Fischernetzen sind in den letzten 20 Jahren allerdings deutlich zurückgegangen. Als Ursachen werden genannt:

- weniger küstennahe Fischerei, vor allem wegen des Rückgangs der Fischpopulationen, der zu einer Verringerung der Vollerwerbsfischereibetriebe geführt hat,
- Änderung der Fanggeschirre, so dass die Grundnetze heute objektiv weniger schwere Gegenstände im Beifang haben,
- statistische Effekte durch den Wegfall der bis in die 1990iger Jahre gezahlten Entschädigung für den Zeitaufwand einer sachgerechten Munitionsbeseitigung.

Gleichwohl sollten sich Fischereitreibende weiter als Risikogruppe sehen. Zum einen stellen Anhaftungen von Kampfstoffen an Fanggeschirren weiter eine erhebliche Gefahr dar. Zum anderen könnte der bislang „eher unaufgeregte“ Umgang mit Fundmunition im Fischernetz zukünftig zu Personenschäden führen, denn Alterungsprozesse verändern das gewohnte Verhalten von Sprengkörpern, die aus dem Meer geborgen werden. In der Aufklärung der Küstenfischereitreibenden wird ein notwendiger Schwerpunkt der Präventionsarbeit gesehen.

Das Bornholm-Becken stellt das im Ostseebereich mit den größten Munitionsmengen und wohl auch mit dem breitesten Spektrum verschiedener Kampfstoffarten belastete Gebiet dar. Trotz Kennzeichnung des Versenkungsgebiets in den Seekarten und entsprechendem Hinweis auf die Gefahren in den Nachrichten für Seefahrer wird dort intensive Grundsleppnetzfisherei betrieben. Aktuell wird der Bereich um Bornholm regelmäßig von deutschen Fischern befischt (Dorsch, Flunder), auch unter Einsatz von Grundsleppnetzen. Seit Kriegsende wurden immer wieder Bomben, Granaten oder Teile derselben und auch (Zäh-)Lost-Klumpen von Fischern in ihren Grundsleppnetzen gefunden. Dabei kam es auch zu Verletzungen unter den Besatzungsmitgliedern der Fischereifahrzeuge. Todesfälle gab es nach derzeitigem Kenntnisstand nicht.

Durch Kampfstoffe kontaminierte Fänge müssen in Dänemark vernichtet werden. Da Dänemark seinen Fischern bei Kampfstofffunden Entschädigung für die Vernichtung kontaminierter Fänge zahlt, gibt es inzwischen zuverlässigeres statistisches Material über Kampfstoff-Funde. Seit 1976 wurden in Dänemark 439 Meldungen von Fischern über derartige Funde registriert. (Bezieht man diese Zahl auf die Anzahl der Fischer, die in diesen 16 Jahren an etwa 150 Tagen pro Jahr in dem Gebiet gefischt haben, so errechnet sich die Fundquote auf etwa 0,02 % - bezogen auf Fischer und Fangtag.) Die Zahlen der jährlichen Funde lagen bis 1990 zwischen 5 und 48; im Jahr 1991 sind 101 Meldungen eingegangen. Die Gründe für diese Zunahme im Jahr 1991 sind nicht eindeutig geklärt; wahrscheinlich sind mehrere Ursachen zu berücksichtigen. (Gesteigertes Problembewusstsein der dänischen Fischer, solche Funde an Land zu transportieren; größere Fischereiaktivitäten der Dänen aufgrund kleiner werdender Fischbestände; örtliche Verlagerung von Fischbeständen; Verlagerung von Fangaktivitäten dänischer Fischer vom Atlantik in die Ostsee, die mit schwerem Grundnetzgerät bei Bornholm fischen; Verschleppung der Munition durch Fischer in nicht markierte Gebiete).

Für deutsche Fischer gibt es keine generelle Meldepflicht für Kampfstofffunde, außer in dem Fall einer damit verbundenen Gefahr für den Schiffsverkehr (§ 37 Abs. 2 SeeSchStrO). Daher liegt über Funde deutscher Fischer nur unvollständiges Zahlenmaterial vor. Lediglich Vorkommnisse, die zu Verletzungen der Schiffsmannschaften führten, sind bekannt. Bisher handelt es sich um 13 Fälle, keiner davon mit To-

desfolge. Die 13 Fälle ereigneten sich alle im Gebiet östlich Bornholms, das in den Seekarten als "Unrein (Munition) (Gasmunition)" und "Ankern und Fischen gefährlich" ausgezeichnet ist, oder in dessen unmittelbarer Nähe. Eine Aufstellung dieser Vorfälle ist in Anlage 10.4.1.5 zusammengefasst.

4.2.4.3 Tauchsport

Auf Taucherinnen und Taucher geht aktuell die größte Zahl von Fundmunitionsmeldungen unter Wasser zurück. Dies hat sowohl mit der Zunahme des Freizeittauchsports an sich, als auch mit einer veränderten gesellschaftlichen Einstellung zu tun. Das vielfach zu beobachtende Engagement der Taucherinnen und Taucher reicht über die einfache Meldung hinaus. Die weiteren Maßnahmen der Behörde werden oft begleitet oder doch wenigstens bis zum Abschluss nachgefragt.

Die objektive Gefährdung tauchender Menschen ist eher latent, denn anders als Fischer oder Bauarbeiter sehen Taucher zunächst ganz überwiegend, was sie dann später unter Umständen in die Hand nehmen. Die Munitionsbelastung der Tauchgewässer ist ein relevanter Punkt beim Briefing für ein bestimmtes Tauchgebiet.

Unverantwortlich handeln diejenigen, die munitionsbelastete Gebiete bzw. Munitionsversenkungsgebiete ganz bewusst als Tauchziel auswählen. Ein Taucher unter Wasser wird im Falle einer Explosion auch noch in erheblicher Entfernung zum Explosionsort verletzt und läuft Gefahr, aufgrund der Notfallsituation unter Wasser auch dann zu sterben, wenn Verletzungen wie Lungen- oder Trommelrisse an sich eher als „leichte Verletzungen“ einzustufen sind.

Kampfmittel im Flachwasserbereich stellen aufgrund ihrer Zugänglichkeit für Badegäste und Schnorchler sowie, insbesondere durch die steigende Popularität der Sport- und Freizeittaucherei, zunehmend auch für Taucher eine ständige Gefahr dar.

4.2.4.4 Gefahren eines Strandbesuchs

Im Spülsaum am Meer und auch in aufgespültem Sediment am Strand finden sich örtlich immer mal wieder Kampfmittel oder Kampfmittelteile. Solche Funde wiederholen sich und werden den örtlichen Stellen eigentlich immer bekannt. Gezielte Maßnahmen werden hier den Beauftragten zur Reinigung der Badestrände (Kurverwaltung) empfohlen, denn die hier eingeteilten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter finden

solche Objekte öfter als alle anderen Strandbesucher und sollten daher im professionellen Umgang mit dieser Situation geschult sein.

Aus Sicht der Landesbehörden sollten die örtlichen Stellen auch eine aktivere Aufklärung der Touristen betreiben, auch wenn dies den einen oder anderen Gast zunächst erschrecken mag. Durch das heute zu beobachtende Vorgehen bereiten Behörden erst die Grundlage für eine objektiv meist gar nicht angemessene Berichterstattung nach einem extrem seltenen Ereignis, das dann natürlich als Sensation verwertet wird.

4.2.4.5 Gefährdung des Verbrauchers

Wenn ein Klumpen (Zäh-)Lost in ein Schleppnetz gerät, wird die Substanz beim Schleppen, beim Einholen und beim Entleeren des Netzes möglicherweise auf einen Teil der Fische aufgepresst und gleitet nicht mehr an der schützenden Schleimschicht des Fischkörpers ab. Solche Fänge sind lebensmittelrechtlich nicht verkehrsfähig und müssen vernichtet werden. Wenn die Kontamination von Netz und Fang von der Mannschaft bemerkt wird, wird beides wieder über Bord gegeben oder an Land vernichtet. Dann ist nicht zu erwarten, dass derart kontaminierter Fisch bis zum Verbraucher gelangen kann. Dieses Vorgehen dient auch der persönlichen Sicherheit der Fischer. Generell müssen Fischer das Netz nach dem Entleeren wieder klariieren und neu aussetzen, kommen mit ihm also intensiv in Berührung. Die Fische werden einzeln sortiert und geschlachtet. Werden die Verunreinigungen nicht rechtzeitig bemerkt, so kommt es zu den in der Praxis beobachteten Verletzungen, da der Kampfstoff die Kleidung durchdringt. Auf dem Weg zum Verbraucher werden die Fische mehrfach daraufhin kontrolliert, ob sie keine Mängel aufweisen, die sie für einen Verkauf ungeeignet machen: Beim Schlachten und Verpacken des Fisches in Kisten durch die Fischer, beim Verkauf nach der Anlandung durch den Fischhändler, bei der Anlandung stichprobenweise durch die Lebensmittelüberwachung und durch den Außenbeamten des Fischereiamts, beim Kauf an den Endverbraucher noch einmal durch den Fischeinzelhändler.

Selbst wenn trotz dieser Kontrollen der Fall eintreten sollte, dass kontaminierter Fisch bis zum Verbraucher gelangt, sind negative gesundheitliche Folgen des Verzehrs von kontaminiertem Fisch unwahrscheinlich. Untersuchungen, bei denen mit S-Lost vergifteter Fisch an Versuchstiere verfüttert wurde, zeigten nämlich, dass der

Verzehr roher, gekochter oder gebratener mariner Produkte keine akute Gefahr für Säuger - also auch den Menschen - darstellt.

Bei spezifischen Untersuchungen von Fischen sind Rückstände von Kampfstoffen bisher noch nie festgestellt worden. Gegebenenfalls ursprünglich aus Kampfstoffen stammendes, vorher zu anorganischen Spezies abgebaut, und nun in Fisch größtenteils in ungiftigen Spezies wie Arsenobetain vorkommendes Arsen, so dass es unter akut-toxikologischen Gesichtspunkten irrelevant ist. Aufgrund des derzeit unzureichenden Kenntnisstands sind jedoch zusätzliche Untersuchungen zur Bioakkumulation und Langzeittoxikologie arsenhaltiger Kampfstoffe und ihrer Abbauprodukte notwendig.

Im Bereich munitionsbelasteter Flächen bzw. in Munitionsversenkungsgebieten besteht die Gefahr, dass beim Fischen mit Grundschleppnetzen Kampfstoffmunition oder (Zäh-)Lost mit den Netzen an Bord gelangt und es dadurch zur Kontamination durch Kampfstoff kommt. Die bisher bekannt gewordenen Kontaminationen erfolgten ausschließlich durch Zäh-Lost. Eine Gefährdung des Verbrauchers durch kontaminierten Fisch ist unwahrscheinlich und konnte bisher nicht belegt werden.

4.2.4.6 Gefährdung von Lebensräumen

4.2.4.6.1 Gefährdung des Nordsee- und Ostseewassers, der Meeresflora und -fauna

Abhängig von der sehr lokalen Lagesituation eines Munitionskörpers werden als Folge der über Jahrzehnte erfolgenden Korrosion ab einem bestimmten Zeitpunkt Inhaltsstoffe freigesetzt und gelangen ins Meerwasser. Je nach Lösungsgeschwindigkeit, Löslichkeit, Abbaugeschwindigkeit und Strömungsverhältnissen kann es zu unterschiedlichen Konzentrationen der freigesetzten Inhaltsstoffe im Meerwasser kommen. Theoretisch ist es möglich, dass nach Austreten von Inhaltsstoffen aus den Behältnissen für kurze Zeit lokal so hohe Konzentrationen auftreten, dass es zu Schädigungen von Organismen in unmittelbarer Umgebung der Munition kommen kann.

In Nord- und Ostsee haben bisherige Untersuchungen keine Kampfstoffe oder sprengstofftypische Verbindungen sowie entsprechende Abbauprodukte im Rahmen der durchgeführten Messungen im Wasserkörper nachweisen können. Demnach ist

eine großräumige Gefährdung der im Wasserkörper lebenden Fauna und Flora in Nord- und Ostsee derzeit als äußerst unwahrscheinlich einzustufen.

Wie Untersuchungen gezeigt haben, können in den Oberflächensedimenten sowie im Porenwasser des Meeresbodens jedoch Munitionsinhaltsstoffe und deren Abbauprodukte in messbaren und möglicherweise schädigenden Konzentrationen auftreten (siehe hierzu Kap.. 3.3.1.3.1 und 2.4.2.4.3).

Vergiftungen von Fischen durch chemische Kampfstoffe wurden in deutschen Küstengewässern sowohl der Nord- als auch der Ostsee bisher noch nie beobachtet oder nachgewiesen. Auch konnte dies als Ursache bei allen bisher aufgetretenen epidemischen Fischerkrankungen, wie die öfters aufgetretene Aalerkrankung, ausgeschlossen werden.

Aufgrund der vorliegenden Erkenntnisse und Untersuchungen kann eine großräumige Gefährdung der marinen Umwelt durch im Meerwasser gelöste Kampfstoffe ausgeschlossen werden (siehe hierzu Untersuchungen im Bornholm-Becken, Kap. 2.4.2.4.3). Es ist allerdings möglich, dass insbesondere schwerlösliche Munitionsinhaltsstoffe wie Clark, Adamsit oder (Zäh-)Lost in Sediment und Porenwasser in erhöhten Konzentrationen in unmittelbarer Nähe der versenkten Munition auftreten können. Aufgrund des sehr begrenzten Umfangs besteht jedoch nach jetziger Kenntnislage keine Gefährdung der marinen Fauna und Flora. Durch Kampfstoffe verursachte, nachteilige Auswirkungen auf die marine Umwelt sind bisher nicht bekannt geworden.

4.2.4.6.2 Gefährdung der Küsten

Die Möglichkeit des Aufschwimmens besteht nicht für die hier betrachteten Kampfstoffe und Munitionskörper (mit Ausnahme Tabuns sowie unbeschädigter Ankertauminen), da sie eine höhere Dichte als Meerwasser aufweisen. Die bodennahen Strömungen in den Versenkungsgebieten sind in der Regel zu gering, um schwere, größtenteils von Schlick bedeckte Munition großräumig zu verdriften oder gar in höhere Wasserschichten aufzutreiben. Gleiches gilt für auf dem Meeresgrund liegende Zäh-Lost-Klumpen. Die Möglichkeit, dass Munition oder Zäh-Lost-Klumpen an die Strände getrieben werden, ist entsprechend äußerst unwahrscheinlich.

Es gibt in der jüngeren Vergangenheit keinen belegten Fall des Auffindens von chemischem Kampfstoff an deutschen Nord- oder Ostseestränden (Wirkmittel konventioneller Kampfmittel wie weißer Phosphor sind keine chemischen Kampfstoffe). Die Gerüchte über Lost-Funde an Stränden hielten gründlichen Recherchen, bei denen 61 Zeugen befragt wurden, nicht stand. Nur zwei Funde von chemischer Munition sind belegt: Im Jahr 1954 wurde am Selliner Strand auf Rügen eine Kampfstoffbombe gefunden. Es ist auszuschließen, dass diese Bombe aus dem ca. 100 m tief gelegenen Grund des Bornholm-Beckens bis nach Rügen durch Wasserströmungen transportiert wurde. Wahrscheinlich wurde diese Bombe während eines Munitionstransportes von Wolgast aus schon während der Fahrt in der Nähe Rügens über Bord geworfen. Wenn die Bombe, wie es teilweise üblich war, in einer Holzkiste verpackt gewesen war, kann sie längere Zeit im Wasser getrieben und anschließend an Land gespült worden sein. Am 18. Februar 1992 wurde am Strand von Dueodde auf der Insel Bornholm eine 250 kg schwere Bombe mit Lost gefunden. Auf Grund des Zustands dieser Bombe vermuten dänische Fachleute, dass sie weder längere Zeit im Seewasser gelegen hat, noch dass sie angespült wurde. Ebenso wird ausgeschlossen, dass die Bombe lange Zeit am Strand lag und jetzt lediglich freigespült wurde. Bei den aus Polen berichteten fünf Funden von Bomben an der polnischen Küste in den Jahren 1952 bis 1954 ist nicht bekannt, ob es sich hierbei um konventionelle Munition oder um Kampfstoffmunition handelte. Auch die Herkunft - Blindgänger von Luftangriffen oder Folge von Munitionsversenkungsaktionen - ist nicht geklärt.

Hinsichtlich der möglichen Verdriftung von versenkten Kampfmitteln liegt derzeit keine abschließende Bewertung vor. Es ist nicht nachgewiesen, ob diese tatsächlich möglich ist, unter welchen Randbedingungen dies ggf. stattfindet und ob derartige Funde am Strand bzw. in Ufernähe auf anderweitige Ursachen zurückzuführen sind. Nachgewiesen ist zweifelsfrei, dass schwimmfähige Munitionsbestandteile wie Phosphor oder auch gekappte bzw. losgerissene Ankertauminen Verdriftungsprozessen ausgesetzt sind. Zur Frage, ob und in welchem Ausmaß Kampfmittel oder solche Bestandteile, die definitiv nicht schwimmfähig sind, durch bodennahe Strömungs- bzw. Wellenenergie nennenswert verlagert werden können, liegen keine einheitlichen Angaben vor. Ausgehend von dem Umstand, dass zunächst kleinere und leichtere

Partikel erodiert bzw. weggeschwemmt (alluvial verlagert) werden bevor große und schwere Teile in Bewegung geraten, herrscht in der Arbeitsgruppe die Fachmeinung vor, dass gegebenenfalls kleinräumige Verlagerungen durch Kolkbildung, Freilegung und ähnliche lokale Prozesse denkbar sind, demgegenüber jedoch weiträumige Verdriftungen nicht plausibel begründet werden können. Es müsste untersucht werden, bis zu welchem Gewicht-Volumen-Verhältnis eine solche Verlagerung theoretisch möglich ist.

4.2.4.7 Seefahrt

In den innerhalb des Fahrwassers unterhaltenen Fahrrinnen sind aufgrund der vorliegenden Erkenntnisse sowie der kontinuierlichen Unterhaltungsarbeiten Gefährdungen für die Schifffahrt und die Fischerei als sehr geringfügig anzusehen. Auf Grund der vorliegenden Erfahrungen wird auch auf den Reeden die Gefährdung als sehr gering bewertet.

Allein Ankertauminen stellen noch eine objektive Gefahr dar, wenn auch mit einer sehr niedrigen Eintrittswahrscheinlichkeit.

Zu beachten sind allerdings die vielen, in den Seekarten ausgewiesenen, munitionsbelasteten Gebiete bzw. Munitionsversenkungsgebiete bei der Herbeiführung einer Entscheidung für ein Notankermanöver im Falle einer Havarie. Die Detonation eines gealterten maritimen Großsprengkörpers in Folge eines Ankertreffers beim Versuch der Notankerung ist kein unwahrscheinliches Szenario. Auch die Folgen im Rahmen eines solchen Vorfalls schlagartig in das Meerwasser freigesetzter Kampfstoffe aus etwaiger, dort versenkter, chemischer Munition sollten bedacht werden. Insbesondere die Verkehrszentralen, Seelotsen und Seenotleitstellen sollten diesen Umstand in ihre Verfahren für ereignisbezogene Empfehlungen an die Schiffsführungen von Havaristen einbeziehen.

4.3 Informationen für Risikogruppen

Wie im vorhergehenden Kapitel 4.2 dargelegt, ist eine Gefährdung durch Munition und Munitionsbestandteile insbesondere von in Tätigkeiten mit direktem oder indirektem Grundkontakt involvierten Personen gegeben. Beim Auffischen ist die Munition beispielsweise oftmals mit Gewalt über den Meeresboden gezogen worden, so dass Veränderungen des Zustandes der Munition und des Zündstoffs aufgetreten sein können. Um damit verbundene Risiken zu minimieren, ist die Unterstützung durch Fachkundige von besonderer Bedeutung. Jede unkundige Handhabung der aufgefischten Munition kann fatale Konsequenzen haben. Auch die scheinbar simple Lösung des Überbordwerfens von aufgefischter Munition bringt zusätzliche, für den Laien nicht offensichtliche Risiken mit sich.

Aus der Nord- und Ostsee stammende Munition kann die verschiedensten Formen aufweisen. Zur Unterstützung bei der Erkennung von Munition und zur Vereinfachung der Meldung (Kap. 7), sowie zur Aufklärung über die bestehenden Gefahren sind in einem Merkblatt die am häufigsten vorkommenden Formen dargestellt. Die Unterlagen sind als Anlage 10.3 beigelegt. Sie sind öffentlich verfügbar zu machen. Merkblätter für die in Kapitel 4.2.4 als gefährdet eingestuften Personengruppen sind, soweit noch nicht vorhanden, zu entwickeln und verfügbar zu machen.

5 Überwachung der Umweltauswirkungen

Unter Überwachung bzw. Monitoring (*engl.*) ist eine systematische und regelmäßige, jedoch nicht zwingend kontinuierliche, Untersuchung und Bewertung eines Untersuchungsobjekts hinsichtlich vorab bestimmter Parameter und zugehöriger Grenzwerte bzw. Bewertungskriterien zu verstehen. In den deutschen Meeresgewässern findet, wie auch in denen anderer Ostsee- und Nordseeanrainerstaaten, bisher keine regelmäßige Überwachung der Meeresumwelt hinsichtlich sprengstofftypischer Verbindungen (STV) statt. Eine rechtliche Verpflichtung zur Untersuchung dieser Substanzen im Gewässer besteht bislang nicht. Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über das bestehende chemische Meeresmonitoring in Deutschland gegeben, sowie die Problematik eines möglichen zukünftigen STV-Monitorings aufgezeigt werden.

5.1 Chemisches Monitoring der Meere in Deutschland

Die Grundlagen für das heutzutage in Deutschland durchgeführte, chemische Meeresmonitoring waren zunächst die Anforderungen der Helsinki-Konvention zum Schutz der Ostsee (HELCOM) und die Oslo- und Paris-Konvention zum Schutz der Nordsee (OSPAR) sowie im Bereich der Küstengewässer in den letzten Jahren schwerpunktmäßig die Anforderungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Die Überwachungsmaßnahmen werden gemeinsam von Bund und Ländern durchgeführt und in den so genannten Bund/Länder-Messprogrammen für die Nord- und Ostsee koordiniert und abgestimmt.

Dieses Messnetz wurde jedoch nicht für den Zweck einer routinemäßigen Überwachung des möglichen Auftretens von sprengstofftypischen Verbindungen in munitionsbelasteten Gebieten eingerichtet und ist dafür bisher auch nicht geeignet. Insbesondere gibt es keine Messstellen innerhalb dieser Gebiete, sondern allenfalls nur in deren Umgebung. Weiterhin werden derzeit nur die in den o.g. Regelwerken aufgeführten Analysenparameter ermittelt. Hierbei haben nur die aufgrund der bestehenden Untersuchungsanforderungen betrachteten Schwermetalle, die aus Zündern (Blei und Quecksilber aus Initialsprengstoffen) und Ummantelungen (Messingbestandteile Kupfer und Zink) stammen können, eventuell mit der im Meer befindlichen Munition zu tun. Während das ebenfalls untersuchte Schwermetall Arsen zwar prinzipiell aus arsenhaltigen chemischen Kampfstoffen (z.B. Adamsit) stammen kann,

muss jedoch betont werden, dass in deutschen Meeresgewässern nach derzeitigem Kenntnisstand keine Versenkungsstellen entsprechender Kampfstoffe existieren. Es findet keine Untersuchung auf organische STV wie beispielsweise TNT statt, da diese weder zu den so genannten „prioritären Stoffen“, noch zu den synthetischen Schadstoffen gemäß WRRL gehören.

5.2 Problematik des STV-Monitorings im marinen Milieu

Als generelle Voraussetzung für mögliche Überwachungsmaßnahmen ist zu klären, welche Stoffe an welchen Orten mit welchen Methoden überwacht werden sollen. Um konkrete Empfehlungen für ein Monitoring aussprechen zu können, muss sichergestellt sein, dass basierend auf den Ergebnissen derartiger Untersuchungen auch aussagekräftige Schlussfolgerungen gezogen werden können. So muss geklärt sein, dass eventuell positive Ergebnisse einerseits auch ursächlich eindeutig (lokal) vorhandener Munition zugeordnet werden können, andererseits auch belastbare ökotoxikologische Daten zu den untersuchten STV zur anschließenden Bewertung der Situation existieren.

Der ausschließliche Fokus sollte auf STV, also den Hauptinhaltsstoffen konventioneller Munition liegen. In deutschen Küstengewässern sind nach bisheriger Kenntnislage chemische Kampfstoffe nur in vergleichsweise geringer Menge und an zwei Stellen versenkt worden (s. Kap. 1.1). Hinzu kommt, dass der ggf. begleitend in chemischen Kampfstoffen vorkommende, ökotoxikologisch relevante Inhaltsstoff Chlorbenzol als Industriechemikalie ubiquitär verwendet wird. Folglich könnte, selbst wenn dieser Stoff in der Meeresumwelt nachgewiesen werden sollte, kaum ein kausaler Zusammenhang mit versenkter Munition hergestellt werden. Als relevante Inhaltsstoffe der konventionellen Munition sollten die Schwermetalle Blei und Quecksilber (Bestandteile der Zünder oder Zündladungen in Form von Bleiazid oder Quecksilberfulminat) sowie die eigentlichen Sprengstoffe, darunter Trinitrotoluol „TNT“, Hexogen, Nitropenta und Pikrinsäure, sowie deren relevante Abbauprodukte berücksichtigt werden. Die genaue Parameterauswahl sollte nach toxikologischen Kriterien erfolgen.

Nach derzeitiger Fachmeinung kann grundsätzlich ein allmählicher Austritt von Wirkmitteln aus korrodierenden Munitionskörpern in das umgebende Wasser und

Sediment stattfinden. Im Anschluss kann es zu einer Zersetzung dieser Stoffe, ggf. einschließlich einer vorhergehenden oder anschließenden Verdünnung der Ausgangsstoffe oder Folgeprodukte in der Wassersäule, kommen. Dies macht nicht nur die Entscheidung über zu verwendende Analysemethoden schwierig, sondern erfordert auch die sinnvolle und effektive Auswahl von Messstellen und der zu untersuchenden Medien. Der Fokus sollte auf einer Auswahl von bisher nicht geräumten und hinsichtlich Art, Lage und Menge der Munitionskörper hinreichend bekannten munitionsbelasteten Flächen liegen. Gerade in der Ostsee sind die Kampfmittel inzwischen nicht selten durch Sedimente bedeckt, zum Teil bis zu einem Meter hoch. Während zwar der Nachweis von STV durch die in solchen Schichten möglicherweise stark verlangsamten Lösungs- und Abbauprozesse begünstigt sein kann, sollten diese Gebiete aufgrund der erschwerten gezielten Probennahme und folglich eingeschränkter Zugänglichkeit von weiteren Untersuchungen ausgenommen werden. Der Zustand der versenkten Munition und dessen Auswirkung auf evtl. Folgemaßnahmen ist zu beachten. So sind bei sehr gut erhaltener Munition ggf. noch keine Inhaltsstoffe freigesetzt worden, bei sehr stark korrodierter Munition eventuell bereits alle STV entwichen, in der Umgebung verteilt und ggf. abgebaut worden. Diese Rahmenbedingungen können die Ergebnisinterpretation erschweren und wären daher bei Planung weiterer Maßnahmen wie einer regelmäßigen Überwachung (Monitoring) einzubeziehen.

Hinsichtlich der Fragestellung nach geeigneten Messverfahren hat sich gezeigt, dass die Ergebnisse bisher durchgeführter Einzeluntersuchungen nicht immer akzeptiert werden. Beispielsweise wurden die in Schleswig-Holstein durchgeführten Analysen (Kapitel 3.3.1.3) von verschiedenen Naturschutzverbänden in Frage gestellt und insbesondere die nach ihrer Auffassung zu hohen Nachweisgrenzen kritisiert. Aufgrund der fehlenden rechtlichen Vorgaben und des somit nicht routinemäßig durchgeführten STV-Monitorings in Deutschland existieren nur wenige akkreditierte Labors, die Untersuchungen auf STV überhaupt in angemessener Qualität sicherstellen können. Generell sollten die Betrachtungen mit den Anforderungen und Zielen der WRRL (inkl. Tochterrichtlinie Umweltqualitätsnormen) und der EG-Meeresstrategie-Rahmen-Richtlinie vereinbar sein, auch wenn diese Richtlinien nicht explizit auf STV verweisen.

Eine ökotoxikologische Einordnung der mit den Methoden der Wahl eventuell festgestellten Kontaminationen ist durch die bisher fehlenden Schwellenwerte für STV im marinen Milieu schwierig. So sind beispielsweise im terrestrischen Bereich humantoxikologisch abgeleitete Werte nicht auf die Meeresumwelt übertragbar (bspw. Richtwert 20 mg TNT je Kilogramm Boden auf Kinderspielplätzen). Nicht nur verhalten sich STV in der Meeresumwelt anders als im terrestrischen Milieu (z. B. Verteilung, Zersetzung), sondern zeigen Meeresorganismen auch oft andere Empfindlichkeiten gegenüber Schadstoffen als Menschen. Es sollten daher zunächst weitere Auswertungen und Bewertungen bestehender Untersuchungen sowie sonstiger Fachliteratur durchgeführt und diese durch bisher für die deutschen Gewässer nicht vorliegende Daten zur Bioakkumulation von STV in Biota (Biota = alle Lebewesen der Umwelt) ergänzt werden. Erste Ergebnisse einer durch das LLUR des Landes Schleswig-Holstein in Auftrag gegebenen Methodenentwicklung zum Nachweis von STV in Biota (Miesmuscheln) liegen zwar vor (Kap. 3.3.1.3), müssen jedoch noch durch weitere Untersuchungen abgesichert werden.

Auch wenn die Ergebnisse bisheriger Untersuchungen, insbesondere die der Wasseranalytik, nur Momentaufnahmen einzelner Entnahmeorte zum Zeitpunkt der Probenahme sind, bestätigen sie doch im Wesentlichen die bereits Anfang der 1990er Jahre durch das BSH in niedersächsischen Küstengewässern sowie in der Ostsee (südlicher Ausgang des Kleinen Belts) durchgeführten Untersuchungen und die daraus gezogenen Schlussfolgerungen: Es konnten bisher keine als relevant anzusehenden Schadstofffreisetzungen (Sprengstoffe und deren Abbauprodukte) in die Meeresumwelt festgestellt werden. Zurückzuführen ist dies nach derzeitigem Kenntnisstand darauf, dass die betreffenden Sprengstoffe entweder schlecht wasserlöslich und allenfalls lokal und im Einzelfall messbar sind, oder sich andernfalls aber schnell in der Wassersäule verteilen bzw. zersetzt werden und aus diesem Grund nicht mehr nachweisbar sind (vgl. 2.4.2.4.3). Folglich ist nach bisherigem Kenntnisstand und fachlicher Einschätzung auch keine nachweisbare Umweltgefährdung durch die in den deutschen Küstengewässern versenkten Kampfmitteln festzustellen. Diese Einschätzung wird im Allgemeinen auch auf nationaler (z. B. SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen) und internationaler (HELCOM, OSPAR) Ebene geteilt. Jedoch wird immer wieder darauf hingewiesen, dass die Daten zur tatsächlichen Freisetzung von sprengstofftypischen Verbindungen (STV) und den damit verbundenen Auswir-

kungen auf die Meeresumwelt sehr lückenhaft sind und daher weitere Untersuchungen als sinnvoll angesehen werden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass es bisher kein regelmäßiges Monitoring von sprengstofftypischen Verbindungen in den Küstengewässern der Nord- und Ostsee gibt, und dass die Entscheidung über die Initiierung eines solchen Monitorings von den Ergebnissen der derzeit noch laufenden o. g. Projekte sowie der Umsetzbarkeit eines aussagekräftigen Monitoringkonzepts abhängig ist. Die Entwicklung geeigneter Methoden zur Bewertung und Überwachung von munitionsbelasteten Gebieten bzw. Munitionsversenkungsgebieten ist anzustreben.

6 Methoden der Beseitigung

Nach Erkenntnissen des Kampfmittelräumdienstes Schleswig-Holstein (KRD SH) wurde im maritimen Bereich bereits vor ca. 30 Jahren versucht, dünnwandige Sprengkörper wie z.B. Torpedoköpfe mittels einer Low-Order-Sprengung („Sympathiezündung“ mittels einer Schlagladung, einer kleinen Sprengladung mit bis zu 10 kg Sprengstoff) mit dem Ziel zu zerstören, den in den Sprengkörpern enthaltenen Sprengstoff freizulegen. Im praktischen Versuch wurde dabei im Abstand von ca. 30 Zentimetern eine Zerstörungsladung angelegt. Der aus den so zerstörten Sprengkörpern ausgetretene Sprengstoff konnte dann von Tauchern geborgen und der Entsorgung zugeführt werden. Da jedoch die Verteilung des Sprengstoffs unter Wasser zum Teil sehr weiträumig erfolgte, konnte nicht sichergestellt werden, dass alle Rückstände aufgenommen werden konnten. Die Versuche wurden daraufhin abgebrochen.

Heutzutage befinden sich andere Verfahrensweisen in Anwendung, die im Folgenden dargestellt und bewertet werden.

6.1 Detektion

Das Auffinden von unter Wasser befindlichen Gegenständen ist schon an sich schwierig. Wenn die gesuchten Objekte jedoch über Jahrzehnte im Meeresgrund einsinken, dabei durch herabsinkende Schwebstoffe abgedeckt und / oder sogar überwachsen werden, erscheint es fast unmöglich. Viele an dieser Stelle kurz erläuterte Technologien sind seit Jahrzehnten im praktischen Einsatz. Die Entwicklungen der jüngeren Vergangenheit betreffen zum einen die deutlich erweiterten Auswertungsmöglichkeiten durch den nachträglichen Einsatz geografischer Informationssysteme, zum anderen die zunehmende Unabhängigkeit von Booten oder Schiffen als Trägerplattformen durch die heutige Serienreife von autonomen Unterwasserfahrzeugen (*engl.* autonomous underwater vehicle, AUV).

Basierend auf modernster Satellitennavigation und abhängig von weiteren Hilfsmessungen sowie der Konfiguration der Vermessungsanlagen an Bord kann ein Objekt auf dem Meeresgrund auf diesem Wege einer Koordinate bis auf wenige Dezimeter genau zugeordnet werden.

6.1.1.1 Sonar

Für Untersuchungen des Meeresgrunds und von Objekten unter Wasser werden am häufigsten Sonaranlagen unterschiedlicher Bauarten benutzt. Sonaranlagen oder Echolote basieren auf der Reflexion eines Schallsignals. Sowohl die Form einer Oberfläche als auch ihr Material wirken sich spezifisch auf dieses Echo aus. Je nach Frequenz, Wassertiefe und Beschaffenheit des Meeresgrunds können so kleine oder große Objekte auf dem, oder abhängig von der jeweils eingesetzten Messmethode durchaus noch wenige Meter tief unter dem Meeresgrund gefunden werden.

Objekte am Meeresgrund treten dann besonders deutlich hervor, wenn die gemessenen Signale anhand der typischen Eigenschaften bestimmter gesuchter Objekte elektronisch aufbereitet und in der Darstellung gefiltert werden. Die Erfahrung des wissenschaftlichen oder technischen Personals, das die Anlage auf die physikalischen Parameter der Wassersäule und des gesuchten Objekts einstellt und die angezeigten Bilder interpretiert, hat jedoch maßgeblichen Einfluss auf den Erfolg der mit dieser Technologie durchgeführten Suche.

Oft kommen drei verschiedene Systeme bei der Kampfmittelbeseitigung im selben Untersuchungsgebiet zum Einsatz:

- (Tiefen-)Echolot (*engl.* Single-Beam EchoSounder, SBES) - zur genauen Messung von Veränderungen der Wassertiefe an Punkten oder Linien;
- Fächerecholot (*engl.* Multi-Beam EchoSounder, MBES) - zur Erfassung der Topografie des Meeresbodens (inkl. größerer Fremdkörper) und für eine daraufhin mögliche Erstellung dreidimensionaler Abbildungen (z.B. von Wracks);
- Seitensichtsonar (*engl.* Side-Scan Sonar, SSS) - um einen Überblick die Bodenbeschaffenheit größerer Flächen zu gewinnen, sowie zur Detektion von Strukturen bzw. Objekten auf oder über dem Meeresgrund.

Mit der Detektion eines Objekts durch jedwede Sonaranlage ist jedoch nicht gleichzeitig die Art des Objekts genau geklärt. Die genaue Erkundung und Bestimmung von als Kampfmittel verdächtigten Objekten muss anschließend mit anderen Mitteln erfolgen. Üblich ist der Einsatz entsprechend ausgebildeter Taucher, die Unterwas-

serfotografie oder das Erstellen von bewegten Videobildern, auch unter Verwendung von kabelgebundenen Tauchrobotern (ROV, „remotely operated vehicles“).

6.1.1.2 Magnetometrie

Die Magnetometrie beruht auf der Messung von magnetischen Anomalien gegenüber natürlichen oder künstlichen Magnetfeldern. Eisenhaltige Bauteile von Körpern (zum Beispiel Kampfmittel, aber auch Betonschutt oder eisenhaltige Gesteine) verstärken oder stören das Erdmagnetfeld oder senden typische elektrische Impulse im Moment der Umkehr künstlich erzeugter Magnetfelder. Diese Effekte können auch tief im Boden oder unter Wasser nachgewiesen werden, weil Magnetfelder auch Wasser oder Bodenschichten durchdringen. So besteht die Möglichkeit, auch verdeckte Ansammlungen von Material aufzuspüren. Das der Magnetometrie zugrunde liegende Auftreten von magnetischen Anomalien durch eisenhaltige Objekte ist seit vielen Jahrzehnten bekannt, doch erst heutzutage können auch geringste Veränderungen gemessen und durch den Einsatz von Computern bereits vor Ort sinnvoll ausgewertet werden.

Die Entwicklung dieser Technik, insbesondere der Mess-Sonden und der Anzeige- und Dokumentationstechnik ist so weit fortgeschritten, dass die „Ja/Nein“-Aussage des klassischen Sondengangs mit Signalton-Anzeige („Piep“-Ton) der Vergangenheit angehört. Mit aktuellen Systemen und Messverfahren lassen sich sowohl die Masse, als auch das Volumen von detektiertem Material hinreichend zuverlässig bestimmen. Dennoch ersetzen auch diese Fernerkundungsverfahren noch nicht die visuelle Identifizierung.

Da diese Technologie sowohl in Herstellung und Beschaffung, als auch im Einsatz aufwendig ist, stehen moderne Unterwasser-Magnetometriesysteme überwiegend bei Fachunternehmen zur Verfügung. Die Methode der „Sondengänger“ („Ja/Nein“-Aussage) ist jedoch bei allen mit Kampfmitteldetektion befassten Stellen ein übliches Verfahren, auch unter Wasser.

6.1.1.3 Kombinationsverfahren

Insbesondere die Entwicklung der hochgenauen Satellitennavigation und die Präzision der verfügbaren geografischen Basisdaten (Luftbilder, digitale Geländemodelle und topografische Karten) gestatten es heute, die Ergebnisse unterschiedlicher Verfahren im Rahmen der Nachbearbeitung zu kombinieren. Dies geschieht unter Ver-

wendung von leistungsfähigen Computern und den mathematisch-analytischen Methoden „Geografischer Informationssysteme“ (GIS) in einer dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit angemessenen Weise. Die daraus hervorgehenden analytischen Karten ermöglichen die gezielte Erkundung verdächtiger Objekte und können so helfen, den Gesamtaufwand der Erhebung einer Kampfmittelbelastung zu senken. Voraussetzung für den Einsatz dieser Kombinationsverfahren ist jedoch die Anfangsinvestition in die Aufnahmeverfahren und in die, meist extern erbrachte, Auswertung der gewonnenen Daten.

Die Qualität der zur Verfügung stehenden technischen Detektionsmöglichkeiten unterliegt einem den entsprechenden Anwenderbedürfnissen folgenden, kontinuierlichen Verbesserungsprozess. Um diese Entwicklung weiterhin nachhaltig zu unterstützen und auch mit dem Prozessschritt der eindeutigen Identifikation georteter Objekte sinnhaft zu verknüpfen, ist ein intensiver internationaler Austausch von Expertenwissen, Grundlagenforschung sowie anwendungsbezogener Wissenschaft mit Partnern aus der Wirtschaft zwingend erforderlich.

6.2 Maßnahmen zum Schutz von Meeressäugern

Neben der unmittelbaren Wirkung der Explosion auf die nähere Umgebung des Sprengorts wirkt der entstehende Unterwasserschall durch seine Intensität über viele Kilometer. Hierbei sind zum Teil erhebliche, schädliche Folgen für die Meeresbewohner zu verzeichnen. Insbesondere der in Ost- und Nordsee heimische Schweinswal orientiert sich mittels hochempfindlicher, auf akustischer Basis arbeitender Sinnesorgane.

Um diesen Tieren rechtzeitige Fluchtmöglichkeiten einzuräumen und sie aus dem Sprenggebiet zu vertreiben, sind deshalb durch den Schleswig-Holsteinischen Kampfmittelräumdienst (KRD) unter fachlicher Beratung von Meeresbiologen ziviler Umweltverbände Vergrämungsmaßnahmen entwickelt worden. So werden vor jeder unvermeidbaren Sprengung im Meer durch den KRD

- ✓ Hydrophone und
- ✓ „Seal scarer“ (Robben-Vergrämer) zum Einsatz gebracht sowie

- ✓ Zwei Vergrämungssprengungen mit jeweils 10 und 20 Gramm Nitropenta durchgeführt.

Ergänzend wird die Wasseroberfläche durch Beobachter („Whale spotter“) nach Meeressäugern abgesucht.

Die nicht abschließend beschriebenen Maßnahmen haben sich in der Praxis bewährt. Sie kommen im Fall von unvermeidbaren Sprengungen im Wasserbereich in Betracht und stellen nicht zuletzt durch ihre auch bei Kritikern hohe Akzeptanz einen kostengünstigen Beitrag zur Reduzierung von Gefahren für die Meeres- und Binnen-seefauna dar.

6.3 Beseitigungsmaßnahmen

6.3.1 Klassische Vorgehensweise: Abbrennen von Sprengkörpern mittels Thermit

In Betracht kommt auch der Abbrand von maritimen Großsprengkörpern unter Wasser. Der Sprengstoff in Großsprengkörpern soll dabei mittels Thermitladung angezündet werden.

Die hierzu durchgeführten praktischen Versuche bei der Wehrtechnischen Dienststelle für Waffen und Munition 91 (WTD 91) in Meppen ergaben, dass der so entzündete Sprengstoff auch unter Wasser selbstständig abbrennt. Die Zündung versagte jedoch in 11 von 12 durchgeführten Versuchen. Dies führte zum Abbruch der Versuchsreihe. Auch eine weitere Versuchsreihe führte zu keinem besseren Ergebnis.

Kritisch ist darüber hinaus anzumerken, dass die bei einem Abbrand unter Wasser entstehenden sprengstofftypischen Verbrennungsprodukte hoch toxisch sein können und die Meeresumwelt in erheblichem Umfang belasten.

Auf Grund der bisher durchgeführten und dokumentierten Versuche bildet diese Methode keine hinreichend sichere Vorgehensweise zur Beseitigung von Großsprengkörpern.

6.3.2 Aktuelle Weiterentwicklung von Methoden zur Kampfmittelbeseitigung

Alterungsprozesse, insbesondere Korrosion an Kampfmitteln, beschleunigen sich in der Regel im marinen Bereich erheblich. Darüber hinaus wurden maritime Sprengkörper häufig mit dem hochbrisanten Sprengstoff „Schießwolle 39“ bestückt. Die hieraus folgende, erhöhte Gefahr lässt nach erfolgter Gefährdungsbeurteilung in vielen Fällen eine Delaborierung der Kampfmittel durch Einsatzkräfte der Kampfmittelräumdienste nicht mehr verantwortbar zu.

Da Sprengungen von Kampfmitteln auf Grund der enormen Folgen für die Umwelt aus heutiger Sicht allenfalls im Sinne eines *Ultima Ratio*-Ansatzes vertretbar erscheinen, gilt es im Rahmen eines ständigen Entwicklungsprozesses neue technische Lösungen für die Beseitigung von Kampfmitteln in die Betrachtung einzubeziehen und, wenn wirtschaftlich vertretbar, einzusetzen.

6.3.2.1 Dämpfung des Unterwasserschalls - Blasenschleierteknik

Im Jahr 2008 wurde nach Bekanntwerden von dokumentierten Ergebnissen hinsichtlich der Reduzierung von Unterwasserschall bei Rammarbeiten eine Versuchsreihe mit der so genannten Blasenschleierteknik durch den Kampfmittelräumdienst Schleswig-Holstein in Zusammenarbeit mit der Forschungsanstalt für Wasserschall und Geophysik und dem Landesamt für Natur und Umwelt konzipiert. Beim Einsatz der Blasenschleierteknik wird Luft durch eine Rohrleitung mit Auslassdüsen in das Wasser am Meeresgrund gepresst (Abbildung 24). Bei ihrem Aufstieg zur Wasseroberfläche bilden die Luftblasen einen dichten Vorhang. Der im Jahr 2009 hohlzylinderförmig um die Sprengstelle gebildete Blasenschleier hatte einen Außendurchmesser von rund 20 Metern.

Im Rahmen einer Explosion bildet sich eine Gasblase aus, deren Auftreten mit einer sich ausbreitenden Schockwelle einhergeht. Das Ausmaß der entstehenden Gasblase hängt unter anderem von der Größe der Sprengladung und dem Grad der Umsetzung (hoch oder gering - „high order“ oder „low order“) ab. Die größte, bei bisherigen Einsätzen der Blasenschleierteknik gemessene Gasblase entstand bei der Sprengung einer 350 kg schweren Ankertaumine und erreichte einen Durchmesser von ca. 17 Metern. Wenn die sich ausbreitende Schockwelle den umgebenden Blasenvorhang erreicht, kollidiert sie mit den Blasen, verlässt dabei das Medium Wasser und

geht in das Medium Luft über. Diese Brechung sorgt für die erste Dämpfung. Die Luft in den Blasen wird komprimiert und erwärmt, was zu einem weiteren Energieverlust führt.

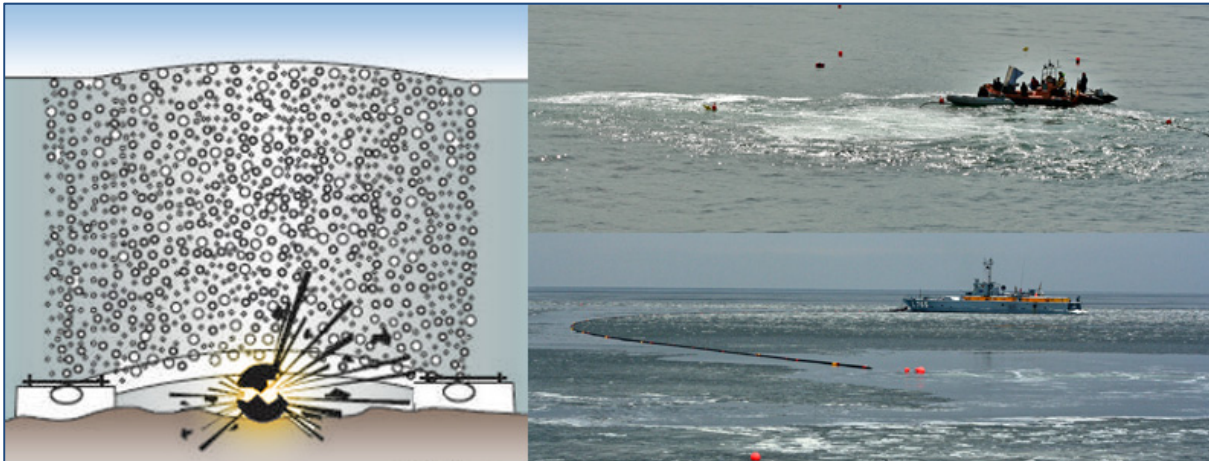


Abbildung 24: *links* - Funktionsskizze der Blasenschleierteknik (modifiziert nach Amt für Katastrophenschutz / dbd-agentur, Hamburg); *rechts oben* - Blasenschleier an der Wasseroberfläche (Quelle: Sven Koschinski); *rechts unten* - Vom Landungsboot aus wird Luft über einen Schlauch in das Rohrleitungssystem am Meeresgrund gepresst (Quelle: Sven Koschinski).

Beim Verlassen der Luftblasen zurück in das Medium Meerwasser kommt es erneut zur Brechung. Die Druckwelle hat nun erheblich an Wucht verloren und der Schalldruck wird nachweislich im gesamten Frequenzbereich erheblich gedämpft. Die im Jahre 2011 durchgeführten Experimente bestätigen die im Vorjahr gewonnene Erkenntnis, dass mit dem Blasenschleier in der verwendeten Konfiguration die Druckwelle der Explosion um 16 dB gedämpft werden kann. Diese Ergebnisse konnten im Jahre 2011 auch dann erzielt werden, wenn die Luftmenge um die Hälfte reduziert wurde. Die immer noch erreichte Dämpfung um 16 dB entspricht einer Verringerung des Gefährdungsabstandes um 84 % und somit eine Reduzierung der gefährdeten Fläche um 97 %.

Der Einsatz von Blasenschleiern ist in der Praxis erprobt und führt wissenschaftlich belegbar zu einer Reduzierung der gefährdeten Wasserfläche um bis zu 97 %. Durch weitere Optimierungen wird sich zum einen eine Senkung der Kosten erreichen, und zum anderen die Einsatzfähigkeit im Rahmen von anderen Offshore-Projekten, wie beispielsweise dem Bau von Windparks oder Standby-Ölsperren verbessern lassen.

6.3.2.2 Wasserstrahlschneidtechnik

Die Wasserstrahlschneidtechnik (Abbildung 25) ist durch den KRД Schleswig-Holstein im praktischen Versuch sowohl an einer Ankertau- als auch an einer Grundmine an Land im Hinblick auf die Praxistauglichkeit erprobt worden. Die Minen, die aus den Beständen der Deutschen Marine stammten, waren in einem sehr guten Zustand und ohne Anhaftungen oder Bewuchs. Das Ergebnis war nicht überzeugend. Ein weiterer Schneidvorgang wurde an einer 1.000 lb Bombe im Hafen des Wasser- und Schifffahrtsamtes in Kiel-Holtenau vorgenommen. Die Bombe wurde **vorab** auf einem Gestell befestigt und anschließend in 2 Meter Wassertiefe abgesenkt. Die korrekte Ausrichtung des Schneidstrahls nahm längere Zeit in Anspruch. Danach konnte das Bodenstück der Bombe erfolgreich abgetrennt werden.



Abbildung 25: Einsatz der Wasserstrahlschneidtechnik (*oben links* - Detailansicht) (mit freundlicher Genehmigung der ANT Applied New Technologies AG, Lübeck).

Der Einsatz im maritimen Bereich lässt, neben den Problemen einer sicheren Handhabung, darüber hinaus erwarten, dass der Schneidstrahl Sprengstoff ausspült und dieser zu einer Verschmutzung des Meerwassers durch sprengstofftypische Verbindungen führt. Erfolgreich wurde die Technik des Wasserstrahlschneidens unter Zusatz eines Abrasivmittels bislang durch den Kampfmittelbeseitigungsdienst Niedersachsen an zwei bezünderten Bomben an Land eingesetzt.

Nach bislang vorliegenden Erkenntnissen kommt das Verfahren der Wasserstahltechnik mit und ohne Abrasivmittel nur im Einzelfall und unter Idealbedingungen in Betracht.

6.3.2.3 Robotik, mobile Verbrennungsöfen

Entwicklungen im Hinblick auf ferngelenkte Unterwasser-Manipulatoren werden von Seiten der Industrie zunehmend vorangetrieben. Der wesentliche Lösungsansatz verfolgt dabei das Heben der Munition mittels ferngelenkter Geräte. In der weiteren Prozesskette der Entsorgung soll dann die Munition in mobilen Verbrennungsöfen an Land oder auch auf See entsorgt werden. Auch eine Entschärfung und Zerteilung der Munition unter Wasser mittels ferngesteuerter Wasserstrahltechnik ist technisch möglich. Zünder können zum Beispiel gezielt herausgeschnitten werden. Anschließend kann die Verbrennung der zerteilten Munition ebenfalls ferngesteuert ohne Gefährdung von Menschenleben in einem mobilen Verbrennungsöfen erfolgen.

Auch wenn die grundsätzlichen technischen Voraussetzungen gelöst erscheinen, bedarf es einer nicht unerheblichen Anpassung durch konkrete Feldversuche im Rahmen von Projektstudien. Diese Ergebnisse auch wirtschaftlich vertretbar umzusetzen, kann nur in einem ganzheitlichen Ansatz unter Beteiligung aller Betroffenen gelingen.

6.3.2.4 UV-Reaktoren

Der Einsatz von photolytischen Methoden zum Abbau von sprengstofftypischen, organischen Verbindungen im Wasser basiert im Wesentlichen auf dem Verfahren, das zum Abbau organischer Substanzen in kontaminiertem Wasser mittels Mineralisation angewandt wird. Dabei ist bislang im Laborversuch unter Einwirkung von starken UV-

Lichtquellen eine schnelle und nahezu vollständige Mineralisation der Sprengstoffrückstände gelungen. Die Anwendung dieses Verfahrens setzt allerdings zunächst die Auslösung des Sprengstoffs aus den Sprengkörpern voraus. Hierzu dürfte jedenfalls eine Öffnung und ggf. Portionierung der zu behandelnden Sprengkörper erforderlich werden. Die sich auf Grund der eingeschränkten Lösungseigenschaften (Größenordnung von 100 mg pro Liter Meerwasser) der im maritimen Bereich eingesetzten Sprengstoffe ergebende zu behandelnde Lösungsmenge ist abhängig von der Größe und Art des Sprengkörpers.

Durch die Fa. Umwelttechnik Haas wurde dem KRD SH bereits im Jahr 2007 diese theoretische Möglichkeit der Vernichtung von Sprengstoffen vorgestellt. Dabei sollte der Sprengstoff in einem ersten Arbeitsschritt mittels warmen Wassers ausgespült werden, um dann in einem zweiten Schritt mittel UV-Bestrahlung abgebaut zu werden. Erkenntnisse im Hinblick auf die Praxistauglichkeit dieser Methode liegen weiterhin nicht vor.

Kritisch anzumerken ist jedoch, dass insbesondere die wesentlichen Bestandteile maritimer Sprengstoffe (TNT und Hexanitrophenylamin), den derzeit vorliegenden Erkenntnissen zufolge in Wasser nahezu nur sehr langsam lösbar sind. Bei einer angenommenen Sättigungskonzentration von 100 mg pro Liter Meerwasser würde sich bei einem Torpedogefechtskopf mit einer Nettoexplosivmasse von 350 kg Sprengstoff eine zu behandelnde Wassermenge von 3.500 Tonnen ergeben. Ob und in welcher Form dieses Lösungsmittel einer weiteren Behandlung oder umweltgerechten Entsorgung zugeführt werden müsste, ist ohne entsprechende wissenschaftliche Untersuchungen nicht zu beurteilen.

Der Einsatz von photolytischen Methoden, *vulgo* UV-Reaktoren, zum Abbau sprengstofftypischer Verbindungen ist bislang lediglich als Laborversuch erfolgreich eingesetzt worden und verspricht auf absehbare Zeit keinen Ansatz auf Ableitung praxistauglicher Anwendungen. Allerdings können Rückschlüsse im Hinblick auf den Abbau sprengstofftypischer Verbindungen durch Sonneneinstrahlung gezogen werden.

6.3.2.5 Vereisung

Die Vereisung von Großsprengkörpern mittels Flüssigstickstoff basiert auf der Tatsache, dass Eis in seiner Druckfestigkeit dem von Beton ähnelt. Die bislang durchgeführten praktischen Versuche haben ergeben, dass durch eine entsprechende Bewehrung bei den so behandelten Sprengkörpern eine erhebliche Steigerung der Zugfestigkeit und damit einhergehend eine Stabilisierung der Sprengkörper im Hinblick auf mechanische Belastung erreicht werden konnte. Damit lassen sich insbesondere notwendige Verlagerungen von dünnwandigen und durch Korrosion nicht mehr stabilen Sprengkörpern ohne die Gefahr des Auseinanderbrechens realisieren.

Im Wesentlichen ungelöst ist jedoch die vollständige Prozesskette der Entsorgung handhabungsunsicherer Sprengkörper mit einem notwendigerweise erforderlichen Transport auf dem Landweg zu einer geeigneten und zertifizierten Entsorgungsstelle. Die hierbei im Rahmen der mechanischen Behandlung der Sprengkörper sowie des Transports bestehenden Gefahren für Leib und Leben der Kampfmittelräumer sowie anderer Verkehrsteilnehmer lassen einen Transport der vereisten handhabungsunsicheren Großsprengkörper nach jetzigem Stand der Technik nicht zu.

Auf Grund der weitgehend ungelösten Prozesskette bedarf die Anwendung dieser Technologie einer nicht unerheblichen Fortentwicklung.

Insgesamt stehen die technischen Möglichkeiten zur Beseitigung im Meer lagernder Kampfmittel heute weitestgehend zur Verfügung. Neben den hier diskutierten, auf nationaler Ebene erprobten Methoden wurden aktuell im Rahmen der Konferenzen „Minimizing Risks for the Environment in Marine Ammunition Removal in the Baltic and North Sea“ (MIREMAR, www.miremar.de) im November 2010 sowie auf dem „Third International Dialogue on Underwater Munitions“ (IDUM, www.underwatermunitions.org) im April 2011 weitere, international verfügbare oder in Entwicklung befindliche Methoden zur Beseitigung von Munition vorgestellt (Präsentationen sind auf den Webseiten der Konferenzen abrufbar).

7 Gemeinsames Melde- und Berichtswesen

Grundlage eines vollständigen Lagebildes sind Informationen zu den in diesem Zusammenhang relevanten Ereignissen, sowie deren geeignete Aufbereitung. Der Bund und die Küstenländer haben daher untersucht, wie unter der gegebenen Verteilung der Aufgaben zwischen dem Bund und den Ländern ein Verfahren etabliert werden könnte, dass bei vertretbarem Aufwand zu einem vollständigen Lagebild führen könnte. Dabei sind alle heute bestehenden Meldewege und Berichtspflichten weitmöglichst berücksichtigt worden, so dass bei sorgfältiger Mitwirkung der Beteiligten sowohl von einer Verwaltungsvereinfachung als auch von einer Steigerung der Qualität ausgegangen werden darf. Das entworfene Verfahren stützt sich ganz wesentlich auf die bestehende Einrichtung des Bundes und der Länder für die Zusammenarbeit der maritimen Sicherheitsbehörden und Institutionen auf See, das Maritime Sicherheitszentrum (MSZ), ab. Integraler Bestandteil des MSZ ist u.a. die Leitstelle der Wasserschutzpolizeien der Küstenländer (WSP-Leitstelle), die auch für die allgemeine Gefahrenabwehr im Küstenmeer zuständig sind. Im Weiteren wird das Unterwasserdatencenter der Bundeswehr mit seinen spezifischen militärischen Aufgabenstellungen und der etablierten Zusammenarbeit im Bereich Fachkartografie mit dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie einbezogen.

7.1 Bedingungen und Meldeverpflichtungen

Ereignisse, die den Seeverkehr gefährden können, sind gemäß Paragraph 37 Abs. 2 der Seeschifffahrtsstraßenordnung der örtlich zuständigen Verkehrszentrale der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) zu melden. Fundmunition ist bis zu einer abschließenden Beurteilung durch die zuständige Landesbehörde regelmäßig als in diesem Sinne relevant anzusehen.

Die Verkehrszentralen sind als Ansprechpartner überwiegend den Seefahrenden bekannt. Munition wird allerdings auch am Ufer bzw. im Strandbereich und auf dem Grund von Landesgewässern 1. Ordnung, also außerhalb von Seeschifffahrtsstraßen gefunden. Sie wird dort also auch von Personen gefunden, denen die Meldewege gemäß Seeschifffahrtsstraßenordnung nicht geläufig sind.

Die größte Zahl von Fundmunitionsmeldungen nehmen die örtlich zuständigen Einsatzleitstellen der Polizei, die über den Polizeinotruf 110 erreicht werden, entgegen.

Von hier werden die Meldungen über etablierte Kommunikationswege an die nach Landesrecht zuständige Behörde weitergegeben. Die ergriffenen Maßnahmen werden dann aber nur intern dokumentiert, insbesondere auch zur Menge der Munition, die über die Initialmeldung hinaus geräumt wurde.

Die Bundesrepublik Deutschland ist unter anderem in zwei völkerrechtlichen Verträgen Meldeverpflichtungen eingegangen, ohne diese später gesetzlich umzusetzen. Die mit der Erfüllung der Vertragspflichten befassten Verwaltungen des Bundes stellen daher die zu bestimmten Terminen fälligen Berichte für die deutschen Gebiete der Nord- und der Ostsee in mühevollen Abstimmungsprozessen mit den Ländern zusammen.

7.2 Verfahren

Die Bund-Länder-Arbeitsgruppe schlägt vor, innerhalb des MSZ bei der WSP-Leitstelle eine nationale, registrierende Stelle für Ereignisse mit Fundmunition zu etablieren. Meldeverfahren der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, der Kampfmittelbeseitigungsdienste, der Landes- und der Bundespolizei werden sicherstellen, dass diese Stelle Kenntnis von jedem Einzelfall erhält (Abbildung 26). Der WSP-Leitstelle obliegt es, die ergriffenen Maßnahmen auf der Grundlage von Kurzberichten der eingesetzten Kampfmittelspezialisten einheitlich zu dokumentieren.

Die Daten werden von der WSP-Leitstelle periodisch an das Unterwasserdatenzentrum der Bundeswehr abgegeben, welches sie in das dortige Geografische Informationssystem übernimmt und gegebenenfalls in Zusammenarbeit mit Experten der Länderdienste fachlich ergänzt. So entsteht eine Fachdatenbank über Munition im Meer.

Die Bundeswehr wird die Datenbankinhalte dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie elektronisch zur Verfügung stellen, so dass hier zukünftig die periodischen Meldungen der Bundesrepublik Deutschland elektronisch aufbereitet werden können.

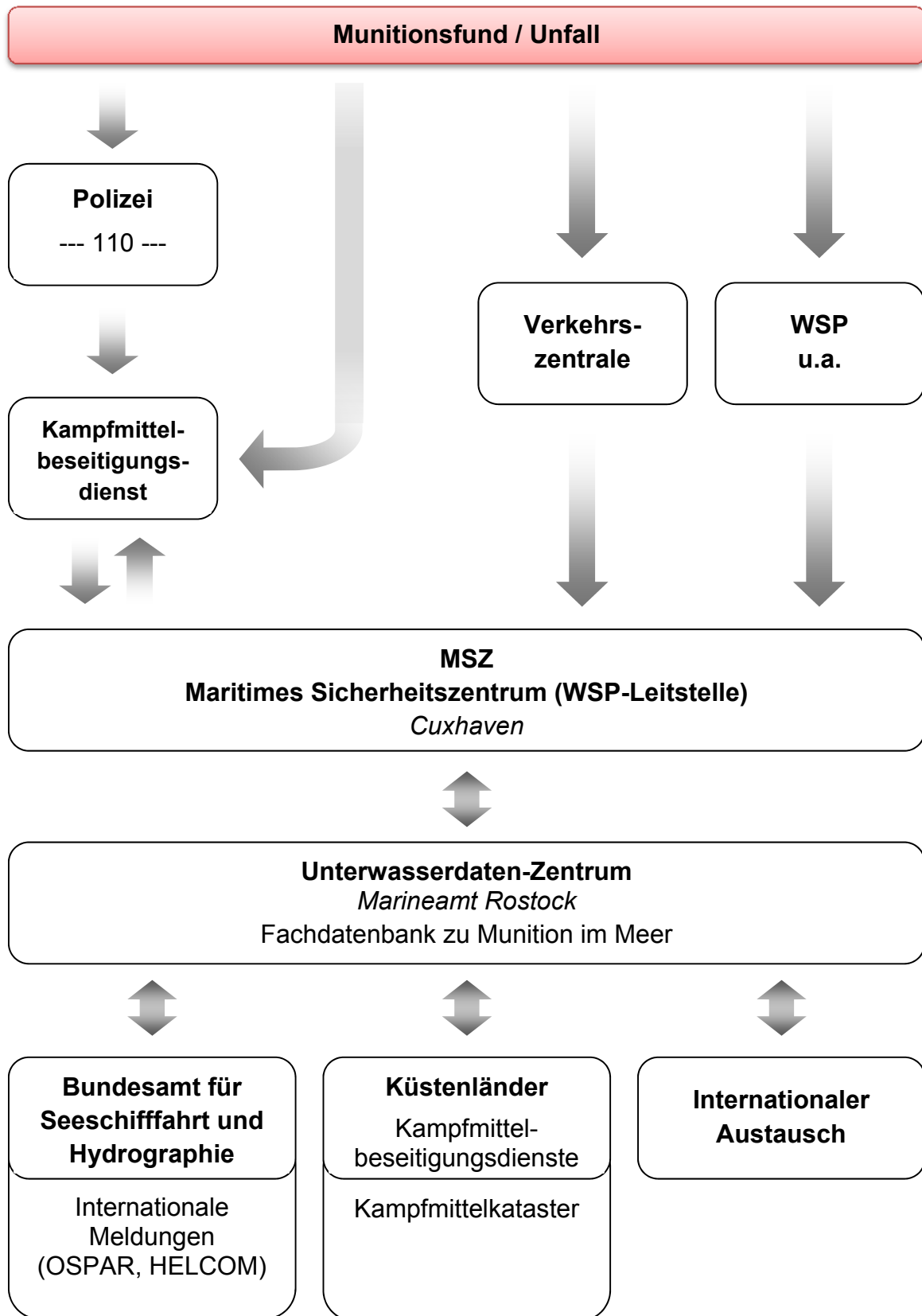


Abbildung 26: Schematische Darstellung des vorgeschlagenen Meldeverfahrens.

7.3 Produkte

Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie wird auf dieser Basis die nationalen Meldungen zu Fundmunition in den Vertragsgebieten der völkerrechtlichen Verträge zur Nordsee (OSPAR) und zur Ostsee (HELCOM) generieren und den Ländern zukünftig in einem Schritt den Entwurf einer nationalen Meldung zur innerdeutschen Abstimmung vorlegen können.

Periodisch übermittelt das Unterwasserdatenzentrum den zuständigen Landesbehörden darüber hinaus geeignete Aufbereitungen für deren interne und externe Berichterstattung. Die ergänzten Daten werden den beauftragten Stellen der Länder auf Antrag in einem elektronischen System für die Planung eigener Einsätze zur Verfügung gestellt.

8 Glossar

Altlast	Im Zusammenhang mit Kampfmitteln bzw. Munition im Meer ist die Definition des Bundesbodenschutzrechtes nicht gültig. Im Sinne dieses Berichts wird der Begriff umgangssprachlich genutzt, d.h. er kann abhängig vom Zusammenhang sowohl entsprechend belastete Flächen als auch damit im Zusammenhang stehende Objekte wie z.B. Munitionskörper beschreiben. Die Begriffe Munition-, Kampfmittel- und Rüstungsallast werden zur Konkretisierung des Sachverhalts verwendet.
ARGE BLANO	Arbeitsgemeinschaft Bund/Länder Nord- und Ostsee, zur Umsetzung der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL). ✓ http://www.meeresschutz.info
ARGE BLMP	Arbeitsgemeinschaft Bund/Länder-Messprogramm. ✓ http://www.blmp-online.de
AWZ	ausschließliche Wirtschaftszone, international festgelegtes Meeresgebiet jenseits der 12-Seemeilen-Zone.
Bioakkumulation	Anreicherung einer Substanz in Organismen oder Ökosystemen durch Aufnahme aus der Umwelt (belebt und unbelebt).
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie.
CMR-Stoffe	krebserregende, erbgutverändernde und die Fortpflanzung beeinträchtigende Stoffe.
EC-50	<i>engl.</i> half maximal effective concentration; Konzentration eines Stoffs die bei einer dieser ausgesetzten Beobachtungsgruppe nach einer bestimmten Zeit einen halbmaximalen pharmakologischen bzw. toxikologischen Effekt hervorruft.
Halbwertszeit	hier: chemische Halbwertszeit: Zeit nach der die Hälfte der Ausgangsmenge einer Substanz biologisch oder physikalisch-chemisch abgebaut worden ist.
HELCOM	Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebiets.

Hydrolyse	chemische Reaktion bei der eine Verbindung durch Einwirkung von Wasser gespalten wird.
Kampfmittel	<p>Übergeordneter Begriff, der Munition, Munitionsbestandteile und Waffen sowie freie oder in Transport- bzw. Lagerbehältnissen befindliche Kampfstoffe umfasst.</p> <p>Die Definition gemäß Arbeitshilfen Kampfmittelräumung (Herausgeber BMVg und BMVBS) lautet: Kampfmittel sind gewahrsamslos gewordene, zur Kriegsführung bestimmte Gegenstände und Stoffe militärischer Herkunft und Teile solcher Gegenstände, die Explosivstoffe oder Rückstände dieser Stoffe enthalten oder aus Explosivstoffen oder deren Rückständen bestehen; chemische Kampf-, Nebel-, Brand- oder Reizstoffe oder Rückstände dieser Stoffe enthalten; oder Kriegswaffen oder wesentliche Teile von Kriegswaffen sind.</p>
Kampfmittelaltlast	siehe Eintrag zu Altlast.
Kampfstoff	<p>auch „chemischer Kampfstoff“, umgangssprachlich oft (meist unkorrekt) „Giftgas“; chemischer Stoff, der mit dem militärischen Ziel entwickelt und ggf. eingesetzt wurde, Menschen durch seine toxische Wirkung vorübergehend oder endgültig außer Gefecht zu setzen.</p> <p>Die Definition gemäß Arbeitshilfen Kampfmittelräumung (Herausgeber BMVg und BMVBS) lautet: Als chemische Kampfstoffe werden nach militärischer Definition chemische Substanzen bezeichnet, die in gasförmigem, flüssigem oder festem Zustand wegen ihrer toxischen Wirkung gegen Menschen, Tiere oder Pflanzen für Kriegszwecke oder militärischen Einsatz verwendet werden können und die Kampfkraft des Gegners durch vorübergehende, dauerhaft wirkende oder tödliche Vergiftung schwächen sollen. Chemische Kampfstoffe sind verwandt mit Substanzen, die in der chemischen Industrie gebräuchlich sind. Diese Stoffe wurden erst aufgrund der militärischen Zweckbe-</p>

	stimmung zu chemischen Kampfstoffen (z.B. Phosgen und Blausäure).
kanzerogen	krebserregend.
KRD	Kampfmittelräumdienst.
Küstenmeer	Seegebiet innerhalb der 12-Seemeilen-Zone.
LC-50	<i>engl.</i> median lethal concentration; Konzentration eines Stoffs bei der die Hälfte der dieser ausgesetzten Beobachtungsgruppe innerhalb einer bestimmten Zeit stirbt.
LD-50	<i>engl.</i> median lethal dose; Menge eines Stoffs bei der nach Verabreichung die Hälfte der Beobachtungsgruppe innerhalb einer bestimmten Zeit stirbt.
LLUR	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein.
MERCW	EU-Forschungsprojekt: „Modelling of Ecological Risks related to sea-dumped Chemical Weapons“.
MLUR	Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein.
MSZ	Maritimes Sicherheitszentrum, gemeinsame Einrichtung des Bundes und der Küstenländer mit Hauptsitz in Cuxhaven, dessen operativer Kern das Gemeinsame Lagezentrum See ist.
Munition	<p>Bewegliche Teile von Waffen, die in verbrauchender Weise für das Eintreten der Waffenwirkung nötig sind. Nach Typ der enthaltenen Wirkmittel wird zwischen konventioneller (Sprengstoffe oder Brandmittel) und chemischer (Kampfstoffe) Munition unterschieden. Im Rahmen dieses Berichts sollen durch die Verwendung des Begriffs in allgemeingültigen Aussagen andere Kampfmittel nicht explizit ausgeschlossen werden.</p> <p>Die Definition gemäß Arbeitshilfen Kampfmittelräumung (Herausgeber BMVg und BMVBS) lautet: Gegenstände oder deren Teile für die bestimmungsgemäße militärische Anwendung mit Explosivstoff, wie Patronen, Kartuschen, Gefechtsköpfen, Handgranaten, Minen, Bomben, Torpedos sowie Raketen ein-</p>

	schließlich der Treibsätze und Pyrotechnika. Munition kann auch Brand-, Nebel-, Reizstoffe oder chemische Kampfstoffe enthalten. Diese Munition wird auch als Lagermunition bezeichnet.
Munitionsaltlast	siehe Eintrag zu Altlast.
mutagen	erbgutverändernd.
MV	Mecklenburg-Vorpommern
MVG	Munitionsversenkungsgebiet.
OSPAR	Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordatlantiks.
Persistenz	Eigenschaft einer chemischen Substanz in einem Umweltbereich wie bspw. Boden, Wasser, Luft, Gewebe unverändert durch biologische oder physikalisch-chemische Prozesse über lange Zeiträume zu bestehen.
ppm	<i>engl.</i> parts per million. Dimensionslose Einheit, Teil von einer Million. 1 ppm = 0,0001 %.
Rüstungsaltlast	Militärische Altlast, die im Wesentlichen aus dem Zeitraum WK I und II resultieren.
SH	Schleswig-Holstein.
STV	sprengstofftypische Verbindungen; chemische Verbindungen, die als Abbauprodukt von Sprengstoffen typisch sind und selbst oft die gleichen oder einen Teil der ursprünglichen Eigenschaften aufweisen.
Toxizität	Maß für die Giftigkeit einer Substanz in Bezug auf eine bestimmte Bezugsgruppe.
TNT	2,4,6-Trinitrotoluol, meistgenutzter Sprengstoff des 2. Weltkriegs.
UV	Ultraviolett. Elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen von 1 nm bis 380 nm.
Wirkmittel	Bestandteil von Munition, der für die gewünschte Wirkung nötig ist (z.B. Brandmittel in Brandmunition). Wird als Abgrenzung zu

weiteren Munitionsbestandteilen wie Zünder oder Auswurfladung verwendet.

WK	Weltkrieg.
WSD	Wasser- und Schifffahrtsdirektion.
WSP	Wasserschutzpolizei.
WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie.

9 Quellenverzeichnis

- Andrulewicz, E (1996): „War Gases and Ammunition in the Polish Economic Zone of the Baltic Sea” – in Kaffka, A. (1996) (Herausg.): „Sea-Dumped Chemical Weapons: Aspects, Problems and Solutions“ – 170 S.; Institute of the USA and Canadian Studies, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Sea-Dumped Chemical Munitions, S. 9-15, Kaliningrad, Russia, January 1995 (NATO ASI Series Vol. 7); published by Kluwer Academic Publishers 1996.
- ACOPS (2003): “Coastal Survey of Packaged Chemical and other Hazardous Items 2002/2003” - Advisory Committee on Protection of the Sea (ACOPS), Maritime and Coastguard Agency, Research Project No. 488, London, Oktober 2003.
- Appler, B. (1997): „The production of chemical warfare agents by the Third Reich, 1933-45“ - in SIPRI (1997): “The challenge of Old Chemical Munitions and Toxic Armament Wastes”, 337 S.; Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), S. 77-103, Schweden 1997.
- ARSU (1993): Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung GmbH: Ökotoxikologische Bewertung Rüstungsaltslasten Munitionsversenkungsgebiete in der Nordsee. Oldenburg, Mai 1993.
- BBS Consulting (1993): „Untersuchung der Munitionsversenkungsgebiete in den niedersächsischen Küstengewässern“. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums.
- Beddington, J. & Kinloch, A. J. (2005): „Munitions Dumped at Sea: A Literature Review“ – 90 S.; Imperial College London, IC Consultants Ltd., London 2005.
- BOP (2010): „Baltic Sea Ordnance Pilot – Change 8“, Munitionsaltslastenkataster Ostsee, Marineamt 2010.
- BSH (1993): „Chemische Kampfstoffmunition in der südlichen und westlichen Ostsee – Bestandsaufnahme, Bewertung und Empfehlung“ – 70 S.; Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg, 1993.

- Burmeier et al. (2010): „Ökologisches Gefahrenpotential durch sprengstofftypische Verbindungen aus Munitionsaltlasten in der niedersächsischen Nordsee“ - Gutachten für das Niedersächsische Ministerium für Umwelt- und Klimaschutz, AG „Rüstungsaltlasten im Meer“ 2010.
- Burmeier et al. (2011): „Ökotoxikologisches Gefahrenpotential durch sprengstofftypische Verbindungen und Tabun aus Munitionsaltlasten in der schleswig-holsteinischen Nord- und Ostsee“ - Gutachten für das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, AG „Rüstungsaltlasten im Meer“ 2011.
- Chilcott, R. P. (2007): „Dermal Aspects of Chemical Warfare Agents“ – in Marss, T. C. et al. (Herausg.) (2007): „Chemical Warfare Agents – Toxicology and Treatment“ – 738 S.; John Wiley & Sons Ltd., Second Edition, S. 409-422, England 2007.
- Walsh, M. E. et al. (1995): CRREL Report 95-23 “Persistence of White Phosphorus Particles in Sediment”. US Army Corps of Engineers - Cold Regions Research & Engineering Laboratory; November 1995.
- DBT (1995): „Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Ulrike Höfken, Steffi Lemke, Dr. Jürgen Rochlitz und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 13/2348“ – Deutscher Bundestag, Drucksache 13/2733 vom 24.10.1995, <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/13/027/1302733.asc>.
- Deutsch, H. (2010): „Gefährdung durch Brandmunitionsaltlasten im Küstenbereich...“, Masterarbeit, Universität Rostock 2010.
- Emelyanov, E. et al. (2000): „Danger to life of areas of dumped trophy chemical munitions in the Skagerrak Sea and in the Bornholm Basin, Baltic Sea“ – in Ecimovie, T. et al. (Herausg.) (2000): „Through Case Method Research and Teaching Towards a Sustainable Future – Local Agenda 21“ – 206 S.; Proceedings of the 16th International Conference on Case Method Research and Case Method Application, WACRA Europe e.V., Rainer Hampp Verlag, S. 58-64, München 2000.“
- Emelyanov, E. et al. (2010): „Influence of chemical weapons and warfare agents on the metal contents in sediments in the Bornholm Basin, the Baltic Sea“. Baltica, 23 (2), 79-90. Vilnius.

- EPA DK (1992): „Update of Report dated 7 May 1985 concerning Environmental, Health and Safety Aspects connected with the Dumping of War Gas Ammunition in the Waters around Denmark“ – 36 S.; Ministry of the Environment, Environmental Protection Agency, Dänemark Dezember 1992.
- Federov, L. (1996): „Pre-Convention Liquidation of Soviet Chemical Weapons“ – in Kaffka, A. (1996) (Herausg.): „Sea-Dumped Chemical Weapons: Aspects, Problems and Solutions“ – 170 S.; Institute of the USA and Canadian Studies, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Sea-Dumped Chemical Munitions, S. 17-27, Kaliningrad, Russia, January 1995 (NATO ASI Series Vol. 7); published by Kluwer Academic Publishers 1996.
- FFI (2002): „Investigation and risk assessment of ships loaded with chemical ammunition scuttled in Skagerrak“ – 88 S.; Norwegian Defence Research Establishment (FFI), Norwegen 2002.
- FRSR (1996): Fisheries Research Service Report No. 15/96, „Surveys of Beaufort’s Dyke Explosives Disposal Site“, Marine Laboratory Aberdeen November 1996.
- Fonnum, F. (1997): „Investigation of the ships filled with chemical munitions which were sunk off the Norwegian coast after World War II“ – in SIPRI (1997): „The challenge of Old Chemical Munitions and Toxic Armament Wastes“, 337 S.; Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), S. 279-290, Schweden 1997.
- Frondorf, M. (1996): „Special Study on the Sea Disposal of Chemical Munitions by the United States“ – in Kaffka, A. (1996) (Herausg.): „Sea-Dumped Chemical Weapons: Aspects, Problems and Solutions“ – 170 S.; Institute of the USA and Canadian Studies, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Sea-Dumped Chemical Munitions, S. 35-40, Kaliningrad, Russia, January 1995 (NATO ASI Series Vol. 7); published by Kluwer Academic Publishers 1996.
- Garnaga, G & Stankevicius, A. (2005): „Arsenic and Other Environmental Parameters at the Chemical Munitions Dumpsite in the Lithuanian Economic Zone of the Baltic Sea“, Environmental Research, Engineering and Management 3 (33), S. 24-31, 2005.

- Granboom, P. O. (1996): „Investigation of a dumping area in the Skagerrak 1992“ – in Kafka, A. (1996) (Herausg.): „Sea-Dumped Chemical Weapons: Aspects, Problems and Solutions“ – 170 S.; Institute of the USA and Canadian Studies, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Sea-Dumped Chemical Munitions, S. 41-48, Kaliningrad, Russia, January 1995 (NATO ASI Series Vol. 7); published by Kluwer Academic Publishers 1996.
- Guir, F. (1997): „The technical challenge of dismantling and destroying old and abandoned chemical weapons“ – in SIPRI (1997): „The challenge of Old Chemical Munitions and Toxic Armament Wastes“, 337 S.; Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), S. 156-165, Schweden 1997.
- Haas, R. (1996): Explosivstofflexikon. Umweltbundesamt, Texte 22/96. Berlin 1996.
- Haderlein, S. et al. (1996): „Specific absorption of nitroaromatic explosives and pesticides to clay minerals“. Environmental Science & Technology 30 (2), S. 612-622 (zitiert in Burmeier et al. 2009).
- Hart, J. & Stock, T. (2008): „Recent Scientific and Political Developments Regarding Sea-Dumped Chemical Weapons in the Baltic Sea“ – 19 S.; Paper presented at the „International Seminar on Sea-Dumped Chemical Weapons: Perspectives of International Cooperation“, Ministry of Foreign Affairs, Republic of Lithuania, Vilnius 30.09.-01.10.2008.
- HELCOM (1994): „Report of Chemical Munitions Dumped in the Baltic Sea – Report to the 15th Meeting of Helsinki Commission 8-11 March 1994“ – 39 S.; Danish Environmental Protection Agency, Januar 1994.
- Huber, P. & Mross, K. G. (2001): „Zur Toxikologie militärspezifischer Sprengstoffe und deren Zersetzungsprodukte“. Ingelheim 2001.
- IOW (2010): „Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 2009“ sowie „Die Schwermetall in der Ostsee im Jahr 2009“ – 137 S.; Meereswissenschaftliche Berichte Nr. 80, Leibniz Institut für Ostseeforschung, Warnemünde 2010.
- Jäckel, K. (1969): „Untersuchungsbericht über die Versenkung von Munitionsbeständen (Kampfstoffmunition) der deutschen Wehrmacht nach dem 2. Weltkrieg in den Seegebieten Bornholm, Gotland und vor dem Südausgang des Kleinen Belt“ – 57 S.; 57-50-10 VS-NfD, Bundesministerium der Verteidigung, 1969.

- Jäckel, K. (1971): „Untersuchungsbericht über die Versenkung von Kampfstoffmunition der deutschen Wehrmacht nach dem 2. Weltkrieg durch die 3 Westmächte (Großbritannien, USA und Frankreich) im Skagerrak und der Biscaya“ – 37 S.; AZ.: 57-50-10 VS-NfD, Bundesministerium der Verteidigung, 1971
- Joos, A. et al. (2008): Leitfaden – Natürliche Schadstoffminderung bei sprengstofftypischen Verbindungen; BMBF Förderschwerpunkt KORÄ, Themenverbund 5 Rüstungsaltpasten. IABG mbH (Hrsg.), Berlin (zitiert in Burmeier et al. (2009)).
- Kaffka, A. (1996) (ED.): „Sea-dumped Chemical Weapons: Aspects, Problems and Solutions“ – 170 S.: Institute of the USA and Canadian Studies, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia: Proceedings of the Nato Advanced Research Workshop on Sea- Dumped Chemical Munitions, Kaliningrad, Russia January 1995 (NATO ASI Series Vol.7); published by Kluwer Academic Publishers 1996
- Koch, M. (2009): „Subaquatische Kampfmittelaltasten in der Ostsee – Neubewertung des Status quo, Risikopotentiale und resultierende Handlungsszenarien“, Dissertation, Leuphana Universität Lüneburg 2009.
- Koch, M. & Nehring, S. (2007): „Rüstungsaltpasten in den deutschen Küstengewässern – Vorschläge für Sanierungsstrategien im Kontext der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie“ – Rostocker Meeresbiologische Beiträge, Heft 17: Seite 39 – 54; Rostock 2007.
- Koch, M. & Ruck, W. (2009): „Technology Options Tested on the German Coast for Addressing a Munitions Hot Spot In Situ“. Marine Technology Society Journal 43 (4), S. 105-115, 2009.
- Korotenko, K. (2003): „Chemical Warfare Munitions Dumped in the Baltic Sea: Modelling of Pollutant Transport Due to Possible Leakage“ – 14 S.; Shirchov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moskau 2003.
- Kulturtechnik GmbH (1990): „Bericht zur Erfassung und Erkundung der Rüstungsaltpasten in der Nordsee“ – Gutachten für das Niedersächsische Umweltministerium, 118 S.; Kulturtechnik GmbH, Bremen 1990.
- LANU SH (2008): „Bericht über die in-situ-Begleituntersuchungen zur Munitionssprengung in der Ostsee vom 14.04.2008 – 18.04.2008“ – 25 S.; Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, Flintbeck 2008.

- Laurin, F. (1997): „The Baltic and North Sea Dumping of chemical weapons: still a threat?“ – in SIPRI (1997): “The challenge of Old Chemical Munitions and Toxic Armament Wastes”, 337 S.; Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), S. 263-278, Schweden 1997.
- Liebezeit, G. (2002): „Dumping and re-occurrence of ammunition on the German North Sea coast“ – in Missiaen, T. & Henriët, J.-P. (Herausg.) (2002): „Chemical munition dump sites in coastal environments“ – 167 S.; Renard Centre of Marine Geology, University of Gent, S.13-25, Belgium 2002.
- Livingston, J. et al. (2007): „Investigation into the Fate of Phosgene Contained within Chemical Munitions Dumped into Beaufort’s Dyke“ – 34 S.; Defence Science and Technology Laboratory (DSTL) des britischen Verteidigungsministeriums, England 2007.
- Lohs, K. (1992): „Einführung in die Analytik der Rüstungsaltslasten“ – Spyra, W. et al. (1992): „Verfahren zur Sanierung von Rüstungsaltslasten – Analytik, Sicherung und Verfahrenstechnik“ – 337 S.; EF-Verlag für Energie und Umwelttechnik GmbH, S. 15-21, Berlin 1992.
- Maher, W. und Butler, E. (1988): „Arsenic in the marine environment“, Applied Organometallic Chemistry 2, S. 191-214, 1988.
- Malyshev, L. (1996): „Technological Questions on Safe Elimination of CW Dumps on the Baltic Sea Bed“ – in Kaffka, A. (1996) (Herausg.): „Sea-Dumped Chemical Weapons: Aspects, Problems and Solutions“ – 170 S.; Institute of the USA and Canadian Studies, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Sea-Dumped Chemical Munitions, S. 93-104, Kaliningrad, Russia, January 1995 (NATO ASI Series Vol. 7); published by Kluwer Academic Publishers 1996.
- MarA (2011): „Ordnance Pilot – Munitionsaltslasten Deutschland – Mai 2011“, Marineamt, 2011.
- Marrs, T. C. (2007): „Toxicology of Organophosphate Nerve Agents“ – in Marrs, T. C. et al. (Herausg.) (2007): „Chemical Warfare Agents – Toxicology and Treatment“ – 738 S.; John Wiley & Sons Ltd., Second Edition, S. 191-221, England 2007.

- Marrs, T. C. & Maynard, R. L. (2007): „Organic Arsenicals“ – in Marrs, T. C. et al. (Herausg.) (2007): „Chemical Warfare Agents – Toxicology and Treatment“ – 738 S.; John Wiley & Sons Ltd., Second Edition, S. 191-221, England 2007.
- Marrs, T. C. et al. (Herausg.) (2007): „Chemical Warfare Agents – Toxicology and Treatment“ – 738 S.; John Wiley & Sons Ltd., Second Edition, England 2007.
- Martin, J. (2002): „Quantifying the risks of unexploded ordnance drifting ashore or burying in the sea bed“ - in Missiaen, T. & Henriët, J.-P. (Herausg.) (2002): „Chemical munition dump sites in coastal environments“ – 167 S.; Renard Centre of Marine Geology, University of Gent, S.107-120, Belgium 2002.
- Martinius, J. (1958): „Vergiftungen durch versenktes Xylylbromid in der Ostseefischerei“, Archiv für Toxikologie 17, S. 1-3, 1958.
- Martens, R. & De Bisschop, H. (2008): “Sea dumped old chemical shells – The Belgian Problem of the Paardenmarkt” – Federal Public Service Health, Food Chain Safety und Environment bzw. Royal Military Academy of Belgium, PPT-Präsentation im Rahmen des “International Seminar on Sea-Dumped Chemical Weapons”, 30.09.-01.10.2008 in Vilnius, Litauen.
- Maser, E. (2010): “Methodische Untersuchungen zum Nachweis von sprengstofftypischen Verbindungen im Ostseewasser mit Hilfe von Bioindikatoren” im Auftrag des Landesamtes für Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR), Kiel 2010.
- Medvedeva, N. et al. (2009): “Microbial responses to mustard gas dumped in the Baltic Sea”, Marine Environmental Research 68, S. 71-81, 2009.
- MERCW (2006): “Modelling of Ecological Risks Related to Sea-Dumped Chemical Weapons (MERCW) – Deliverable 2.1 Synthesis report of the available data” – 62 S.; EU-Verbundprojekt im Kontext des 6. Europäischen Rahmenprogramms; spätere Druckversion: Missiaen, T. & Paka, V. (2007): “Synthesis report of available data regarding CW dumpsites in the Baltic Sea – MERCW Project Report (Deliverable D 2.1)” – 62 S.; Renard Centre of Marine Geology, University of Gent, Belgien 2007.
- MBD MV (2011): “Phosphorfunde am Strand von Usedom” - Schreiben des Munitionsbergungsdienstes Mecklenburg-Vorpommern vom 29.06.11.
- Meyer, R. & Köhler, J. (2008): “Explosivstoffe”, 10. Auflage, Wiley-VCH 2008.

- Missiaen, T. et al. (2010): „Evaluation of a chemical dumpsite in the Baltic Sea based on geophysical and chemical investigations“ - Science of the Total Environment 408, S. 3536-3553, 2010.
- Missiaen, T. & Feller, P. (2008): „Very-high-resolution seismic and magnetic investigations of a chemical munitions dumpsite in the Baltic Sea“ - Journal of Applied Geophysics 65, S. 142-154, 2008.
- Missiaen, T. & Feller, P. (2009): „Detection of chemical munitions buried below the seabed using seismic and magnetic techniques“ – Near Surface Geoscience 27, 2009.
- Missiaen, T. & Henriët, J.-P. (Herausg.) (2002): „Chemical munition dump sites in coastal environments“ – 167 S.; Renard Centre of Marine Geology, University of Gent, Belgien 2002.
- Missiaen, T. & Henriët, J.-P. (Herausg.) (2002b): „Chemical munition dump sites in coastal environments: a border-transgressing problem“ – in Missiaen, T. & Henriët, J.-P. (Herausg.) (2002): „Chemical munition dump sites in coastal environments“ – 167 S.; Renard Centre of Marine Geology, University of Gent, S. 1-12, Belgien 2002.
- Nehring, S. (2005): „Rüstungsaltslasten in den deutschen Küstengewässern – Handlungsempfehlungen zur erfolgreichen Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie“ – Rostocker Meeresbiologische Beiträge, Heft 14, S. 109-123, Rostock 2005.
- Nehring, S. (2007): „Pulverfass Ostsee – Statistik über Unfälle mit versenkter Munition (Teil 1)“ – Waterkant Mitteilungsblatt der Aktionskonferenz Nordsee e.V., Nr. 4, S. 23-28, Dezember 2007.
- Nehring, S. (2008): „Pulverfass Nordsee – Statistik über Unfälle mit versenkter Munition (Teil 2)“ – Waterkant Mitteilungsblatt der Aktionskonferenz Nordsee e.V., Nr. 1, S. 5-9, März 2008.
- Nehring, S. & Koch, M. (2006): „Gefahr aus der Tiefe – Die Mythenbildung um die Munition im Meer“ – Waterkant Mitteilungsblatt der Aktionskonferenz Nordsee e.V., Nr. 4, S. 21-25, Dezember 2006.
- Niiranen, S. et al. (2008): „Modelled bioaccumulation of chemical warfare agents within the Baltic Sea food web“ - US/EU-Baltic International Symposium, 2008 IEEE/OES. 06/2008; DOI: 10.1109/BALTIC.2008.4625532.

- Oberholz, A. (2001): „Tödliche Gefahr aus der Tiefe – Bittere Erkenntnisse zu Kriegs- und Rüstungsaltslasten“ – 224 S.; Kommunal-Verlag, 2. Auflage, Recklinghausen 2001.
- OPCW (2005): „Convention on the Prohibition of the Development, Production, Stockpiling and Use of Chemical Weapons and on their Destruction“ – 181 S.; Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons (OPCW) 2005.
- OSPAR (2009): „Assessment of the impact of dumped conventional and chemical munitions (update 2009)“ – 23 S.; OSPAR Commission (http://qsr2010.ospar.org/media/assessments/p00365_Munitions_assessment.pdf), 2009.
- Paka, V. & Spiridonov, M. (2002): „Research of dumped chemical weapons made by R/V ‚Professor Shtokman‘ in the Gotland, Bornholm & Skagerrak dump sites“ – in Missiaen, T. & Henriët, J.-P. (Herausg.) (2002): „Chemical munition dump sites in coastal environments“ – 167 S.; Renard Centre of Marine Geology, University of Gent, S. 27-42, Belgien 2002.
- Pape, A. (1970): „Fischer! Vorsicht vor Giftgasmunition“ – Das Fischerblatt, Verband der Deutschen Kutter- und Küstenfischer e.V., Ausgabe 18 (8), S. 206-207, Hamburg 1970.
- Perera, J. (1997): „Chemical munitions in the Commonwealth of Independent States and the surrounding seas“ – in SIPRI (1997): „The challenge of Old Chemical Munitions and Toxic Armament Wastes“, 337 S.; Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), S. 121-137, Schweden 1997.
- Politz, F. (1994): „Zeitbombe Ostsee – Das Giftgas-Erbe auf dem Meeresgrund“ – 134 S.; Christoph Links Verlag, 1. Auflage, Berlin 1994.
- Pfeiffer, F. (2008): „Bericht über die in-situ-Begleituntersuchungen zur Munitionssprengung in der Ostsee vom 14.4. bis 18.4.2008“ - Büro für Umweltgeologie & Sicherheitsforschung (BfUS), Marburg 2008.
- Pfeiffer, F. (2009): – „Bericht über die in-situ-Begleituntersuchungen zur Munitionssprengung in der Ostsee vom 18.2.2009“ - Büro für Umweltgeologie & Sicherheitsforschung (BfUS), Marburg 2009.
- Rapsch, H.-J. & Fischer, U. (2000): „Munition im Fischernetz – Altslasten in der Deutschen Bucht“ – 80 S.; Isensee Verlag, Oldenburg 2000.

- Roberts, G. & Maynard, R. (2007): „Responding to Chemical Terrorism: Operational Planning and Decontamination“ – in Marrs, T. C. et al. (Herausg.) (2007): „Chemical Warfare Agents – Toxicology and Treatment“ – 738 S.; John Wiley & Sons Ltd., Second Edition, S. 175-190, England 2007.
- Rodríguez Bares, S. et al. (2005): „Gewässerbelastung durch Sprengstoffe im Thunersee“ – Schlussbericht, Wädenswil/Thun 2005.
- RUSFED (1993): „Complex Analysis of the Hazard Related to the Captured German Chemical Weapon Dumped in the Baltic Sea“ – 31 S.; National Report of the Russian Federation, Moscow 1993, vorgelegt im Rahmen des zweiten Meetings der Ad hoc Working Group on Dumped Chemical Munition (HELCOM CHEMU), Litauen September 1993.
- Sanderson, H. et al. (2008): „DPSIR and Risk Assessment of Dumped Chemical Warfare Agents in the Baltic Sea“ – in Linkow, I. et al. (2008): „Real-Time and Deliberative Decision Making“ – 456 S.; NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, S. 191-201, Springer Niederlande 2008/2009.
- Sanderson, H. et al. (2007): „PBT screening profile of chemical warfare agents (CWAs)“ - Journal of Hazardous Materials 148, S. 210-215, 2007.
- Sanderson, H. et al. (2008b): „Screening level community fish risk assessment of chemical warfare agents in the Baltic Sea“ – Journal of Hazardous Materials 154, S. 846-857, 2008.
- Sanderson, H. et al. (2009): „Human health risk screening due to consumption of fish contaminated with chemical warfare agents in the Baltic Sea“ – Journal of Hazardous Materials 162, S. 416-422, 2009.
- Sanderson, H. et al. (2010): „Environmental Hazards of Sea-Dumped Chemical Weapons“ – Environmental Science & Technology 44, S. 4389-4394, 2010.
- Sandström, O. et al. (2003): „Integrated fish monitoring in Sweden“ – 32 S.; publiziert in HELCOM MONAS Coastal Fish Monitoring, Agend Item 3, First Meeting, Tallin, Estland 22.03.-24.03.04.

- Schulz-Ohlberg, J. et al. (2002): „Tracing dumped chemical munitions in Pomerian Bay (Baltic Sea) at former transport routes to the dumping areas off Bornholm Island“ – in Missiaen, T. & Henriët, J.-P. (Herausg.) (2002): „Chemical munition dump sites in coastal environments“ – 167 S.; Renard Centre of Marine Geology, University of Gent, S. 43-51, Belgien 2002.
- SHL (2001): „Kampfmittel in Küstengewässern“ – Antwort der Landesregierung auf eine kleine Anfrage – 7 S.; Schleswig-Holsteinischer Landtag, Drucksache 15/1226, Kiel 2001.
- Sidell, S. R. (2007): „A History of Human Studies with Nerve Agents by the UK and USA“ – in Marrs, T. C. et al. (Herausg.) (2007): „Chemical Warfare Agents – Toxicology and Treatment“ – 738 S.; John Wiley & Sons Ltd., Second Edition, S. 223-239, England 2007.
- SIPRI (1997): „The challenge of Old Chemical Munitions and Toxic Armament Wastes“, 337 S.; Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), Schweden 1997.
- SRU (2004): „Meeresumweltschutz für Nord- und Ostsee“ – 268 S.; Sondergutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen, Drucksache 15/2626, Deutscher Bundestag 2004.
- Theobald, N. (2002): „Chemical Munitions in the Baltic Sea“ – in Missiaen, T. & Henriët, J.-P. (Herausg.) (2002): „Chemical munition dump sites in coastal environments“ – 167 S.; Renard Centre of Marine Geology, University of Gent, S. 95-106, Belgien 2002.
- Van Ham, N. (2001): „Investigations of risks connected to sea-dumped munitions“ – in Missiaen, T. & Henriët, J.-P. (Herausg.) (2002): „Chemical munition dump sites in coastal environments“ – 167 S.; Renard Centre of Marine Geology, University of Gent, S. 81-93, Belgien 2002.
- Vaninnen, P. et al. (2008): „Analysis of sediment and water samples from chemical munitions dumpsite in Bornholm deep“; PPT-Präsentation, Finnish Institute of Verification of the Chemical Weapons Convention (VERIFIN), University of Helsinki 2008, presented at the „International Seminar on Sea-Dumped Chemical Weapons: Perspectives of International Cooperation“, Ministry of Foreign Affairs, Litauen, Vilnius 30.09.-01.10.2008.

Witkiewicz, Z. & Szarski, K. (1997): „The history of chemical weapons in Poland“ – in SIPRI (1997): „The challenge of Old Chemical Munitions and Toxic Armament Wastes“, 337 S.; Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), S. 112-120, Schweden 1997.

Zhurbasa et al. (2010): „Pathways of Suspended Particles Transport in the Bottom Layer of the Southern Baltic Sea Depending on the Wind Forcing (Numerical Simulation)“ – Oceanology 50, S841-854, 2010.

Weitere spezielle Quellennachweise mit Hinweisen auf u.a. Wehrmachts- und Augenzeugenberichte, Zeitungsberichte und persönliche Mitteilungen sind zu finden in (BSH 1993) und (Koch, M. 2009).

10 Anhang

Die Dokumente des Anhangs liegen teils als aus dem vorliegenden Hauptteil ausgliederte externe Dateien vor. Diese sind über www.munition-im-meer.de verfügbar.

10.1 Mitglieder der Arbeitsgruppe

❖ **Vorsitzender:**

➤ **Dr. Bernd Scherer**

- Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein
- Tel.: 0431-988-7288
- E-Mail: bernd.scherer@mlur.landsh.de

❖ **Stellvertretender Vorsitzender:**

➤ **Jens Sternheim**

- Innenministerium Schleswig-Holstein
- bis 31.05.2011 Amt für Katastrophenschutz
- Tel.: 0431-988-3450
- E-Mail: jens.sternheim@im.landsh.de

❖ **Geschäftsstelle:**

➤ **Claus Böttcher**

- Innenministerium Schleswig-Holstein
- bis 31.05.2011 Amt für Katastrophenschutz
- Tel.: 0431-988-3460
- E-Mail: claus.boettcher@im.landsh.de

➤ **Dr. Tobias Knobloch**

- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
- Tel. : 040-3190-3308
- E-Mail: tobias.knobloch@bsh.de

❖ **Mitglieder:**

➤ **Heike Imhoff**

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- Tel.: 0228-305-2527
- E-Mail: heike.imhoff@bmu.bund.de

➤ **Niels-Peter Rühl**

- Berater für Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- Tel.: 040-3190-3303 oder 04129-1033
- E-Mail: niels-peter.ruehl@bsh.de oder barbara.linde@t-online.de

- **Thomas Dehling**
 - Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
 - Tel.: 0381-4563-719
 - E-Mail: thomas.dehling@bsh.de

- **Manuela Hahn**
 - Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord
 - Tel.: 0431-3394-6503
 - E-Mail: manuela.hahn@wsv.bund.de

- **Thorsten Hinrichs**
 - Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nordwest
 - Tel.: 04941-602-330
 - E-Mail: thorsten.hinrichs@wsv.bund.de

- **Konrad Ehrhardt**
 - Havariekommando
 - Tel.: 04721-567-399
 - E-Mail: KEhrhardt@havariekommando.de

- **Uwe Wichert**
 - ab 01.06.2011: Berater für das Innenministerium Schleswig-Holstein
 - 01.07.2010-31.05.2011: Berater für das Amt für Katastrophenschutz, Schleswig-Holstein
 - bis 01.07.2010: Bundesministerium der Verteidigung, Einsatzflottille 1
 - Tel.: 04352-1811
 - E-Mail: uwe.wichert@gmx.de

- **Burkhard Stobbe**
 - ab 01.07.2010: Bundesministerium der Verteidigung, Einsatzflottille 1
 - Tel.: 0431-384-1472
 - E-Mail: burkhardstobbe@bundeswehr.org

- **Walter Offenborn**
 - Bundesministerium der Verteidigung, Marineamt
 - Tel.: 0381-802-3170
 - E-Mail: walter.offenborn@bundeswehr.org

- **Joachim Wöhler**
 - Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz
 - Tel.: 0511-120-3358
 - E-Mail: joachim.woehler@mu.niedersachsen.de

➤ **Claudia Meyer**

- Niedersächsisches Innenministerium
- Tel.: 0511-120-6483
- E-Mail: claudia.meyer@mi.niedersachsen.de

➤ **Dr. Andreas Röpke**

- Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Mecklenburg-Vorpommern
- Tel.: 0385-588-6410
- E-Mail: a.roepke@lu.mv-regierung.de

➤ **Wilfried Feja**

- Innenministerium Mecklenburg-Vorpommern
- Tel.: 0385-588.2621
- E-Mail: wilfried.feja@im.mv-regierung.de

10.2 Munitionsbelastete Gebiete in deutschen Meeresgewässern

➔ externer Anhang / Datei

10.3 Informationen für Risikogruppen – Munitionserkennungsblatt

➔ externer Anhang / Datei

10.4 Externe Berichte und Gutachten

10.4.1 National

10.4.1.1 Untersuchung zur Belastung der Transportwege Wolgast–Bornholm-Becken

➔ externer Anhang / Datei

10.4.1.2 „Burmeier Nds“ - Ökotoxikologisches Gefahrenpotential durch sprengstofftypische Verbindungen aus Munitionsaltlasten in der niedersächsischen Nordsee

➔ externer Anhang / Datei(en)

10.4.1.3 „Burmeier SH“ - Ökotoxikologisches Gefahrenpotential durch sprengstofftypische Verbindungen und Tabun aus Munitionsaltlasten in der schleswig-holsteinischen Nord- und Ostsee

➔ externer Anhang / Datei(en)

10.4.1.4 Sachstandsbericht chemische Munition im Versenkungsgebiet Helgoländer Loch

➔ externer Anhang / Datei

10.4.1.5 Ereignistabelle „Unfälle“ (Auszug aus Dissertation Koch 2009)

➔ externer Anhang / Datei

10.4.2 International

10.4.2.1 Auszug OSPAR Quality Status Report 2010 (S. 112-113)

➔ externer Anhang / Datei

10.4.2.2 Forsvarets forskningsinstitutt Norwegen - Investigation and Risk Assessment of Ships Loaded with Chemical Ammunition Scuttled in Skagerrak

➔ externer Anhang / Datei

10.4.2.3 HELCOM – Chemical Weapons Dumps in the Baltic

➔ <http://www.helcom.fi/.../?u4.highlight=Chemical%20munitions>

10.4.2.4 H. Sanderson *et al.* – Environmental Hazards of Sea-Dumped Chemical Weapons (Zusammenfassung des MERCW-Projekts)

➔ <http://dx.doi.org/10.1021/es903472a>

10.4.2.5 G. Carton & A. Jagusiewicz - Historic Disposal of Munitions in U.S. and European Coastal Waters, How Historic Information Can be Used in Characterizing and Managing Risk

➔ externer Anhang / Datei