

Marc KOCH & Stefan NEHRING

Rüstungsalasten in den deutschen Küstengewässern – Vorschläge für Sanierungsstrategien im Kontext der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie

**Warfare-related hazardous sites in German coastal waters – Recommendations
for related remediation strategies in the context of the EC Water Framework
Directive**

Abstract

German and allied chemical and conventional ammunition dumped in the North- and Baltic Sea after the Second World War does – until today – pose a nearly not assessable threat to humans and the environment. Fundamental toxicological and especially long term ecotoxicological problems are still unsolved. First assessment attempts concerning the significance of pollution by dumped ammunition in the framework of putting the European Water Framework Directive into practice are rather based on ignorance than concrete facts. Concerning briefly considered securing or remediation measures for subaquatic warfare-related hazardous sites, local authorities do still prefer leaving the ammunition untouched *in situ*. Only in the case of hot spots and simultaneous acute danger for shipping, big sized ammunition is usually just blown up without any consideration of resulting pollution by harmful substances as well as the killing of vertebrates by shock waves and sound pulses. Based on current assessments of threat and especially in the context of the EC Water Framework Directive, this study aims to demonstrate the necessity of remediation at least for hot spots and to present related generalized remediation concepts.

Keywords: North Sea, Baltic Sea, World War, chemical munitions, conventional munitions, dumping, risk assessment, remediation strategies

1 Einleitung

Ende des Zweiten Weltkrieges wurden die enormen konventionellen und chemischen Waffenarsenale Deutschlands und der Alliierten nicht mehr benötigt und es galt, einen möglichst schnellen und kostengünstigen Entsorgungsweg für diese Kampfmittel zu finden. Die damals üblichen Vernichtungsmethoden der direkten Sprengung, Verbrennung oder etwa das schlichte Ausschütten von Kampfmitteln

stellten sich schnell als extrem zeitaufwändig und für das verantwortliche Personal als nicht ungefährlich heraus. Im Gegensatz hierzu schien die Versenkung der Kampfmittel auf See als wesentlich effizientere und sicherheitstechnisch unproblematischere Option. Umweltaspekte und Fragen des Meeresschutzes blieben damals völlig unberücksichtigt.

Mengenangaben und Angaben zur Art der im Meer entsorgten Kampfmittel schwanken stark und basieren zumeist vielmehr auf Schätzungen als auf konkreten, belastbaren Dokumenten. Nach vorliegenden Erkenntnissen wurde der größte Teil konventioneller Kampfmittel (Explosivstoff- und Brisanzmunition) in den deutschen Küstengewässern innerhalb der 12-Seemeilenzone versenkt (Liebezeit 2002, OSPAR 2005). Die beiden größten Versenkungsgebiete für chemische Kampfmittel (u.a. Clark, Lose, Phosgen und Tabun) sind das Skagerrak und das Bornholm-Becken (BSH 1993, HELCOM 1994).

Mitte der 1980er Jahre setzte in Deutschland und in anderen europäischen Ländern aufgrund diverser Schadensfälle, vor allem in der Fischerei, eine Diskussion bezüglich möglicher Gefahrenpotenziale für Mensch und Umwelt durch versenkte Kampfmittel ein. Erste Bestandsaufnahmen von subaquatischen Rüstungsaltslasten wurden Anfang der 1990er Jahre in ausgewählten Gebieten der Nord- und Ostsee durchgeführt. Diese führten nach ersten Einschätzungen zu dem Schluss, dass längerfristige Gefährdungen der Meeresumwelt nicht auszuschließen seien und die bestehenden, recht erheblichen Erkenntnislücken – insbesondere bezüglich der Ökotoxikologie – durch gezielte Untersuchungsprogramme geschlossen werden sollten (BSH 1993, HELCOM 1994, 1995).

Im Dezember 2000 trat die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (kurz WRRL) zur Neuausrichtung der gesamteuropäischen Wasser- und Gewässerschutzpolitik in Kraft (EG 2000). Diese Richtlinie verpflichtet die Mitgliedsstaaten, innerhalb eines Zeitraumes von 15 Jahren einen guten Zustand aller Oberflächengewässer sowie des Grundwassers zu erreichen (Art. 4 WRRL). Auf Grund des engen zeitlichen Rahmens waren – basierend auf Artikel 5 der Richtlinie – die Umweltauswirkungen menschlicher Tätigkeiten bis 2005 zu überprüfen (sog. B-Berichte der Bundesländer) und sind bis 2009 diesbezügliche Maßnahmenprogramme aufzustellen sowie bis 2012 entsprechend zu realisieren. Die aus den B-Berichten resultierenden Erkenntnisse zur Belastung durch versenkte Kampfmittel im deutschen Küstenbereich sollen im Folgenden neben den allgemeinen Gefährdungspotenzialen diskutiert und – zur erfolgreichen Umsetzung der WRRL bezüglich der diffusen Schadstoffquelle „subaquatische Rüstungsaltslasten“ (Liebezeit 2002, Nehring et al. 2004) – zielgerichtete Sanierungsstrategien vorgestellt werden.

2 Material und Methoden

Die vorliegende Studie basiert auf vorhandenen Daten, Unterlagen und allgemein zugänglicher Literatur, die vor allem im Rahmen des laufenden Promotionsvorhabens „Sicherungs- und Sanierungskonzepte für chemische und konventionelle Kampfmittel-Altlasten in der Ostsee“ (Koch 2006), sowie des

Pilotprojektes „Ermittlung und Beurteilung der Auswirkungen von Belastungen in Oberflächenwasserkörpern am Beispiel des Küstengewässers Elbe“ (vgl. Nehring et al. 2004) recherchiert wurden.

In der Literatur werden teilweise unterschiedliche Angaben zu stofflichen und toxischen Charakteristika chemischer und konventioneller Kampfmittel gemacht. Die hier getroffenen Aussagen beziehen sich prioritär auf die vom Umweltbundesamt veröffentlichten Lexika zu Explosiv- sowie Kampfstoffen und die daraus resultierenden Schlüsse (Haas 1996, Kopecz 1996), sowie auf die gerade in den letzten Jahren veröffentlichten Dissertationen und Fachaufsätze im Bereich der Ökotoxikologie (u.a. Ek 2005, Rosen & Lotufo 2005).

3 WRRL-relevante Versenkungen an der deutschen Küste

Derzeit sind im Bereich der deutschen Nordseeküste 14 Munitionsversenkungsgebiete im Nationalpark Wattenmeer und im offenen Seegebiet sowie eine Versenkungsstelle in der Eider bei Tönning auf den amtlichen Seekarten mit dem Attribut „unrein (Munition)“ gekennzeichnet. Zusätzlich gibt es diverse weitere Flächen, an denen eine Munitionsbelastung festgestellt wurde bzw. vermutet wird, die entweder mit einer anderen Art von Bezeichnung oder gar nicht auf den aktuellen Seekarten geführt werden (Abb. 1). Trotz umfangreicher Bergungen durch so genannte „Munitionsfischer“ zwischen 1947 und 1958, bei denen nach Schätzungen etwa 250.000 – 350.000 Tonnen Kampfmittel aus den Munitionsversenkungsgebieten gehoben wurden, ist noch von einer Kampfmittelbelastung von mindestens 400.000 Tonnen konventioneller Munition auszugehen (KULTURTECHNIK 1990, BBS Consulting 1993). „Worst case“-Szenarien sprechen von bis zu 1,3 Mio. Tonnen (Nehring 2005b). In weiten Bereichen ist die Munition heute nicht oder nur teilweise durch Sedimente überlagert (BBS Consulting 1993). Durch Sedimentumlagerungen und durch Baggergutverklappungen kann Munition aber auch mehrere Meter überdeckt sein. Durch strömungsinduzierte Prozesse wird versandete Munition jedoch immer wieder freigelegt und transportiert, so dass weiträumig in Küstennähe der Deutschen Bucht mit Munition auf dem Grund zu rechnen ist (BBS Consulting 1993). Eine genaue Lokalisierung ist jedoch nur durch aufwändige und periodische Messfahrten möglich. Insgesamt ist der Zustand der Kampfmittelkörper unbekannt. Bisher geborgene Fundstücke zeigen – vor allem je nach Sauerstoffgehalt des umgebenden Wassers oder der Sedimentschichten – oftmals deutliche Korrosionsschäden und resultierende Leckagen. Aber auch noch voll funktionsfähige Munition wird immer wieder gefunden. Insgesamt gilt jedoch für den Rat von Sachverständigen für Umweltfragen die Daten- und Erkenntnislage weiterhin als unübersichtlich (SRU 2004).

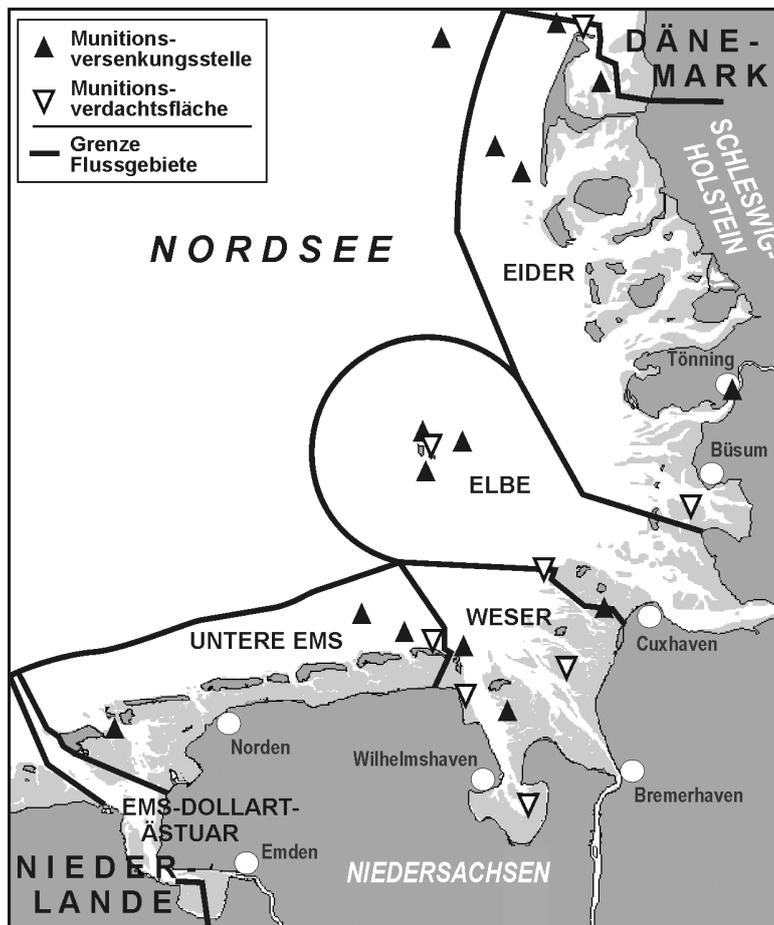


Abb. 1 Gebiete mit Munitionsbelastung und Flussgebiete im Geltungsbereich der Wasserrahmenrichtlinie an der deutschen Nordseeküste

Im Bereich der deutschen Ostseeküste sind insgesamt 16 Gebiete mit der Bezeichnung „unrein (Munition)“ ausgewiesen. Zusätzlich gibt es diverse Munitionsverdachtsflächen, die jedoch nur teilweise auf amtlichen Seekarten verzeichnet sind (Abb. 2). Während die Hauptversenkungsgebiete für chemische Kampfmittel in der Ostsee – im Gegensatz zur gängigen Verklappungspraxis bezüglich konventioneller Kampfmittel – außerhalb des deutschen Hoheitsgebietes liegen (Bornholm Becken, Gotland, Kleiner Belt), gibt es dennoch ein erhebliches Gefährdungspotenzial durch das so genannte „en route dumping“. Hierunter versteht man das wilde Verklappen von Kampfmitteln auf den Transportwegen unmittelbar nach Verlassen des jeweiligen Abfahrtshafens, das für die pauschal bezahlten Schiffseigner eine willkommene Option zur Verkürzung der Entladezeiten und somit zur Gewinnsteigerung darstellte (BSH 1993). Auf Basis dieser damals durchaus gängigen Praxis gelangten signifikante Mengen von chemischen und konventionellen Kampfmitteln niemals zu ihrem ursprünglichen Bestimmungsort und lagern nun mitunter in unmittelbarer Küstennähe. Weitgehend unbekannt ist bisher, dass vor Laboe in der Kieler Außenförde eine große Giftgaslagerstätte existiert hat, die offensichtlich Ende der 1950er Jahre auf Kosten des Bundes geräumt wurde (Nehring & Koch 2006). Ungeklärt ist, warum diese Maßnahme keine Erwähnung im Bericht des BSH (1993) gefunden hat.

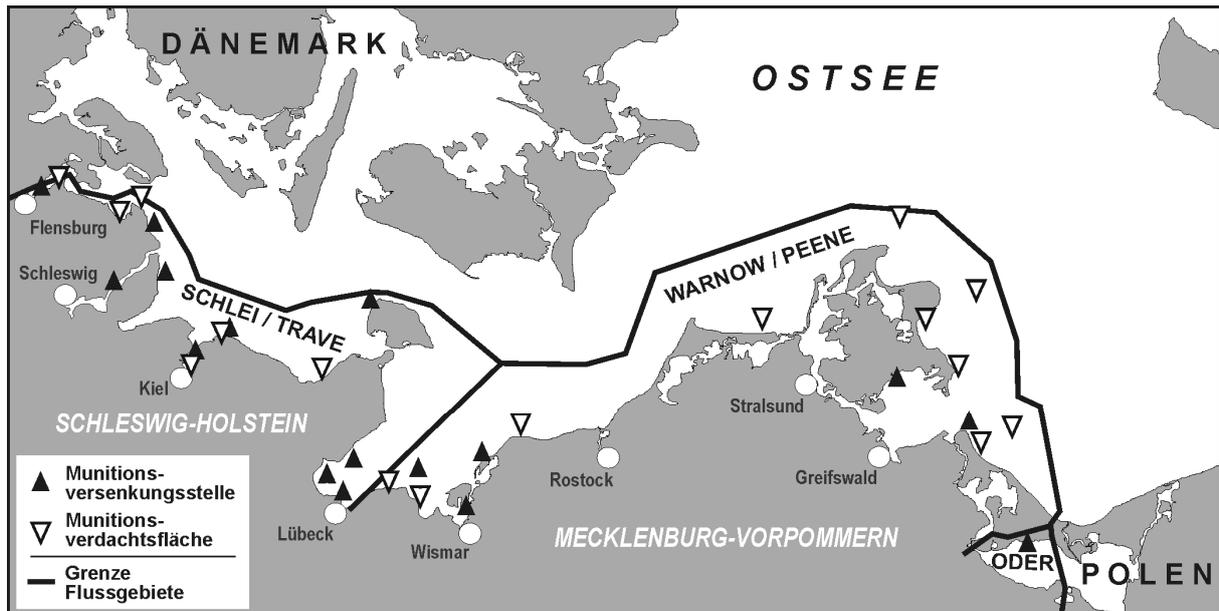


Abb. 2 Gebiete mit Munitionsbelastung und Flussgebiete im Geltungsbereich der Wasserrahmenrichtlinie an der deutschen Ostseeküste

Anders als im Falle der Nordsee sind im Bereich der Ostsee die Mengen an verklappten konventionellen Kampfmitteln überhaupt nicht bekannt, da bis heute keine Aufarbeitung von historischen Dokumenten, Zeugenbefragungen etc. durchgeführt worden sind, was auch durch den Rat von Sachverständigen für Umweltfragen bemängelt wird (SRU 2004). Nach einem Hinweis der Landesregierung sind wahrscheinlich 100.000 Tonnen allein von Schleswig-Holstein aus in der Ostsee verklappt worden (SHL 2001). Erste konkretere Abschätzungen wurden bisher nur hinsichtlich der in der Ostsee entsorgten chemischen Kampfmittel publiziert, deren Menge zwischen 45.000 und 65.000 Tonnen betragen haben soll (BSH 1993, HELCOM 1994, 1995). Diese Mengenangaben berücksichtigen jedoch nur sehr eingeschränkt Versenkungsmaßnahmen durch die ehemalige UdSSR, deren Archive bisher nicht zugänglich sind; nach unbestätigten Presseberichten soll die Sowjetunion nach 1947 mehr als 300.000 Tonnen Kampfstoffmunition u.a. in der Ostsee versenkt haben (Nehring & Ilschner 2005).

4 Gefährdungspotenziale und WRRL-Relevanz

Aufgrund der in den sauerstoffhaltigen Wasser- und Sedimentschichten fortschreitenden Korrosion und den resultierenden Leckagen kommt es zu einer diffusen Freisetzung der in den Kampfmitteln enthaltenen Explosiv- und Kampfstoffe. Im Bereich der reinen Explosivstoffe sind in diesem Kontext 93 verschiedene Einzelsubstanzen und sechs Isomergemische zu betrachten (Haas 1996). Trinitrotoluol (kurz TNT), das massenanteilig bei weitem den meist verwendeten

Sprengstoff im Zweiten Weltkrieg darstellt (Rapsch & Fischer 2000, Missiaen & Henriot 2002), ist toxisch für Mikroorganismen und Wasserpflanzen (Spyra 1997, Ek 2005) und – trotz einer recht geringen Wasserlöslichkeit von etwa 100 bis 130 mg/l – schon bei einer Konzentration von 0,7 bis 3,7 mg/l für Fische tödlich (Haas 1996). Das Freiwerden akut toxischer Konzentrationen kann recht schnell erfolgen, wenn die verklappten Kampfmittel nicht mit Sediment bedeckt sind und eine Verdünnung durch nachströmendes Frischwasser begrenzt ist (Ek 2005). Je nach versenktem Munitionstyp können aber auch in Einzelfällen andere gefährliche Substanzen wie z.B. Nitroglycerin, Hexogen und weißer Phosphor den wirksamen Hauptbestandteil bilden. Jede Versenkungsstelle besitzt daher eigene Charakteristika und bedarf einer eigenen Gefahreinschätzung.

Neben den Einträgen an Primärschadstoffen wie TNT kommt es zudem zu teilweise erheblichen Schwermetallfrachten (u.a. der WRRL-relevanten Stoffe Blei („möglicherweise prioritär gefährlich“) und Quecksilber („prioritär gefährlich“) (EG 2001)). Deren Anteil an der Masse eines Kampfmittels liegt zwar mitunter deutlich unter einem Prozent, stellt aber in der Summe durch die Gesamtmenge an verklappten Kampfmitteln und dem resultierenden Schadstoffpotenzial einen signifikanten Faktor dar (Hollmann & Schuller 1993, Rapsch & Fischer 2000). An der deutschen Nordseeküste ist mit bis zu 400 Tonnen Quecksilber in Munition zu rechnen, was in etwa der fünfzigfachen Jahresfracht an Quecksilber entspricht, die aktuell über die Elbe in die Nordsee eingeleitet wird. An der deutschen Ostseeküste beträgt die Belastung durch Munition mit mindestens 30 Tonnen Quecksilber sogar die eintausendfache Jahresfracht, die über alle Fließgewässer und die Atmosphäre direkt in das Küstengewässer gelangt (Nehring & Koch 2006).

Hinsichtlich der chemischen Kampfstoffe stellt sich ein ähnliches Bild dar: Hier muss ein Schadstoffpool von 53 Einzelsubstanzen und zwei Isomergemischen berücksichtigt werden (Kopecz 1996), von denen neun von zwölf Hauptvertretern (insbesondere Adamsit, Blausäure, Clark I&II sowie Schwefellost (Senfgas)) sehr gefährliche Wasserschadstoffe darstellen, wobei wiederum sechs stark bis extrem toxisch für Wasserorganismen sind. Vier von zwölf Vertretern enthalten Arsenverbindungen und bilden arsenhaltige – und somit in der Umwelt persistente – Abbauprodukte. Bei drei von zwölf Hauptvertretern (Blausäure, Sarin, Tabun) können sich auf Basis ihrer hohen Wasserlöslichkeit und geringen Hydrolysegeschwindigkeit mittel- bis langfristig persistente Kontaminationsfahnen mit hochtoxischen Stoffkonzentrationen bilden (Koch 2006). Diese hochtoxischen Stoffkonzentrationen bleiben, insbesondere bei mangelnder Verdünnung durch Durchmischungseffekte mit nachströmendem Frischwasser, über mehrere Stunden oder Tage bis Wochen erhalten.

Die Abbauprodukte der chemischen Kampfstoffe sind teilweise langlebiger und sogar um ein Mehrfaches toxischer als die Ausgangssubstanzen (z.B. Senfgas und Lewisit, Kaffka 1996), es liegen kaum Erkenntnisse über langzeittoxikologische und ökotoxikologische Wirkungen vor. Einzelne Substanzen wirken nachweislich krebserregend (kanzerogen, z.B. Adamsit, Clark (beides Arsenverbindungen); Schwefellost), fruchtschädigend (teratogen, z.B. teilweise organische und anorganische Arsenverbindungen) oder erbgutverändernd (mutagen, z.B. TNT, Schwefellost) (u.a. Kopecz 1996, Haas 1996).

Doch auch bei den chemischen Kampfstoffen ist neben den vorangehend genannten toxikologischen und ökotoxikologischen Aspekten ein unmittelbarer Bezug zur WRRL gegeben: Vergleicht man das Verzeichnis der wichtigsten Schadstoffe in Anhang VIII der genannten Richtlinie, so werden viele der Kampfstoffe prinzipiell implizit genannt: z.B. Tabun unter Punkt 2 „organische Phosphorverbindung“, z.B. Senfgas unter Punkt 4 „Stoffe und Zubereitungen...“ oder auch viele Sprengstoffe/Treibladungsmittel im Kontext des Punktes 5 „...persistente und bioakkumulierende organische toxische Stoffe“ sowie z.B. Adamsit, Clark und Lewisit unter Punkt 8 „Arsen und Arsenverbindungen“ (EG 2001).

Insgesamt bestehen derzeit insbesondere auf dem Gebiet der Ökotoxikologie und auch hinsichtlich des eigentlichen Zustandes der Kampfmittel mehr offene Fragen als wissenschaftlich fundierte Antworten, was auch 2004 im Fazit eines betreffenden Sondergutachtens des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen zum Ausdruck kam: Die Expertenkommission machte ausdrücklich darauf aufmerksam, dass zu wenig Informationen über den derzeitigen Zustand der Munition und somit auch der Freisetzung von Schadstoffen vorliegen, um die Sachlage zufriedenstellend bewerten zu können (SRU 2004). Da zunehmend auch mit der Durchrostung von dickwandigerer Munition zu rechnen ist, wird die Umweltbelastung durch Munitionsinhaltsstoffe wahrscheinlich noch nicht seinen Höhepunkt erreicht haben. 1996 hat ein Vertreter des niedersächsischen Umweltministeriums in der Süddeutschen Zeitung erklärt, dass frühestens in ein bis zwei Jahrzehnten höhere Emissionen auftreten werden (Siegmond-Schultze 1996) – also ab heute.

In diesem Zusammenhang – und insbesondere aufgrund des seit damals praktisch unveränderten Kenntnisstandes – werfen die Schlussfolgerungen hinsichtlich der Belastungsquelle „Subaquatische Rüstungsaltslasten“ der im Rahmen der WRRL durch die jeweils zuständigen Behörden in 2005 publizierten B-Berichte der Nord- und Ostseeanrainer-Bundesländer und deren relevanter Flussgebietseinheiten Fragen hinsichtlich ihrer faktischen Belastbarkeit auf.

Nordseeküste (Abb. 1) Wird im Bereich der Eider das Vorhandensein von – in amtlichen Seekarten ausgewiesenen (!) – Munitionsversenkungsgebieten nicht erwähnt und im Bereich des Ems-Dollart Ästuars und der Unteren Ems die hier versenkte Munition als nicht signifikante Belastung eingestuft, wird im Bereich der Weser das ökotoxikologische Gefahrenpotenzial „als eher gering“ eingeschätzt, obwohl für die unmittelbare Umgebung der Munition im Laufe der Zeit von einer deutlichen Belastung des Sedimentes ausgegangen wird. Für die Flussgebietseinheit Elbe wird statuiert, dass eine Belastungssignifikanz gegenüber den dort vorhandenen Biozönosen durch ein Monitoringprogramm noch zu überprüfen sei. Diese Heterogenität steht auch in einem Widerspruch zu der Annahme, dass sich die bis zu 1,3 Mio. Tonnen Munition an der deutschen Nordseeküste etwa zu gleichen Teilen über alle Flussgebietseinheiten verteilen (KULTURTECHNIK 1990, BBS Consulting 1993, Nehring 2005b).

Ostseeküste (Abb. 2) Im Bereich der Schlei/Trave, wo nach vorläufigen Einschätzungen Kampfmittel in einer Größenordnung von 100.000 Tonnen im Küstenbereich vermutet werden (Nehring 2005b), sollen die Verklappungen hinsichtlich ihrer Belastungssignifikanz noch überprüft werden. Das

Belastungspotenzial im Bereich der Warnow/Peene konnte nicht abschließend beurteilt werden; das größte Problem ist, dass bisher für diese Flussgebietseinheit überhaupt keine Erkenntnisse darüber vorliegen, mit wie viel und welcher Art von Munition u.a. an den fünf offiziellen Munitionsversenkungsstellen und diversen weiteren Verdachtsflächen zu rechnen ist. U.a war das Seegebiet vor Zingst jahrzehntelang Erprobungsstelle der NVA für neuartige Munitionstypen. Auffällige chemische Anomalien in Miesmuscheln könnten mit den dort wahrscheinlich vorhandenen Munitionsaltlasten in Verbindung stehen (LUNG 2004, Nehring & Koch 2006). Im Bericht zur Flussgebietseinheit Oder/Stettiner Haff finden sich überhaupt keine Angaben zu Munitionsbelastungen, obwohl Munition dort auf Grundlage einer Eintragung auf amtlichen Seekarten nachweislich entsorgt worden ist (Abb. 2).

Eine Gefährdung durch die nach dem Zweiten Weltkrieg bis wahrscheinlich in die Mitte der 1980er Jahre im Meer versenkten chemischen und konventionellen Kampfmittel begründet sich jedoch nicht nur aus oben genanntem, unmittelbarem Bezug zu den Inhaltsstoffen, ihrem Freiwerden und der verbundenen toxikologischen Betrachtungen, sondern bezieht sich auch auf die nachfolgend nur exemplarisch genannten weiteren Faktoren: So ist ein Zugriff auf die Kampfmittel auch im Kontext terroristischer und rechtsextremer Aktivitäten aufgrund der geringen Wassertiefen (0-30 m) vieler Versenkungsstellen ohne weiteres möglich. Die Deutsche Marine (Fregattenkapitän Klocke, Dezernatsleiter Minenkriegführung im Flottenkommando Glücksburg, mündl. Mitt. 25.11.05) aber auch amerikanische Institutionen (CITS 1997, CSIS 2005) warnen eindringlich und verstärkt seit dem 11. September 2001 vor dem Kampfmittelreservoir Meer. Es kommt zudem immer wieder zum Auffischen von Kampfmitteln aller Kaliber und deren Inhaltsstoffe durch den gewerblichen Fischfang (mindestens 443 Zwischenfälle von 1985 bis einschließlich 2005 alleine seitens dänischer Fischer bei Bornholm (u.a. Theobald 2002)) mit der resultierenden Kontamination von Fängen, Ausrüstung und teilweise der Mannschaft sowie die Gefahr der Explosion der Kampfmittel. Im Jahr 2005 starben bei einem solchen Unfall in der Nordsee drei niederländische Fischer (Nehring & Koch 2006). Durch die oft nur geringen Lagerungstiefen insbesondere von verdrifteten oder wild verklappten („en route dumping“) Kampfmitteln (SHL 2001) in den seichten Küstengebieten besteht eine praktisch konstante Gefährdung der zivilen und gewerblichen Schifffahrt durch direkten Kontakt bzw. zu große Annäherung an noch funktionstüchtige Seeminen, durch Ankerwürfe und eventuelle Havarien. Ein aktuelles Beispiel für diese Gefährdung ist ein 2001 in unmittelbarer Nähe des belgischen Kampfmittel-Verklappungsgebietes „Paardenmarkt“ (Phosgen/Clark/Senfgas) gestrandetes deutsches Containerschiff (Missiaen & Henriët 2002). Ein Auflaufen im Küstenbereich und die resultierende Zerstörung einer Vielzahl von Kampfmittelbehältern hätte – aufgrund des schlagartigen Freiwerdens erheblicher Mengen an enthaltenen Kampfstoffen und der unmittelbaren Nähe zur Wohnbebauung (< 2 km) sowie dem benachbarten Großhafen Zeebrugge – nicht einschätzbare Folgen für Mensch, Umwelt und Wirtschaft gehabt.

Auch kommt es immer wieder zu Anlandungen von Behältern und Kampfmitteln sowie bereits ausgeschwemmter Inhaltstoffe an Küsten und Stränden. Aktuell ist hier insbesondere die „Bernsteinproblematik“ auf der Ostseeinsel Usedom zu nennen, aber auch andernorts angetriebenes Senfgas (Nehring 2005a). Ein schlagartiges Freiwerden, ein „Sudden Release“ (Kaffka 1996) von größeren Mengen an

Kampfmittelinhaltsstoffen sowie die seit längerem bekannten und gerade in jüngster Zeit u.a. durch Untersuchungen des Englischen Verteidigungsministeriums zunehmend beobachteten Selbstdetonationen (BGS 2005, Nehring 2006) münden ebenfalls in nicht einschätzbaren Konsequenzen für die umgebende Flora und Fauna und anthropogen basierter sicherheitsrelevanter Aspekte.

5 Grundsätzliche Sanierungsansätze

Aus genereller Sicht ergeben sich bezüglich subaquatischer Rüstungsaltslasten und den daraus resultierenden Gefährdungspotenzialen grundsätzlich vier potenzielle Sanierungsoptionen bzw. resultierende Szenarien:

1. Keine Sanierung von Gebieten mit Munitionsbelastungen („Endlager-Szenario“)
2. Teilsanierung von Gebieten mit Munitionsbelastung („By the way-Szenario“)
3. Komplettsanierung von Gebieten mit hoher Munitionsbelastung („Hot spot-Szenario“)
4. Komplettsanierung aller bekannter Gebiete mit Munitionsbelastung („Full clean up-Szenario“)

5.1 Endlager-Szenario

Bei diesem Szenario, das dem Status eines Endlagers für die verklappten Kampfmittel entspricht, würden die Kampfmittel wie auch Kampfmittelinhaltsstoffe *in situ* ohne Sicherungs- und Sanierungsansätze vor Ort belassen. Hierdurch käme es aufgrund der bereits vorhandenen und im sauerstoffhaltigen Milieu fortschreitenden Korrosionsprozesse sowie anhaltenden mechanischen Belastungen (Fischerei, Strömungen etc.) zu einer unkontrollierten Freisetzung unbekannter Mengen an teilweise hochtoxischen Schadstoffen in das umgebende Sediment und in die freie Wassersäule, mit nach wie vor aus toxikologischer und ökotoxikologischer Sicht unbekanntem Wirkungsmechanismen (Missiaen & Henriot 2002, SRU 2004) (Abb. 3A,B). Auf Basis der aktuell vorliegenden Untersuchungen im Bereich der langzeitökotoxikologischen Auswirkungen solcher Emissionen, die – soweit überhaupt Erkenntnisse vorliegen – teilweise stark unterschiedliche Ergebnisse zeigen, können Auswirkungen nur mit Hilfe eines dann zu realisierenden, flächendeckenden und sehr umfassenden Monitorings bezüglich Schadstoffkonzentrationen im Sediment und Wasser, als auch in den im Bereich der munitionsbelastenden Flächen sesshaften Mikro- und Makroorganismen untersucht werden (siehe auch SRU 2004). Im Falle einer durch das zielgerichtete Monitoring bestätigten, signifikanten Konzentration müssten dann wiederum konkrete Sicherungs- und Sanierungsschritte angegangen werden. Ein diffuser und auch hinsichtlich der WRRL-Ziele relevanter Schadstoffeintrag wäre durch diese Maßnahme bis zur eventuellen Realisierung von Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen allerdings nicht zu verhindern.

Zu beachten bleibt weiterhin, dass versenkte Munition im Meer sicherheitstechnisch betrachtet prinzipiell nicht anders zu bewerten ist als munitionsbelastete Gebiete an Land. Von allen Flächen, die durch ihre Eintragung

auf Seekarten offiziell als munitionsbelastet gelten (siehe Bundesregierung 2006), geht eine akute Gefährdung für den Menschen aus, da es bis heute keine Befahrungsverbote etc. für diese Flächen gibt – im Gegensatz zu terrestrischen Flächen, die bei Bekanntwerden einer Munitionsbelastung für die Öffentlichkeit umgehend gesperrt werden.

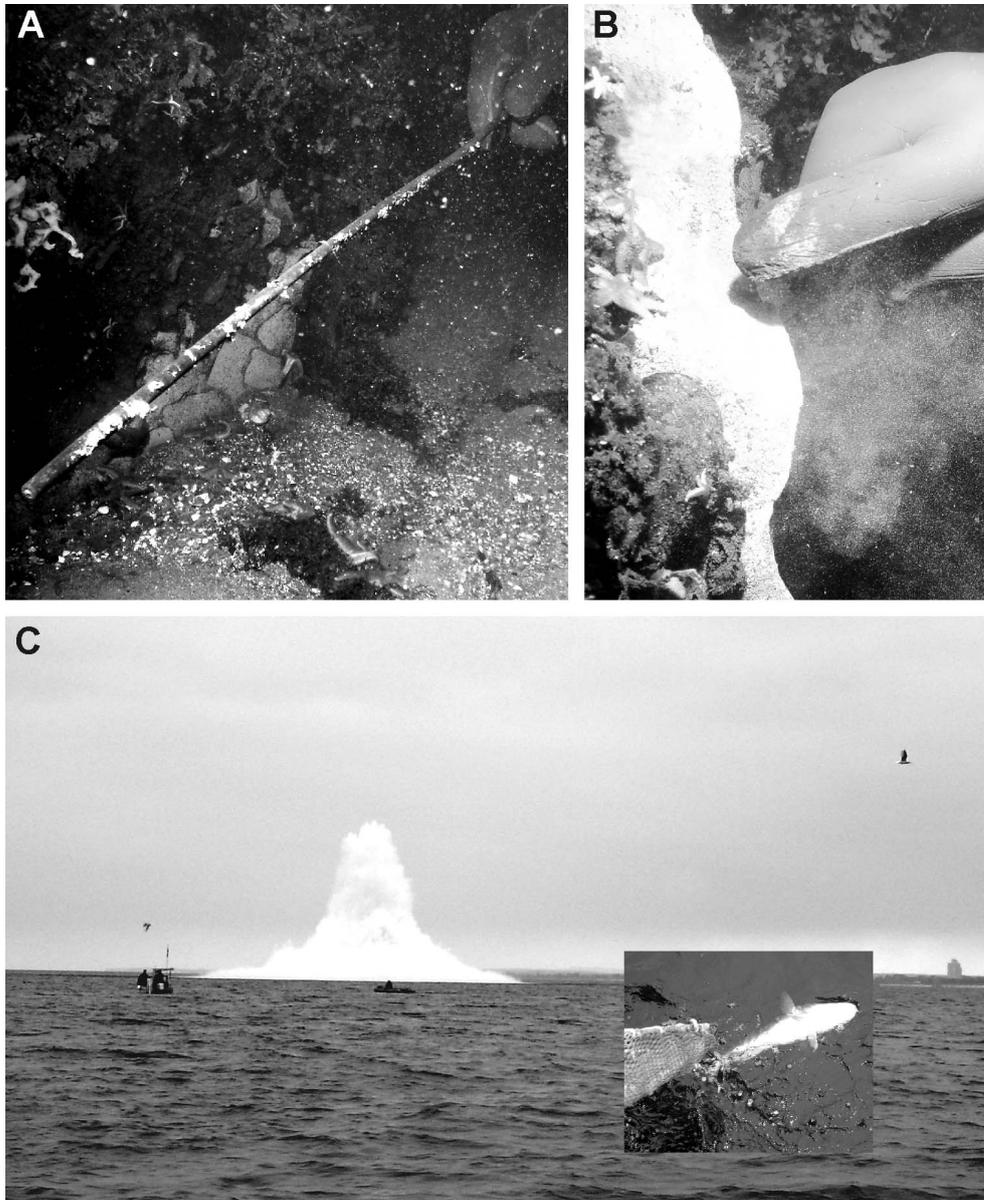


Abb. 3 In 2004 neu entdeckte Munitionsversenkungsstelle in der Kieler Außenförde vor Heidkate.
 A) Durchgerostete Grundmine mit offenliegendem TNT, das ein charakteristisches Wabenmuster zeigt (im Hintergrund), und frei umherliegende Treibladungen als Röhrenpulver, vermutlich aus Sprenggranat-Patronen (im Vordergrund); Foto 16.10.06
 B) Durchgerosteter Torpedosprengkopf mit offenliegendem TNT; Foto 16.10.06
 C) “Heiße Sanierung” mit Sprengung einer Grundmine und danach an der Wasseroberfläche treibender toter Dorsch (Insert); Foto 16.10.06

5.2 By the way-Szenario

Eine Teilsanierung („By the way-Szenario“) wird – und wäre auch in Zukunft – z.B. durch regelmäßige Strandaufsammlungen von angeschwemmten Kampfmitteln und Kampfmittelinhaltsstoffen sowie durch begleitende Sanierungsarbeiten im Rahmen von Baumaßnahmen zu realisieren. Auch könnten durch speziell ausgerüstete Fischkutter aufgenommene Kampfmittel bis zur Rückankunft im Hafen verwahrt und nicht unkontrolliert und undokumentiert rückverklappt werden, wie es bis heute in der Fischerei allgemein üblich ist und sogar von der See-Berufsgenossenschaft dringend angeraten wird ("Sollte [Munition des letzten Krieges] unbeabsichtigt mit dem Netz bzw. Fang an Bord gelangt sein, so ist sie tunlichst wieder zu versenken", aus SBG 1992). Eine niedersächsische Pilotuntersuchung hat gezeigt, dass ein einzelner Küstenfischer innerhalb einer „guten“ Fangsaison mehr als 3.000 kg Munition aller Art in seinen Netzen finden kann (Rapsch & Fischer 2000).

Grundsätzlich stellt sich jedoch die Frage, inwieweit Fischer die notwendige Fachkompetenz besitzen bzw. sich aneignen können, die Gefährlichkeit von (verrosteten) Munitionskörpern richtig einzuschätzen, um diese aus den Netzen zu bergen und an Bord zu belassen. Trotz der Mahnung der SBG (1992) hat das Land Niedersachsen seit 1997 mit 10 Kutterfischern Verträge geschlossen, auf Prämienbasis die an Bord gelangte Munition in speziellen Transportbehältern zu verwahren und in Häfen dem Kampfmittelbeseitigungsdienst zu übergeben bzw. Großmunition auf der „Martensplate“ abzulegen. Bisher sind nur wenige Kostenaufstellungen verfügbar. Diese zeigen jedoch, dass auf Grund der enormen Gefahrenlage für die Fischer die Hauptkosten auf den durch das Land zu leistenden Versicherungsbeiträgen liegen (1997: Munitionsaufbringung 1.863 kg, Versicherung 60.824,30 DM, Prämie 2.950,- DM; 1998: Munitionsaufbringung ca. 300 kg, Versicherung 50.755,25 DM, Prämie 200,- DM). Die Option, Fischer zur Kampfmittelräumung einzusetzen, ist aus Sicht der Autoren nicht zielführend.

Bei dem Lösungsansatz Teilsanierung kommt es – durch die überwiegende Zahl an von diesen Maßnahmen nicht betroffenen Kampfmitteln – zu einem kontinuierlichen, aber diffusen Sanierungs- und Sicherungsfortschritt. Konkrete Maßnahmen basieren in diesem Ansatz nicht auf einer Prioritätensetzung mittels Gefährdungseinschätzung einer speziellen Altlast im Vergleich zu anderen Verklappungen. Sie basieren einzig und allein auf der eher zufälligen Aufnahme von Kampfmitteln oder Inhaltsstoffen bzw. auf dem begleitenden sanierungs- und sicherungstechnischen Angehen der Altlasten im Rahmen konkreter Bauprojekte. Bei diesem Szenario handelt es sich um einen relativ kostengünstigen, allerdings im Gesamtkontext genereller Gefährdungspotenziale bzw. verbundener Emissionen, um einen nur als wenig effizient anzusehenden Lösungsansatz.

5.3 Hot spot-Szenario

Der Sanierungsansatz „Hot spot-Szenario“ basiert hingegen bezüglich seiner resultierenden Sicherungs- oder Sanierungsmaßnahmen auf detaillierten Einzelfallbetrachtungen und den daraus hervorgehenden Gefährdungsabschätzungen einzelner Schwerpunktverklappungen. Durch die Konzentration auf einzelne Verklappungsgebiete mit genanntem „Hot-Spot“-Charakter kann es auch

hier mit Sicht auf die Gesamtheit der Verklappungen eventuell zum besagten „Tropfen auf den heißen Stein“ kommen. Allerdings sind unter Berücksichtigung des Gefährdungspotenzials und der Emissionen auf Basis der vorangehenden Eruiierungen hoch effiziente und relativ kostengünstige Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen möglich. Als „Hot spots“ in diesem Zusammenhang wären u.a. Schwerpunktverklappungen von z.B. Zündern oder Großkampfmitteln zu sehen, bei denen große Mengen an Schadstoffen bzw. Kampfmitteln relativ kleinräumig auf oder im Meeresboden lagern. Oftmals werden etwa tennisplatzgroße, bis mannshoch mit Kampfmitteln überlagerte Verklappungsstellen detektiert (Rapsch & Fischer 2000). Ein Beispiel für diese Herangehensweise wäre z.B. die im Jahre 2001 realisierte Sicherungs- bzw. Sanierungsmaßnahme in der Flensburger Förde, bei der 34 Wasserbomben, 50 Handgranaten, 20 Sprengkapseln, ca. 5.000 Gewehrpatronen sowie weitere Munition verschiedenen Kalibers geborgen und an Land komplett entsorgt wurden; die Kosten der Maßnahme beliefen sich auf ca. 15.000 € (Hr. Sternheim, Amt für Katastrophenschutz Kiel, schriftl. Mitt. 22.12.06).

5.4 Full clean up-Szenario

Das „Full clean up-Szenario“, also ein umfassendes sicherungs- und sanierungstechnisches Angehen aller bekannten munitionsbelasteten Flächen und durch flächendeckende Untersuchungen noch festzustellenden Vorkommen von Kampfmitteln und deren Inhaltsstoffen, stellt auch im Kontext der WRRL zumindest aus emissionstechnischer Sicht – bei Zugrundelegen entsprechender Sicherungs- und Sanierungstechnologien – die effektivste Lösung dar. Allerdings würde eine solche umfassende Herangehensweise hinsichtlich des späteren Sanierungsfortschrittes und Verbesserung der Gesamtsituation – aufgrund der großräumlichen Verteilung der Kampfmittel außerhalb von Hot-Spot-Zonen – teilweise hochgradig ineffektive Arbeitsmaßnahmen und eine enorme finanzielle Belastung durch großflächige Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen mit sich ziehen, was eine tatsächliche Realisierbarkeit dieses Ansatzes nicht als sinnvoll und auch umsetzbar erscheinen lässt. Sicherzustellen wäre aber, dass alle bekannten munitionsbelasteten Flächen in den amtlichen Seekarten mit eindeutigen Hinweisen eingezeichnet sind. Zudem sollten alle die Gebiete munitionstechnisch untersucht werden, in denen besonders mit Munition zu rechnen ist (z.B. bekannte Versenkungsrouten, weitere Umgebung von bekannten Versenkungsstellen, durch Befragung von Fischern und Tauchern).

6 Fazit und Handlungsempfehlungen

Aus Sicht der Autoren ist die Herangehensweise des „Hot spot-Szenarios“ mit der einhergehenden Sicherung und Sanierung ausgewiesener Schwerpunktverklappungen aus technischer, emissionsrelevanter und ökonomischer Sicht die am ehesten zu realisierende Maßnahmenalternative. Hier könnten in Flachwassergebieten (bis etwa 30 m Wassertiefe) prioritär Taucher zur Bergung von Kampfmitteln eingesetzt werden, in größeren Wassertiefen dann u.a. die bereits bewährten, auch in das Sediment einspülbaren Elektromagneten sowie

ferngesteuerte, auf dem Meeresgrund agierende Manipulatoren, die insbesondere bei der Bergung chemischer Kampfstoffe eine Vor-Ort-Anwesenheit des Menschen mit allen resultierenden Gefahren größtenteils ausschließen würden.

Durch die vorgeschlagene Konzentration auf die so genannten Hot Spots kommt es zu einem reduzierten, aber im Gesamtkontext als hocheffizient zu betrachtenden Lösungsansatz, der zudem zu einer erheblichen Kostenreduktion im Vergleich zu weniger effizienten, aber umfassenderen Maßnahmen führt. Potenzielle, gerade im Zusammenhang mit der WRRL zu nennende Hot Spots wären u.a. die Verklappungsgebiete bei Helgoland, Wangerooge, Sylt, Cuxhaven, Schillig und Usedom (insbesondere wegen der vorhandenen Phosphor/Bernstein-Problematik) sowie die verbleibenden Gebiete in der Lübecker Bucht. Speziell für das Gebiet um Sylt sowie für die gesamte Ostseeküste ist aber eine historische Aufarbeitung von Versenkungsmaßnahmen mit begleitenden Interviews und Vor-Ort-Untersuchungen unabdingbar, um hinreichende Erkenntnisse und Datengrundlagen zu erlangen, die für eine fach- und sachgerechte Einschätzung des Gefahrenpotenzials für Mensch und Umwelt sowie für die Detektion von weiteren Hot Spots notwendig sind.

Eine Sanierung zumindest der Hot Spots wird von den Autoren als wahrscheinlich grundlegend für das Erreichen der durch die Wasserrahmenrichtlinie gesteckten Ziele im Bereich der Küstengewässer angesehen.

Kritisch betrachten die Autoren aktuelle „heiße Sanierungen“ durch einfache Sprengung am Meeresboden befindlicher bzw. teilweise zusedimentierter Kampfmittel ohne jegliche Sanierungsansätze hinsichtlich der enthaltenen Kampfmittelinhaltsstoffe wie z.B. im Oktober 2006 in der Kieler Außenförde realisiert (Bojanowski 2006): Durch die gezielte Explosion von drei Grundminen wurden die restlichen Kampfmittelkörper (ca. 20 Grundminen, ca. 60 Torpedosprengköpfe, mehrere Wasserbomben) nur teilweise technisch unschädlich gemacht, die Sprengung selbst führte aber nach Taucherberichten zu erheblichen Einwirkungen auf das Sediment sowie auf die umgebende Flora und Fauna. Speziell Fische, die sich im Auswirkungsbereich aufhielten, wurden direkt getötet (Abb. 3C) bzw. massiv geschädigt, so dass noch Tage später Fische sehr wahrscheinlich verendet sind. Der durch eine derart große Sprengladung hervorgerufene Schallimpuls kann bei Meeressäugern, wie z.B. beim stark gefährdeten Schweinswal, noch in über 1 km Entfernung zu lebensgefährlichen Verletzungen wie Lungenrissen führen. Gehörschäden sind noch in mehreren Kilometern Entfernungen zu befürchten. Außerdem ist zu vermuten, dass durch die Sprengungen relevante Mengen von Schadstoffen aus dem Sediment freigesetzt worden sind und aus (mit)explodierenden oder beschädigten Munitionskörpern sogar jetzt anhaltend verstärkt freigesetzt werden (Nehring 2007) – in diesem konkreten Fall das bereits in sehr geringen Konzentrationen giftige und u.a. für Fische tödliche Trinitrotoluol (TNT). Auf Grund der schlechten Daten- und Erkenntnislage besteht hier jedoch noch erheblicher Forschungsbedarf.

Grundsätzlich werden bis heute Umweltaspekte wie die Vorabvergrämung von Wirbeltieren aus dem Auswirkungsbereich oder die Schadstofffreisetzung bei der Gefahreneinschätzung von Sprengungen im Meer nicht berücksichtigt. Eine durch die Sprengung in der Kieler Förde bezweckte, effektive Überlagerung der noch vorhandenen Kampfmittel und ihrer Inhaltsstoffe mit Sediment und eine hieraus u.a.

resultierende verminderte Verfügbarkeit der Schadstoffe für die belebte Meeresumwelt konnte nachweislich nicht realisiert werden (Bojanowski 2006) und stellt somit die gesamte Maßnahme stark in Frage. Nach einem Pressebericht planen die zuständigen Behörden dort weitere Sprengungen, bis keine Munition mehr offen auf dem Grund liegt (Anonymus 2006). Eine wenige Zentimeter bis Dezimeter umfassende Sedimentabdeckung wird aber nur kurzfristig das Gefahrenpotenzial verringern. Durch Strömungen und Sturmlagen wäre es nur eine Frage der Zeit, wann die Munition wieder offen liegt. Es stellt sich die Frage, welche Dauerüberwachung hier durch die zuständigen Behörden geplant ist, um jederzeit die Gefahrenlage für die Schifffahrt, andere Gewässernutzer und die Umwelt einschätzen zu können. Auf Grund von anhaltenden Protesten von Naturschützern wurden die weiteren Sprengungen jedoch erst einmal ausgesetzt. Momentan wird von den zuständigen Behörden geprüft, inwieweit es technische Möglichkeiten gibt, wenigstens Meeressäuger bei den nächsten Sprengungen besser zu schützen. Durch den aktuellen Fund von weiteren 50 Ankertauminen bei Heidkate (Hr. Sternheim, Amt für Katastrophenschutz Kiel, schriftl. Mitt. 22.12.06) sind jetzt sogar weit über 100 Großkampfmittel mit über 30 Tonnen TNT zu vernichten. Zudem lagerten in dem Gebiet, das nur 2 km von der Küste entfernt ist, tausende Kampfstoffgranaten, die Ende der 1950er Jahre geborgen wurden (Nehring & Koch 2006). Ob die Räumung vollständig erfolgt ist, ist bis heute nicht überprüft worden. Bevor dort weitere Sprengungen durchgeführt werden können, muss eine fachgerechte Sondierung aller Munitionskörper auf und im Sediment erfolgen, um die Entstehung von Kampfstoffwolken, die die Schiffsbesatzungen, Strandbesucher und Küstenbewohner massiv bedrohen würden, definitiv ausschließen zu können. Während einer kontrollierten Seeminensprengung in 2003 durch eine Marineeinheit der Nato an einem nicht näher bekannten Ort explodierten nämlich wenige Sekunden später überraschend nicht vorab detektierte Kampfstoffgranaten, die im Sediment lagerten; durch die sich an der Wasseroberfläche ausbreitende Kampfstoffwolke erlitten mehrere Soldaten starke Verletzungen (Nehring & Ilschner 2005).

Literatur

- Anonymus (2006) Kriegsmunition bedroht die Kieler Förde. – Flensburger Tageblatt, 10.11.2006
- BBS Consulting (1993) Untersuchung der Munitionsversenkungsgebiete in den niedersächsischen Küstengewässern. – Unveröffentl. Gutachten im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums.
- BGS (2005) Analysis of Explosions in the BGS Seismic Database in the Area of Beaufort's Dyke, 1992-2004. – British Geological Survey; Report CR/05/064.
- Bojanowski A (2006) Gift aus gesprengter Kriegsmunition bedroht Kieler Förde. – Spiegel-Online, 09.11.2006, <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,447377,00.html>.
- BSH (1993) Chemische Kampfstoffmunition in der südlichen und westlichen Ostsee – Bestandsaufnahme, Bewertung und Empfehlung. – 70 S.; Hamburg (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie).
- Bundesregierung (2006) Antwort der Bundesregierung auf eine Kleine Anfrage bzgl. Munitionsaltlasten in der Ostsee. – Deutscher Bundestag; Drucksache 16/353 vom 11.01.06: 1-6.
- CITS (1997) Terrorism and weapons of mass destruction. – Center for International Trade and Security, The Monitor Vol. 3(2) 1-43; Athens, GA.
- CSIS (2005) Danger of terrorist attacks. – Center for Strategic and International Studies Washington, <http://www.sgppproject.org>
- EG (2000) Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik; Brüssel.

- EG (2001) Entscheidung Nr. 2455/2001/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. November 2001 zur Festlegung der Liste prioritärer Stoffe im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG; Brüssel.
- Ek H (2005) Hazard assessment of 2,4,6-trinitrotoluene (TNT) from dumped ammunition in the sea. – Göteborg University (Department of Environmental Science and Conservation).
- Haas R (1996) Explosivstofflexikon. – Umweltbundesamt, Texte 26/96: 1-278; Berlin.
- HELCOM (1994) Report on chemical munitions dumped in the Baltic Sea. – HELCOM, 15/5/1: 1-38; Helsinki.
- HELCOM (1995) Final Report of the Ad Hoc Working Group on Dumped Chemical Munition. – HELCOM, 16/10/1: 1-20; Helsinki.
- Hollmann B & Schuller D (1993) Ökotoxikologische Bewertung Rüstungsaltslasten „Munitionsversenkungsgebiete in der Nordsee“. – Unveröffentl. Gutachten im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums. – 129 S.; Oldenburg (ARSU GmbH).
- Kaffka A (ED.) (1996) Sea-Dumped Chemical Weapons: Aspects, Problems and Solutions. – 170 S.; NATO ASI Series Vol. 7.
- Koch M (2006) Sicherungs- und Sanierungskonzepte für chemische und konventionelle Kampfmittel-Altlasten in der Ostsee. – Unpublizierter Schriftsatz, Bearbeitungsstand 17.11.2006; Universität Lüneburg.
- Kopecz P (1996) Kampfstofflexikon. – Umweltbundesamt, Texte 27/96: 1-301; Berlin.
- KULTURTECHNIK (1990) Bericht zur Erfassung und Erkundung der Rüstungsaltslasten in der Nordsee. – 118 S., 6 Anl.; Bremen (KULTURTECHNIK GmbH).
- Liebezeit G (2002) Dumping and re-occurrence of ammunition on the German North Sea coast. – in Missiaen T & Henriet JP (EDS.) Chemical munition dump sites in coastal environments. – Belgian Ministry of Social Affairs, Public Health and the Environment: 13-25; Brussels.
- LUNG (2004) Gewässergütebericht 2000/2001/2002. – 159 S.; Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie; Schwerin.
- Martinetz D & Rippen G (EDS.) (1996) Handbuch Rüstungsaltslasten. – 1053 S.; Ecomed Verlagsgesellschaft; Landsberg.
- Missiaen T & Henriet JP (EDS.) (2002) Chemical munition dump sites in coastal environments. – 167 S.; Belgian Ministry of Social Affairs, Public Health and the Environment; Brussels.
- Nehring S (2005a) Brandbomben an der Ostseeküste – Ein gefährliches Erbe. – Wasser und Abfall 12/2005: 52-55.
- Nehring S (2005b) Rüstungsaltslasten in den deutschen Küstengewässern – Handlungsempfehlungen zur erfolgreichen Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie. – Rostocker Meeresbiologische Beiträge 14: 109-123.
- Nehring S (2006) Geheimnisvoller Knechtsand – Des Rätsels Lösung? – Journal für UFO-Forschung 3/2006: 77-81.
- Nehring S (2007) Risiken und Auswirkungen von Rüstungsaltslasten im Kontext einer UVS für den Bau der Nord Stream Erdgaspipeline in der Ostsee. – Unveröffentl. Gutachten im Auftrag des BUND, Bundesarbeitskreis Meer und Küste. – 21 S.; Koblenz (AeT umweltplanung).
- Nehring S & Ilschner B (2005) Ostsee-Pipeline – Ein explosives Vorhaben. – Waterkant 4/2005: 21-25.
- Nehring S & Koch M (2006) Gefahr aus der Tiefe – Die Mythenbildung um die Munition im Meer. – Waterkant 4/2006: 21-25.
- Nehring S, Beyer K & Reimers HC (2004) Küstengewässer Elbe – ein Pilotprojekt zur Bestandsaufnahme nach Art. 5 EG-Wasserrahmenrichtlinie. – Wasser und Abfall 9: 16-19.
- OSPAR (2005) Overview of past dumping at sea of chemical weapons and munitions in the OSPAR maritime area. – OSPAR Commission, Biodiversity Series: 1-13.
- Rapsch HJ & Fischer U (2000) Munition im Fischernetz. – 80 S.; Oldenburg (Isensee Verlag).
- Rosen G & Lotufo GR (2005) Toxicity and fate of two munitions constituents in spiked sediment exposures with the marine amphipod *Eohaustorius estuarius*. – Environmental Toxicology and Chemistry 24: 2887-97.
- SBG (1992) Merkblatt über Munitionsfunde auf See. – 22 S.; See-Berufsgenossenschaft; Hamburg.
- SHL (2001) Kampfmittel in Küstengewässern. Antwort der Landesregierung auf eine kleine Anfrage. – Schleswig-Holsteinischer Landtag, Drucksache 15/1226: 1-7; Kiel.
- Siegmund-Schultze N (2006) Sprengstoff im Netz. – Süddeutsche Zeitung, 29.02.1996
- SRU (2004) Meeresumweltschutz für Nord- und Ostsee. Sondergutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen. – 265 S.; Baden-Baden (Nomos Verlagsgesellschaft).

Theobald N (2002) Chemical munitions in the Baltic Sea. – in Missiaen T & Henriet JP (EDS.)
Chemical munition dump sites in coastal environments. – Belgian Ministry of Social Affairs, Public
Health and the Environment: 95-106; Brussels.

Autoren

Marc Koch
c/o Universität Lüneburg
Institut für Ökologie und Umweltchemie
Scharnhorststraße 1
21335 Lüneburg, Germany

E-Mail: marc_koch@yahoo.de

Stefan Nehring
AeT umweltplanung
Bismarckstraße 19
56068 Koblenz, Germany

email: nehring@aet-umweltplanung.de
www.aet-umweltplanung.de